



Cultivo de tejidos vegetales: avances y aplicaciones en la agrobiotecnología moderna

Plant tissue culture: advances and applications in modern agrobiotechnology


doi <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v4.n1.2026.21-30>

Recibido: 23-01-2026


Aceptado: 11-03-2026

Publicado: 01-06-2026


Enma Leonor Morán Villacreses^{1*}

 <https://orcid.org/0000-0002-6749-5664>


Bryan Javier Caballero Andrade²

 <https://orcid.org/0009-0005-1638-3936>

Bryan Alejandro Cruz Macias³

 <https://orcid.org/0000-0003-3462-6928>

Cristhian John Macias Holguin³

 <https://orcid.org/0000-0003-2068-8503>

1. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Ingeniería en Biotecnología, Campus Divino Maestro; Jipijapa, Ecuador.
2. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Ingeniería en Biotecnología, Campus Divino Maestro; Jipijapa, Ecuador.
3. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Ingeniería en Biotecnología, Campus Divino Maestro; Jipijapa, Ecuador.
4. Centro de Estudios de Biotecnología; Laboratorio de Biología Molecular; Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Ingeniería en Biotecnología; Jipijapa, Ecuador.

Volumen: 4

Número: 1

Año: 2026

Paginación: 21-30

URL: <https://revistas.unesum.edu.ec/agricultura/index.php/ojs/article/view/69>

***Correspondencia autor:** enma.moran@unesum.edu.ec



RESUMEN

El cultivo de tejidos vegetales se ha consolidado como una de las técnicas más relevantes dentro de la biotecnología moderna debido a su capacidad para desarrollar células, tejidos u órganos de plantas en ambientes controlados *in vitro*. Esta metodología ha permitido optimizar la producción vegetal, garantizando la obtención de plantas homogéneas, sanas y de alta calidad genética. En los últimos años, los avances científicos, junto con la incorporación de herramientas de la biología molecular, han impulsado significativamente su evolución, mejorando procesos clave como la micropropagación, la embriogénesis somática, así como el cultivo de meristemos. Estas innovaciones han ampliado sus aplicaciones en diversos ámbitos, especialmente en la agricultura, donde se emplea para generar cultivos libres de enfermedades con características mejoradas; en el campo de la conservación, al facilitar la preservación de especies vegetales junto con recursos genéticos en su mejoramiento, mediante la selección, así como la multiplicación de plantas con rasgos deseables. En este sentido, el propósito fundamental de este trabajo consiste en examinar los avances recientes en el cultivo de tejidos vegetales, además de analizar su impacto en la biotecnología contemporánea, particularmente en relación con la sostenibilidad agrícola, así como la seguridad alimentaria. Como resultado, se reconoce que estas técnicas han transformado los sistemas de producción vegetal al ofrecer métodos más eficientes, rápidos; no obstante, aún presentan desafíos como los elevados costos operativos, la variabilidad somaclonal y la necesidad de infraestructura especializada. Por ello, resulta fundamental impulsar la inversión en investigación científica, fortalecer la formación técnica, integrar estas tecnologías con herramientas innovadoras como la edición genética, además de promover su aplicación en el sector productivo, con el fin de aprovechar al máximo sus beneficios en el desarrollo sostenible, así como en la conservación de la biodiversidad, favoreciendo sistemas agrícolas más resilientes, eficientes, sostenibles, con impacto positivo en la seguridad alimentaria global.

Palabras clave: *in vitro*, Micropropagación, Agricultura, Metabolitos secundarios, Meristemos.

ABSTRACT

Plant tissue culture has become one of the most relevant techniques in modern biotechnology due to its capacity to develop plant cells, tissues, or organs under controlled *in vitro* conditions. This methodology has optimized plant production by ensuring the generation of homogeneous, healthy specimens with high genetic quality. In recent years, scientific advances, together with the incorporation of molecular biology tools, have significantly driven its evolution, improving key processes such as micropropagation, somatic embryogenesis, as well as meristem culture. These innovations have expanded its applications across multiple fields, particularly in agriculture, where it is employed to produce disease-free crops with improved traits; in conservation, by facilitating the preservation of plant species along with genetic resources; moreover, in genetic improvement through the selection and multiplication of plants exhibiting desirable characteristics. In this context, the primary objective of this study is to examine recent advances in plant tissue culture and to analyze their impact on contemporary biotechnology, particularly regarding agricultural sustainability and food security. As a result, these techniques are recognized for transforming plant production systems by providing more efficient, rapid, and controlled methods; however, challenges remain, including high operational costs, somaclonal variation, as well as the requirement for specialized infrastructure. Therefore, it is essential to promote investment in scientific research, strengthen technical training, integrate these technologies with innovative tools such as gene editing, and enhance their application within the productive sector in order to maximize their benefits for sustainable development and biodiversity conservation, ultimately supporting more resilient, efficient, and sustainable agricultural systems with a positive impact on global food security.

Keywords: *In vitro*, Micropropagation, Agriculture, Secondary metabolites, Meristems.



Creative Commons Attribution 4.0
International (CC BY 4.0)

Introducción

El cultivo de tejidos vegetales se ha consolidado como una de las metodologías más relevantes en la biotecnología vegetal moderna, debido a su capacidad para regenerar plantas completas a partir de células o fragmentos de tejidos en condiciones controladas *in vitro*. Esta capacidad se basa en el principio de la totipotencia celular, el cual permite que una célula diferenciada recupere su potencial para originar un organismo completo cuando se encuentra en un ambiente adecuado, este fundamento ha permitido el desarrollo de diversas técnicas orientadas a la propagación, conservación y mejoramiento de especies vegetales (Bhardwaj et al., 2025).

La integración de herramientas emergentes como la inteligencia artificial ha permitido optimizar condiciones de cultivo, reducir la variabilidad experimental y aumentar la eficiencia de regeneración vegetal (Narra et al., 2025). Estas innovaciones han ampliado sus aplicaciones en distintos campos, especialmente en la agricultura, donde se emplea para la producción de cultivos resistentes y libres de enfermedades; en la conservación, facilitando la preservación de recursos fitogenéticos; y en la producción de metabolitos secundarios de interés industrial y farmacéutico (Somnath et al., 2025).

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar los avances recientes en el cultivo de tejidos vegetales y evaluar su impacto en la biotecnología moderna, particularmente en relación con la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria. Diversos estudios destacan que esta tecnología constituye una alternativa eficiente comparado con métodos tradicionales de propagación, permitiendo una producción rápida, controlada y a gran escala (Bhardwaj et al., 2025).

El cultivo de tejidos vegetales desempeña un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad, al permitir la preser-

vación de recursos fitogenéticos mediante técnicas como el almacenamiento *in vitro* y la crioconservación, especialmente en especies con limitada capacidad de propagación convencional (Reed, 2022).

A pesar de sus múltiples beneficios, esta tecnología presenta ciertas limitaciones que deben considerarse. Entre ellas, la variación somaclonal constituye un factor que puede afectar la estabilidad genética de las plantas regeneradas, como lo mencionan Bairu et al. (2021). Además, los requerimientos de infraestructura especializada y los costos asociados continúan siendo obstáculos importantes para su implementación.

La evidencia científica indica que el cultivo de tejidos vegetales ha evolucionado de manera significativa, posicionándose como una herramienta indispensable en la biotecnología moderna. Su aplicación en áreas como la agricultura sostenible, la conservación de especies y el mejoramiento genético resalta su importancia en el contexto actual, donde la innovación tecnológica es clave para enfrentar los desafíos globales.

Fundamentos del cultivo de tejidos vegetales

El principio de la totipotencia celular, permite a una célula vegetal diferenciada regenerar una planta completa bajo condiciones controladas *in vitro*. El éxito de esta técnica depende de múltiples factores interrelacionados, entre los que destacan el tipo de explante, la composición del medio de cultivo, el balance de reguladores de crecimiento y las condiciones ambientales del sistema. El explante, que puede ser un fragmento de hoja, tallo, raíz o meristemo, influye significativamente en la capacidad de regeneración, ya que su origen fisiológico y estado de diferenciación determinan su respuesta morfogénica (Hesami et al., 2021).

El medio de cultivo constituye un elemento crítico, ya que proporciona los nutrientes esenciales, vitaminas, fuentes de carbono y reguladores de crecimiento necesarios

para el desarrollo celular. En este contexto, la relación entre auxinas y citoquininas desempeña un papel determinante en la inducción de procesos como la organogénesis y la embriogénesis somática, los cuales son fundamentales para la regeneración de tejidos y órganos vegetales (Kumar et al., 2022). La organogénesis implica la formación de órganos como brotes y raíces a partir de tejidos diferenciados, mientras que la embriogénesis somática permite la generación de embriones a partir de células somáticas, facilitando la propagación masiva de plantas con alta uniformidad genética.

Las condiciones ambientales, incluyendo la temperatura, la luz, la humedad y el pH del medio, influyen directamente en la eficiencia del cultivo *in vitro*. La optimización de estos parámetros es esencial para maximizar la tasa de regeneración y reducir la variabilidad experimental. En los últimos años, el uso de herramientas basadas en inteligencia artificial ha permitido modelar y predecir las condiciones óptimas de cultivo, mejorando significativamente la eficiencia de los protocolos (Narra et al., 2025).

El cultivo de tejidos vegetales permite la multiplicación rápida de plantas genéticamente uniformes en condiciones independientes del clima, lo que representa una ventaja significativa frente a los métodos convencionales de propagación. Esta capacidad resulta especialmente relevante en la producción comercial de cultivos, ya que garantiza la obtención de material vegetal libre de patógenos y con características homogéneas (Bhardwaj et al., 2025). Además, esta técnica facilita la propagación de especies con baja viabilidad de semillas o con ciclos reproductivos prolongados, ampliando su aplicabilidad en programas de mejoramiento genético y conservación de germoplasma.

Estos fundamentos evidencian que el cultivo de tejidos vegetales es una tecnología altamente controlable y adaptable, cuya eficiencia depende de la interacción precisa de factores biológicos, químicos y físicos.

Su continuo desarrollo, impulsado por la integración de nuevas tecnologías, refuerza su papel como herramienta esencial en la biotecnología vegetal moderna.

Avances recientes en cultivo de tejidos vegetales

Integración con biotecnología molecular

La convergencia entre el cultivo de tejidos vegetales y la biotecnología molecular ha transformado profundamente las estrategias de mejoramiento genético. En particular, la incorporación de herramientas de edición genómica como CRISPR/Cas ha permitido realizar modificaciones dirigidas y altamente específicas en el ADN de las plantas, incrementando la precisión y reduciendo el tiempo requerido para obtener nuevas variedades (Chen et al., 2022). La eficiencia de estos sistemas depende en gran medida de la capacidad de regeneración *in vitro*, lo que posiciona al cultivo de tejidos como un componente indispensable en los procesos de transformación genética.

Los avances en técnicas de transformación, como la mediada por *Agrobacterium tumefaciens* y métodos físicos como la biobalística, han sido optimizados mediante protocolos *in vitro*, facilitando la introducción estable de genes de interés (Altpeter et al., 2020). Estas innovaciones han permitido el desarrollo de cultivos con características mejoradas, incluyendo tolerancia a estrés abiótico, resistencia a patógenos y aumento del rendimiento productivo. En conjunto, la integración entre cultivo de tejidos y edición genética representa una plataforma clave para la agricultura de precisión y el desarrollo de cultivos resilientes frente a los problemas agrícolas actuales (Murthy et al., 2020).

Aplicación de inteligencia artificial

En los últimos años, la incorporación de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático ha emergido como una estrategia innovadora para optimizar los sistemas de cultivo *in vitro*. Estas herramientas permiten analizar grandes

volúmenes de datos experimentales y modelar variables críticas como la composición del medio de cultivo, la concentración de reguladores de crecimiento y las condiciones ambientales (Hesami et al., 2021). Como resultado, se ha logrado mejorar la eficiencia en la regeneración vegetal y reducir la variabilidad en los resultados experimentales.

El uso de algoritmos predictivos ha facilitado la automatización de procesos y la toma de decisiones basada en datos, lo que contribuye a la reducción de costos operativos y al incremento de la reproducibilidad de los protocolos (Narra et al., 2025). Estas aplicaciones son especialmente relevantes en sistemas de producción a gran escala, donde la optimización de recursos y la estandarización de procesos son fundamentales. En este contexto, la IA se perfila como una herramienta estratégica para impulsar la modernización del cultivo de tejidos vegetales y su adopción en entornos industriales.

Sistemas avanzados de cultivo

El desarrollo de alternativas de cultivo ha permitido mejorar significativamente la eficiencia y escalabilidad de las técnicas *in vitro*. Entre estos, los biorreactores representan una alternativa tecnológica clave, ya que permiten el cultivo masivo de células y tejidos vegetales en condiciones controladas, favoreciendo la producción a gran escala de plantas y metabolitos secundarios (Paek et al., 2021).

Los sistemas de inmersión temporal han demostrado ser altamente eficientes para la micropropagación, al mejorar la disponibilidad de nutrientes y la oxigenación de los explantes, reduciendo problemas como la hiperhidricidad (Monja-Mio et al., 2020). Asimismo, técnicas como el cultivo en capas celulares delgadas han optimizado la regeneración vegetal al facilitar una respuesta más uniforme y rápida de los tejidos.

Estos avances tecnológicos han contribuido a aumentar la productividad, reducir los costos de producción y mejorar la calidad

del material vegetal obtenido. En consecuencia, los sistemas avanzados de cultivo se han convertido en componentes esenciales para la implementación del cultivo de tejidos vegetales en contextos comerciales e industriales, consolidando su papel dentro de la biotecnología moderna.

Aplicaciones en la biotecnología moderna

Micropropagación

La micropropagación representa una de las aplicaciones más consolidadas del cultivo de tejidos vegetales, al permitir la multiplicación acelerada de plantas con alta uniformidad genética y calidad fitosanitaria. Esta técnica es especialmente relevante en sistemas de producción intensiva, donde la demanda de material vegetal homogéneo y libre de patógenos es un requisito fundamental. Estudios recientes han demostrado que la optimización de protocolos *in vitro*, incluyendo el ajuste preciso de reguladores de crecimiento y condiciones ambientales, mejora significativamente la tasa de multiplicación y la calidad de los explantes (Cardoso et al., 2020). Asimismo, la micropropagación se ha convertido en una herramienta estratégica en cultivos hortícolas, forestales y ornamentales, contribuyendo a la estandarización de la producción y a la reducción de pérdidas por enfermedades.

Mejoramiento genético

El cultivo de tejidos vegetales desempeña un papel crucial en el mejoramiento genético, al facilitar tanto la regeneración de plantas transformadas como la selección de variantes con características agronómicas superiores. En este sentido, técnicas como el cultivo de anteras, la embriogénesis somática y la selección *in vitro* permiten acelerar los procesos de obtención de líneas mejoradas. Investigaciones recientes destacan que estas metodologías, combinadas con herramientas de biotecnología moderna, contribuyen al desarrollo de cultivos con mayor tolerancia a estrés abiótico, resistencia a enfermedades y mejor eficiencia pro-

ductiva (Raza et al., 2022). Además, el cultivo *in vitro* permite la evaluación temprana de características deseables, reduciendo el tiempo requerido en los programas de mejoramiento convencional.

Conservación de germoplasma

El cultivo *in vitro* constituye una estrategia clave para la conservación de germoplasma, especialmente en especies con semillas recalcitrantes o con baja capacidad de almacenamiento en bancos tradicionales. Técnicas como el crecimiento lento y la criopreservación han permitido preservar material genético por largos periodos sin pérdida significativa de viabilidad. Según estudios recientes, estas metodologías son fundamentales para la conservación de especies amenazadas y la protección de la diversidad genética vegetal frente a factores como el cambio climático y la degradación ambiental (Pence, 2021). Además, el uso de bancos de germoplasma *in vitro* facilita el acceso y la distribución de recursos genéticos para investigación y programas de mejoramiento.

Producción de metabolitos secundarios

Mediante cultivos celulares y de tejidos vegetales ha adquirido gran relevancia en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. Estos sistemas permiten la síntesis controlada de compuestos bioactivos, como alcaloides, flavonoides y terpenoides, bajo condiciones estandarizadas y sin depender de factores ambientales externos. Investigaciones recientes han evidenciado que el uso de elicitores, así como la optimización de medios de cultivo, puede incrementar significativamente la producción de estos compuestos (Isah et al., 2021). Además, esta estrategia contribuye a la sostenibilidad, al reducir la presión sobre las poblaciones naturales de plantas medicinales y garantizar una producción constante y de alta calidad.

Desafíos y limitaciones

A pesar de sus múltiples beneficios, el cultivo de tejidos vegetales enfrenta diversos

desafíos que limitan su aplicación a gran escala. Uno de los principales obstáculos es el elevado costo asociado a la implementación y mantenimiento de laboratorios especializados, que requieren infraestructura adecuada, equipos de esterilización, sistemas de control ambiental y personal altamente capacitado. Estos requerimientos incrementan significativamente los costos operativos, lo que dificulta su adopción en contextos con recursos limitados (Bhojwani y Dantu, 2021).

Otro aspecto crítico es la variabilidad somaclonal, fenómeno que puede surgir durante la regeneración *in vitro* y que conlleva alteraciones genéticas y epigenéticas en las plantas obtenidas. Aunque en algunos casos esta variabilidad puede ser aprovechada para generar diversidad genética, en sistemas de producción comercial representa un problema, ya que afecta la uniformidad y estabilidad de los cultivos (Azizi et al., 2021). Además, factores como el tipo de explante, la duración del cultivo y las condiciones del medio pueden influir en la frecuencia de estas variaciones.

La necesidad de mantener condiciones altamente controladas constituye una limitación importante. Variables como la temperatura, la luz, la humedad, el pH y la composición del medio deben ser cuidadosamente reguladas para garantizar el éxito del cultivo, lo que incrementa la complejidad técnica de los procesos. En este sentido, pequeñas variaciones pueden afectar significativamente la tasa de regeneración y el desarrollo de los tejidos (Tripathi et al., 2022).

La optimización de protocolos sigue siendo un desafío considerable debido a la alta variabilidad entre especies, genotipos e incluso entre diferentes tipos de explantes dentro de una misma especie. Esto implica que los protocolos desarrollados no siempre son universalmente aplicables, requiriendo ajustes específicos y procesos experimentales prolongados para cada caso particular (Kulus, 2020). Esta limitación ralentiza la

transferencia de tecnología y dificulta la estandarización de procesos a nivel industrial.

Finalmente, también se han identificado problemas relacionados con la contaminación microbiana, la hiperhidricidad y la baja tasa de aclimatación de plantas regeneradas al ser transferidas a condiciones *ex vitro*. Estos factores afectan la eficiencia global del proceso y pueden generar pérdidas significativas en la producción (Taghipour et al., 2021).

En conjunto, estos desafíos evidencian que, aunque el cultivo de tejidos vegetales es una herramienta poderosa, su implementación eficiente requiere avances continuos en investigación, innovación tecnológica y desarrollo de protocolos más robustos y reproducibles, con el fin de maximizar su aplicabilidad en la biotecnología moderna.

Discusión integradora

La evidencia revisada confirma que el cultivo de tejidos vegetales se ha consolidado como una plataforma tecnológica central en la biotecnología moderna, aunque su desempeño depende de la interacción entre avances metodológicos, herramientas emergentes y limitaciones operativas. En términos de eficiencia productiva, los estudios sobre micropropagación coinciden en su alta capacidad para generar plantas uniformes y libres de patógenos; sin embargo, mientras Cardoso et al. (2020) destacan la estandarización de protocolos como factor clave para la escalabilidad, otros autores subrayan que dicha estandarización sigue siendo limitada por la variabilidad genotípica y fisiológica de los explantes, lo que obliga a ajustes específicos para cada especie.

En el ámbito del mejoramiento genético, existe consenso en que la integración del cultivo *in vitro* con herramientas de edición genómica ha acelerado significativamente la obtención de cultivos mejorados. Chen et al. (2022) argumentan que la precisión de tecnologías como CRISPR depende directamente de sistemas eficientes de regeneración vegetal, mientras que Raza et al. (2022)

enfatan su papel estratégico frente al cambio climático. Esta convergencia sugiere que el cultivo de tejidos no es solo una técnica complementaria, sino un componente estructural en la biotecnología de precisión.

Por otro lado, la incorporación de inteligencia artificial introduce una dimensión innovadora en la optimización de procesos. Hesami et al. (2021) y Narra et al. (2025) coinciden en que los modelos predictivos mejoran la reproducibilidad y reducen costos; no obstante, difieren en el grado de madurez tecnológica, ya que algunos autores consideran que su aplicación aún es incipiente en contextos productivos a gran escala. Esta divergencia refleja una brecha entre el potencial teórico de la IA y su implementación práctica.

En relación con la conservación de germoplasma, los enfoques actuales coinciden en destacar la relevancia del cultivo *in vitro* y la criopreservación como herramientas esenciales para la protección de la biodiversidad. Pence (2021) resalta su aplicabilidad en especies recalcitrantes, mientras que otros trabajos enfatizan la necesidad de integrar estas técnicas en programas globales de conservación, evidenciando un consenso sobre su valor estratégico.

No obstante, las limitaciones del sistema siguen siendo un punto crítico de discusión. La variación somaclonal, señalada por Azizi et al. (2021), y los altos costos operativos mencionados por Bhojwani y Dantu (2021), coinciden como barreras persistentes. Asimismo, la dificultad en la optimización de protocolos, destacada por Kulus (2020), pone de manifiesto la necesidad de enfoques más universales y reproducibles. En este sentido, algunos autores proponen la integración de herramientas digitales y automatización como vía para superar estas limitaciones, aunque su adopción aún es desigual.

En síntesis, la comparación crítica de la literatura evidencia una convergencia sólida en torno al papel del cultivo de tejidos vegetales como eje estratégico para la agri-

cultura sostenible, el mejoramiento genético y la conservación de la biodiversidad. No obstante, este consenso coexiste con brechas estructurales que limitan su adopción plena, particularmente en relación con los altos costos de implementación, la falta de estandarización de protocolos y las dificultades en la transferencia tecnológica hacia el sector productivo. A ello se suman desafíos emergentes, como la necesidad de garantizar la estabilidad genética del material propagado y de adaptar las tecnologías a contextos locales con recursos limitados. En este escenario, la integración multidisciplinaria se posiciona como un enfoque imprescindible, al articular avances en biotecnología molecular, inteligencia artificial, automatización y sistemas de producción escalables. Esta sinergia no solo permitirá optimizar la eficiencia y reproducibilidad de los procesos *in vitro*, sino también acelerar la innovación en cultivos resilientes frente al cambio climático y a las crecientes demandas alimentarias. En consecuencia, el fortalecimiento de redes de investigación colaborativa, la inversión en infraestructura científica y la formación de capital humano especializado serán determinantes para consolidar el impacto del cultivo de tejidos vegetales como una tecnología transformadora en los sistemas agrícolas del futuro.

Conclusiones

El cultivo de tejidos vegetales se consolida como una herramienta tecnológica de gran relevancia dentro de la biotecnología actual, con un impacto significativo en la producción agrícola, el mejoramiento genético y la conservación de la diversidad vegetal. La evidencia analizada demuestra que su integración con tecnologías emergentes, como la edición genómica, la inteligencia artificial y los sistemas automatizados, ha permitido optimizar los procesos *in vitro* y ampliar sus aplicaciones, posicionándolo como un elemento clave en la transformación de los sistemas agrícolas modernos.

Desde una visión crítica, su implementación a gran escala aún enfrenta importantes limitaciones. Entre ellas destacan los elevados costos, la necesidad de infraestructura especializada y la dificultad para estandarizar protocolos debido a la variabilidad entre especies y genotipos. Además, la presencia de variación somaclonal continúa siendo un desafío relevante, ya que puede afectar la estabilidad genética y la calidad del material vegetal obtenido. Estas restricciones ponen en evidencia la necesidad de desarrollar enfoques más eficientes, accesibles y adaptables a diferentes contextos productivos.

Se identifica una brecha entre los avances científicos y su aplicación en el sector productivo, lo que limita el impacto real de esta tecnología. En este sentido, resulta fundamental fortalecer la articulación entre la investigación académica, la industria y los sistemas agrícolas, promoviendo estrategias que faciliten la transferencia tecnológica y la adopción de innovaciones. Asimismo, el establecimiento de políticas públicas adecuadas y mecanismos de financiamiento contribuirá a impulsar su implementación.

De cara al futuro, el desarrollo del cultivo de tejidos vegetales dependerá de la integración de enfoques interdisciplinarios que combinen biotecnología, automatización y análisis de datos. Esta convergencia permitirá mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la reproducibilidad de los procesos. Igualmente, la incorporación de prácticas sostenibles será clave para asegurar su contribución a los objetivos de desarrollo global.

El cultivo de tejidos vegetales presenta un alto potencial para responder a los desafíos actuales relacionados con la seguridad alimentaria, el cambio climático y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, su consolidación dependerá de la capacidad de superar las limitaciones existentes y de promover su acceso y aplicación en contextos reales, integrándolo como un componente esencial dentro de un sistema de innovación agrícola sostenible.

Bibliografía

- Altpeter, F., Springer, N., Bartley, L., Blechl, A., Brutnell, T., Citovsky, V., Van, J. (2020). Advancing Crop Transformation in the Era of Genome Editing (Vol. 32). *The Plant Cell*. <https://doi.org/doi.org/10.1105/tpc.19.00809>
- Azizi, P., Hanafi, M. M., Sahebi, M., Harikrishna, J. A., & Taheri, S. (2021). Somaclonal variation in plant tissue culture: A review (Vol. 193). *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s12010-021-03500-0>
- Bairu, M. W., & Aremu, A. O. (2021). Somaclonal variation in plants: Mechanisms and applications (Vol. 145). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11240-020-01915-4>
- Bhardwaj, S., Kumari, M., Chethan, T., & Madhuri, H. (2025). Advances in Micropropagation and Tissue Culture for Horticultural Crops: A Review (Vol. 26). *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. <https://doi.org/10.56557/pcbmb/2025/v26i11-1210039>
- Bhojwani, S. S., & Dantu, P. K. (2021). *Plant tissue culture: An introductory text (revised ed.)*. Springer.
- Cardoso, J. C., Teixeira da Silva, J. A., & Dobránszki, J. (2020). Micropropagation in the twenty-first century (Vol. 141). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11240-019-01764-4>
- Chen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H., & Gao, C. (2022). CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture (Vol. 73). *Annual Review of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100049>
- Hesami, M., Jones, A. M., & Jones, A. M. (2021). Application of artificial intelligence in plant tissue culture (Vol. 146). *Plant Cell*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11240-021-02100-1>
- Isah, T., Umar, S., Mujib, A., Sharma, M. P., Rajasekharan, P. E., Zafar, N., & Fruk, A. (2021). Secondary metabolism of pharmaceuticals in plant cell cultures: Strategies and applications (Vol. 146). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11240-021-02094-w>
- Kulus, D. (2020). Application of tissue culture techniques in plant propagation and breeding (Vol. 10). *Agriculture*. <https://doi.org/doi.org/10.3390/agriculture10100464>
- Kumar, V., Rani, A., & Singh, B. (2022). Role of plant growth regulators in plant tissue culture: Recent advances (Vol. 41). *Journal of Plant Growth Regulation*.
- Monja-Mio, K. M., Olvera-Carrillo, Y., & Herrera-Herrera, J. L. (2020). Temporary immersion systems in plant micropropagation: Recent advances and future perspectives (Vol. 140). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*.
- Murthy, H. N., Dalawai, D., Bhat, M. A., & Paek, K. Y. (2020). Biotechnological production of valuable plant secondary metabolites using cell and tissue cultures (Vol. 140). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11240-019-01753-7>
- Narra, M., Ray, A., Brittany, P., Yang, H., & Bhowmik, P. (2025). AI-driven advances in plant biotechnology: sharpening the edge of plant tissue culture and genome editing (Vol. 16). *Canada: Front. Plant Sci*. <https://doi.org/doi.org/10.3389/fpls.2025.1718810>
- Paek, K. Y., Murthy, H. N., & Zhong, J. J. (2021). Production of biomass and bioactive compounds using bioreactor systems (Vol. 145). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*.
- Pence, V. C. (2021). In vitro methods for plant conservation: Progress and challenges (Vol. 57). *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11627-021-10170-7>
- Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2022). Impact of climate change on crops and the role of plant tissue culture in crop improvement (Vol. 12). *Agronomy*. <https://doi.org/doi.org/10.3390/agronomy12020321>
- Reed, B. M. (2022). *Plant cryopreservation: A practical guide for genebanks* (Vol. 11). *Plants*. <https://doi.org/doi.org/10.3390/plants11040504>
- Somnath, V. K., Harshavardan, J. H., Shashidhara, K., Nagaraju, D., Vangapandu, T., Subaran, S., & Vishal, S. (2025). *Plant Tissue Culture Techniques for Secondary Metabolite Production: A Review* (Vol. 28). *India: Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. <https://doi.org/10.9734/jabb/2025/v28i123489>
- Taghipour, F., Jalili, A., & Sadeghipour, H. R. (2021). Challenges and solutions in plant tissue culture: A review (Vol. 48). *Journal of Plant Biotechnology*.
- Tripathi, M. K., Mishra, D. C., Tiwari, S., & Singh, A. (2022). Role of environmental factors in plant tissue culture success (Vol. 23). *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*.

Cómo citar: Morán Villacreses, E. L., Caballero Andrade, B. J., Cruz Macias , B. A., & Macias Holguin, C. J. (2026). Cultivo de tejidos vegetales: avances y aplicaciones en la agrobiotecnología moderna. *Agrosilvicultura Y Medioambiente*, 4(1), 21–30. <https://doi.org/10.47230/agrosilvicultura.medioambiente.v4.n1.2026.21-30>