

## Estrategias biotecnológicas avanzadas para la optimización de la diversidad genética y la propagación vegetativa en *Swietenia macrophylla*

Advanced biotechnological strategies for the optimization of genetic diversity and vegetative genetic diversity and vegetative propagation in *Swietenia macrophylla*

Estratégias biotecnológicas avançadas para a otimização da diversidade genética e da propagação vegetativa diversidade genética e propagação vegetativa em *Swietenia macrophylla*

Carranza-Patiño, Mercedes Susana  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[mcarranza@uteq.edu.ec](mailto:mcarranza@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-0917-0415>



Marín-Cuevas, Carmen Victoria  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[vmarin@uteq.edu.ec](mailto:vmarin@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-8128-9170>



Herrera-Feijoo, Robinson Jasmany  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[rherrera@uteq.edu.ec](mailto:rherrera@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3205-2350>



Torres-Rodríguez, Juan Antonio  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[jatorres@uteq.edu.ec](mailto:jatorres@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0003-3326-4371>



Espinoza-Torres, Mary Cruz  
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

[mespinoza@uteq.edu.ec](mailto:mespinoza@uteq.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0006-4144-4806>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE4/496>

### Como citar:

Carranza-Patiño, M. S., Marín-Cuevas, C. V., Herrera-Feijoo, R. J., Torres-Rodríguez, J. A., & Espinoza-Torres, M. C. (2024). Estrategias biotecnológicas avanzadas para la optimización de la diversidad genética y la propagación vegetativa en *Swietenia macrophylla*. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(E4), 320–337.

Recibido: 23/08/2024

Aceptado: 12/09/2024

Publicado: 30/09/2024

## Resumen

*Swietenia macrophylla* (caoba) es una especie arbórea de alto valor ecológico y económico, actualmente en peligro crítico por la sobreexplotación. Esta revisión analiza las estrategias biotecnológicas más recientes para conservar su diversidad genética y mejorar su propagación vegetativa. Se revisaron estudios publicados entre 2019 y 2024 mediante una búsqueda en bases de datos como Web of Science y Scopus, siguiendo el protocolo PRISMA. Los estudios incluyen la embriogénesis somática, la micropropagación y el uso de marcadores moleculares. Los resultados destacan que la embriogénesis somática y la micropropagación son técnicas prometedoras para clonar individuos genéticamente valiosos, lo que ayuda a preservar genotipos adaptativos. Los marcadores moleculares permiten identificar genotipos con mayor capacidad de supervivencia. Sin embargo, persisten grandes retos, como la pérdida de viabilidad de las semillas y la fragmentación del hábitat. Las tecnologías emergentes, como la edición genética y la secuenciación de nueva generación (NGS), ofrecen oportunidades para mejorar los programas de conservación. A pesar de los avances, es necesario optimizar los métodos de propagación vegetativa y asegurar la viabilidad de los clones en condiciones de campo. Un enfoque integral que considere la genética, la ecología y el cambio climático es crucial para la conservación de la caoba.

**Palabras clave:** Conservación genética, Propagación vegetativa, Embriogénesis somática, Marcadores moleculares, Tecnologías emergentes.

## Abstract

*Swietenia macrophylla* (mahogany) is a tree species of high ecological and economic value, currently critically endangered due to overexploitation. This review analyzes the latest biotechnological strategies to preserve its genetic diversity and improve vegetative propagation. Studies published between 2019 and 2024 were reviewed using databases like Web of Science and Scopus, following the PRISMA protocol. These studies include somatic embryogenesis, micropropagation, and the use of molecular markers. The results show that somatic embryogenesis and micropropagation are promising techniques for cloning genetically valuable individuals, aiding in the preservation of adaptive genotypes. Molecular markers help identify genotypes with higher survival capacity. However, challenges such as seed viability loss and habitat fragmentation remain significant. Emerging technologies like gene editing and next-generation sequencing (NGS) offer opportunities to enhance conservation programs. Despite advancements, optimizing vegetative propagation methods and ensuring long-term clone viability in field conditions is essential. An integrated approach that considers genetics, ecology, and climate change is crucial for mahogany Conservation.

**Keywords:** Genetic conservation, Vegetative propagation, Somatic embryogenesis, Molecular markers, Emerging technologies.

## Resumo

*Swietenia macrophylla* (mogno) é uma espécie arbórea de alto valor ecológico e econômico, atualmente em perigo crítico devido à superexploração. Esta revisão analisa as estratégias biotecnológicas mais recentes para preservar sua diversidade genética e melhorar a propagação vegetativa. Foram revisados estudos publicados entre 2019 e 2024, utilizando bases de dados

como Web of Science e Scopus, siguiendo o protocolo PRISMA. Esses estudos incluem embriogênese somática, micropropagação e o uso de marcadores moleculares. Os resultados mostram que a embriogênese somática e a micropropagação são técnicas promissoras para a clonagem de indivíduos geneticamente valiosos, ajudando na preservação de genótipos adaptativos. Os marcadores moleculares ajudam a identificar genótipos com maior capacidade de sobrevivência. No entanto, desafios como a perda de viabilidade das sementes e a fragmentação do habitat permanecem significativos. Tecnologias emergentes, como a edição genética e o sequenciamento de nova geração (NGS), oferecem oportunidades para melhorar os programas de conservação. Apesar dos avanços, é essencial otimizar os métodos de propagação vegetativa e garantir a viabilidade a longo prazo dos clones em condições de campo. Uma abordagem integrada que considere a genética, a ecologia e as mudanças climáticas é crucial para a conservação do mogno.

**Palavras-chave:** Conservação genética, Propagação vegetativa, Embriogênese somática, Marcadores moleculares, Tecnologias emergentes.

## Introducción

Los bosques tropicales son una fuente crucial de recursos fitogenéticos que tienen un valor significativo tanto económico como ecológico (Sánchez-Reyes et al., 2023). A pesar de los importantes esfuerzos en conservación ambiental, estos han sido insuficientes para frenar la acelerada pérdida de biodiversidad (Limongi Andrade et al., 2022). *Swietenia macrophylla*, conocida comúnmente como caoba, se encuentra actualmente en la categoría de conservación en peligro crítico debido a su sobreexplotación prolongada (de Oliveira et al., 2020). La alta demanda de su madera, valorada mundialmente por su belleza, durabilidad y versatilidad, ha provocado una disminución significativa de sus poblaciones naturales (Quiala et al., 2022).

Las poblaciones de *Swietenia macrophylla* han mostrado una reducción considerable tanto en cantidad como en calidad genética, lo que pone en riesgo su viabilidad a largo plazo (Sampayo-Maldonado et al., 2021). La explotación intensiva, junto con la fragmentación del hábitat y la falta de medidas de conservación efectivas, han contribuido a esta situación alarmante (Limongi Andrade et al., 2022). La variabilidad genética entre las poblaciones remanentes es esencial para su capacidad adaptativa y supervivencia, pero se ha visto gravemente comprometida (Höglund et al., 2022).

El uso de tecnologías biotecnológicas es una opción viable para mejorar características específicas de *S. macrophylla* y mitigar la erosión genética (Quiala et al., 2022). Estas tecnologías incluyen el cultivo de tejidos *in vitro*, que se ha destacado como una herramienta eficaz para la regeneración y multiplicación de especies forestales amenazadas (Trujillo-Elisea et al., 2022). El uso de marcadores moleculares también es eficaz para evaluar la diversidad

genética, lo que permite identificar variaciones genéticas clave y facilitar estrategias de conservación (Mendes et al., 2021). Sin embargo, uno de los principales desafíos en la propagación de esta especie es la rápida pérdida de viabilidad de sus semillas, lo que impide la creación de bancos de semillas viables y contribuye a la disminución del número de individuos maduros en poblaciones naturales (Carvalho et al., 2020).

A pesar de los avances en el uso de técnicas *in vitro*, todavía existen importantes lagunas en el conocimiento sobre la variabilidad genética de las poblaciones de *S. macrophylla* y sobre las prácticas más eficaces para su propagación vegetativa a gran escala (Sudrajat et al., 2021). Además, no se han explorado completamente las tecnologías emergentes que podrían optimizar estos procesos de propagación y conservación genética (Limongi Andrade et al., 2022). Esta falta de estudios exhaustivos representa una barrera para el desarrollo de programas efectivos de conservación y mejora genética de esta especie (Sampayo-Maldonado et al., 2021).

El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión sistemática para determinar la diversidad genética y las tecnologías que aumentan la multiplicación vegetativa en *Swietenia macrophylla* King, e identificar los métodos de propagación más efectivos y los avances recientes a nivel molecular en esta especie.

## 1. Introducción a *Swietenia macrophylla* (Caoba)

*Swietenia macrophylla*, comúnmente conocida como caoba, es una especie arbórea perteneciente a la familia Meliaceae, ampliamente distribuida en los trópicos de América Central y del Sur. Su madera, valorada por su durabilidad y estética superior, ha sido intensamente explotada, lo que ha llevado a la especie a ser incluida en la lista de especies en peligro de extinción de la CITES (de Oliveira et al., 2020). Debido a su sobreexplotación y la consecuente reducción de sus poblaciones naturales, la conservación de *Swietenia macrophylla* ha cobrado importancia, impulsando el desarrollo de estrategias biotecnológicas para su preservación y propagación (Herrera-Feijoo et al., 2023).

## 2. Principios Básicos de la Diversidad Genética

La diversidad genética es un componente esencial para la adaptación y supervivencia de las especies frente a cambios ambientales (Lasky, 2019). En *Swietenia macrophylla*, la fragmentación del hábitat y la explotación han reducido significativamente la variabilidad genética, lo que aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones restantes (de Oliveira et al., 2020). Estudios recientes han demostrado que la estructura genética espacial (SGS) de *Swietenia macrophylla* varía dependiendo de las prácticas de manejo forestal y la región

geográfica, subrayando la importancia de la conservación genética localizada (Céspedes et al., 2003).

### 3. Estrategias de Conservación Genética

Las estrategias de conservación de *Swietenia macrophylla* se dividen en dos enfoques principales: *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* implica la protección de la especie en su entorno natural, preservando el flujo genético y la dinámica ecológica de las poblaciones (de Oliveira et al., 2020; Wei & Jiang, 2021). Sin embargo, debido a la presión por la tala y la fragmentación, las estrategias *ex situ*, como los bancos de germoplasma y la propagación en viveros, han ganado importancia (Coelho et al., 2020; Pinto et al., 2021). Los estudios han demostrado que las técnicas de propagación *ex situ*, como la embriogénesis somática, son cruciales para mantener la variabilidad genética y asegurar la viabilidad de la especie a largo plazo (Pence et al., 2020; Żabicka et al., 2021).

### 4. Técnicas de Propagación Vegetativa y Clonal

La propagación vegetativa es una herramienta fundamental en la conservación y restauración de *Swietenia macrophylla*, especialmente en el contexto de la clonación de individuos genéticamente superiores (UICAB et al., 2022). La embriogénesis somática y la micropropagación son técnicas avanzadas que han permitido la producción de plantas clonalmente uniformes, lo que es esencial para la restauración de poblaciones degradadas (Gatica-Arias et al., 2019). Estas técnicas facilitan la clonación de individuos con características deseables, además de que también permiten la conservación de la diversidad genética a través de la selección de árboles madre de alto valor genético (Quiala et al., 2022).

### 5. Impacto del Cambio Climático en la Germinación y Crecimiento

El cambio climático representa un desafío significativo para la conservación y propagación de *Swietenia macrophylla*, afectando directamente la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas (Carvalho et al., 2020). Factores como el estrés hídrico y las variaciones de temperatura reducen la capacidad de germinación y la tasa de supervivencia de las plántulas, lo que podría limitar la capacidad de la especie para mantener sus poblaciones en su rango geográfico actual (Sampayo-Maldonado et al., 2021). Sin embargo, la capacidad de *Swietenia macrophylla* para adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas podría mitigar algunos de estos efectos adversos, destacando la importancia de desarrollar estrategias de manejo que consideren estos factores (Rajan et al., 2020).

### 6. Biotecnología Aplicada a la Conservación y Propagación

La biotecnología ha revolucionado las estrategias de conservación y propagación de *Swietenia macrophylla*. Técnicas como la embriogénesis somática y la micropropagación permiten la producción eficiente de plántulas, además que también aseguran el mantenimiento de la diversidad genética, lo cual es crucial para la sostenibilidad de la especie a largo plazo (Gatica-Arias et al., 2019). El uso de marcadores genéticos en la selección de individuos para programas de clonación y restauración ha permitido un enfoque más preciso y eficiente en la conservación de la diversidad genética (de Oliveira et al., 2020).

## Metodología

Esta revisión sistemática se diseñó para evaluar y sintetizar la literatura científica reciente sobre la diversidad genética y la propagación vegetativa e *in vitro* de *S. macrophylla*. Se siguieron los lineamientos del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) para garantizar un proceso de revisión riguroso y transparente (Moher et al., 2010).

**Criterios de Inclusión:** Se incluyeron estudios publicados entre 2019 y 2024 que abordaran aspectos relacionados con la diversidad genética, así como técnicas de propagación vegetativa e *in vitro* de la caoba. Los artículos seleccionados debían estar disponibles en texto completo y escritos en inglés o español. No se aplicaron restricciones en cuanto al cuartil de las revistas, enfocándose exclusivamente en estudios recientes y relevantes al tema de investigación (Liberati et al., 2009).

**Estrategia de Búsqueda:** Se llevaron a cabo búsquedas exhaustivas en bases de datos académicas como Web of Science, Scopus, y Google Scholar. Se utilizaron términos clave específicos como “genetic diversity”, “vegetative propagation”, “in vitro culture”, y “mahogany” combinados con operadores booleanos para refinar los resultados (Bramer et al., 2017). Se aplicaron filtros para restringir los estudios a los publicados en los últimos cinco años (2019-2024).

**Selección de Estudios:** La selección de estudios se realizó en dos etapas. Primero, se realizó un cribado inicial de títulos y resúmenes para identificar estudios potencialmente relevantes. Los estudios seleccionados fueron evaluados en texto completo para confirmar su pertinencia y calidad metodológica. De un total de 123 artículos identificados, se seleccionaron 14 estudios que cumplían con los criterios de inclusión para su análisis detallado.

**Análisis y Síntesis de Datos:** Los datos relevantes de los estudios seleccionados se extrajeron y se organizaron en categorías temáticas para facilitar la comparación y el análisis.

Se utilizó una síntesis cualitativa para identificar patrones comunes, diferencias en los enfoques metodológicos, y las principales conclusiones de cada estudio en relación con la diversidad genética y la propagación de la caoba (Popay et al., 2017).

## Resultados

En esta revisión sistemática se han identificado diversos estudios que abordan aspectos críticos para la conservación y propagación de *Swietenia macrophylla* (caoba), una especie de gran importancia ecológica y económica. Los estudios se han categorizado en tres áreas clave: Germinación y Crecimiento, Propagación Vegetativa y Clonal, y Genética y Conservación. A continuación, se presenta un resumen de los principales hallazgos, organizados en función de estas categorías.

### Área 1: Germinación y Crecimiento

Esta categoría agrupa estudios que investigan las respuestas de *Swietenia macrophylla* bajo diferentes condiciones ambientales, como el estrés hídrico, la temperatura y la luz, y cómo estas variables afectan la germinación y el crecimiento de las plántulas. Estos estudios son fundamentales para entender los desafíos en la regeneración natural de la especie y para desarrollar estrategias de reforestación efectivas.

#### Tabla 1:

Investigaciones recientes sobre la germinación y crecimiento de *Swietenia macrophylla* bajo diferentes condiciones ambientales

Título del Artículo	Autores	Año	Resumen
<b>Respuestas de germinación y crecimiento al estrés hídrico de tres especies de árboles agroforestales de Bangladesh</b>	Sultana, N., Limón, SH, Rahman, M., Medida, DF, Bloomberg, M.	2021	El estudio examina la germinación, supervivencia y crecimiento de <i>Swietenia macrophylla</i> bajo diferentes regímenes de humedad del suelo, destacando su respuesta a condiciones de sequía (Sultana et al., 2021).
<b>Nicho térmico para la germinación de semillas y modelado de la distribución de especies de <i>Swietenia macrophylla</i> king bajo escenarios de cambio climático</b>	Sampayo-Maldonado, S., Ordoñez-Salanueva, CA, Mattana, E., Ulián, T., Flores-Ortiz, CM	2021	Se determinan las temperaturas óptimas para la germinación de semillas y se modela la distribución potencial bajo escenarios de cambio climático (Sampayo-Maldonado et al., 2021).
<b>Efecto de la temperatura y la luz sobre la germinación de semillas y el crecimiento de</b>	de Carvalho, CA, da Silva, JB, Alves, RC, Cotrim, MF, Teixeira, AV	2020	Se analiza cómo la temperatura y la luz afectan la germinación y el crecimiento de plántulas, identificando las condiciones

plántulas de <i>Swietenia macrophylla</i> king			óptimas para la regeneración de la especie (Carvalho et al., 2020).
Variación del tamaño de las semillas y su efecto sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> )	Pramono, AA, Yadav, Y., Mujer, KP	2019	El estudio investiga cómo el tamaño de las semillas influye en la germinación y el crecimiento inicial de las plántulas, proporcionando criterios para la selección de semillas de alta calidad (Pramono et al., 2019).
Efectos de la preparación de semillas en la germinación y el establecimiento de plántulas de árboles tropicales útiles para la restauración ecológica	Peraza-Villarreal, H., Sánchez-Coronado, ME, Lindig-Cisneros, R., Cámara-Cabrales, L., Orozco-Segovia, A.	2018	Se evalúan métodos de preparación de semillas y su impacto en la germinación y supervivencia de plántulas en programas de restauración ecológica (Peraza-Villarreal et al., 2018).

Nota: Autores (2024).

## Área 2: Propagación Vegetativa y Clonal

Esta área comprende estudios que exploran técnicas avanzadas de propagación vegetativa, como la embriogénesis somática y la micropropagación. Estas técnicas son cruciales para la clonación de individuos genéticamente superiores y para la restauración de poblaciones degradadas de *Swietenia macrophylla*.

### Tabla 2:

Resumen de investigaciones recientes sobre la embriogénesis somática y propagación de caoba *Swietenia macrophylla*

Título del Artículo	Autores	Año	Resumen
Embriogénesis somática y regeneración vegetal a partir de hojas del híbrido interespecífico de caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> King × <i>S. mahagoni</i> (L.) Jacq.)	Quiala, E., Barbón, R., Mestanza, S., Daniels, D., Noceda, C.	2022	Se describe un protocolo para la embriogénesis somática de un híbrido interespecífico de caoba, abriendo la posibilidad para la propagación clonal de árboles seleccionados (Quiala et al., 2022).
Germinación y propagación in vitro de caoba brasileña ( <i>Swietenia macrophylla</i> King)	Pereira, CD, Bernini, CS, Jantsch, M., Medeiros, RA, de Moura, LC	2021	Se evalúan los efectos de los reguladores de crecimiento en la germinación y multiplicación in vitro de caoba brasileña, con el fin de optimizar la producción de plántulas (Pereira et al., 2021).
Cambios morfológicos y bioquímicos durante la embriogénesis somática en caoba ( <i>Swietenia macrophylla</i> (Meliaceae))	Gatica-Arias, A., Vargas-Corrales, K., Benavides-Acevedo, M., Jens Norbert, W., Valdez-Melara, M.	2019	El estudio describe las características bioquímicas y morfológicas del proceso de embriogénesis somática, aportando información clave para la mejora de las técnicas de clonación (Gatica-Arias et al., 2019).
Eficiencia del injerto en especies arbóreas nativas brasileñas	Mendes, GGC, Dos Santos, GA, Javier, A., Martín, TGV, Dos Reis Neto, RF	2021	Se evalúa la eficacia del injerto en <i>Swietenia macrophylla</i> y otras especies nativas, demostrando su potencial en la propagación de



árboles perennes (Mendes et al., 2021).

Nota: Autores (2024).

### Área 3: Genética y Conservación

Esta categoría agrupa estudios que analizan la diversidad genética de *Swietenia macrophylla* y las implicaciones de diferentes prácticas de manejo forestal en su conservación. La genética juega un papel crucial en la viabilidad a largo plazo de la especie, especialmente en contextos de fragmentación del hábitat y explotación forestal.

#### Tabla 3:

Estudios sobre la diversidad genética y morfométrica de *Swietenia macrophylla* y su manejo forestal

Título del Artículo	Autores	Año	Resumen
<b>Implicaciones del manejo forestal comunitario para la conservación de la diversidad genética de la caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King, Meliaceae) en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala</b>	Alarcón-Méndez, M., Maselli, S., de Zonneveld, M., Franco, A., Duminil, J.	2023	El estudio evalúa los efectos del manejo forestal comunitario sobre la diversidad genética de <i>Swietenia macrophylla</i> , encontrando que las prácticas actuales no disminuyen significativamente la diversidad genética de la especie (Alarcón-Méndez et al., 2023).
<b>Caracterización molecular del árbol de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King, Meliaceae) en el bosque natural remanente del Ecuador</b>	Limongi Andrade, R., Pico-Mendoza, J., Morillo, E., Pinoargote, M., Carrasco, B.	2022	Se analiza la diversidad genética de <i>Swietenia macrophylla</i> en Ecuador utilizando marcadores moleculares, revelando niveles moderados de diversidad y la necesidad de estrategias para incrementar su variabilidad genética (Limongi Andrade et al., 2022).
<b>Diversidad genética de <i>Fusarium pseudocircinatum</i> en la región centro occidente de México: el caso de la enfermedad de malformación de la caoba de hoja grande</b>	Santillán-Mendoza, R., Montoya-Martínez, AC, Pineda-Vaca, D., Ortega-Arreola, R., Rodríguez-Alvarado, G.	2020	Se estudia la diversidad genética de <i>Fusarium pseudocircinatum</i> , patógeno de <i>Swietenia macrophylla</i> , para comprender mejor la enfermedad y desarrollar estrategias de manejo más efectivas (Santillán-Mendoza et al., 2020).
<b>Utilización de la estructura genética espacial de una población de <i>Swietenia macrophylla</i> King para integrar la diversidad genética en las estrategias de gestión en el suroeste de la Amazonia</b>	de Oliveira, SS, Campos, T., Sebbenn, AM, de Oliveira, MVN	2020	El estudio investiga la estructura genética espacial de una población de <i>Swietenia macrophylla</i> en la Amazonia, sugiriendo prácticas de manejo que preserven la diversidad genética de la especie (de Oliveira et al., 2020).
<b>Diversidad morfométrica entre frutos y semillas de caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)</b>	Vianna, N., Leão, M., Heitor, S., Felipe, S., Emídio-	2018	El estudio investiga la diversidad morfométrica entre frutos y semillas de <i>Swietenia macrophylla</i>

King.) de la Tierra Indígena Parakanã, Estado de Pará, Brasil

Silva, C., Camila, A., Moraes, S., Santos, E., Shimizu, C., Gallo, R., Freitas, A. D. D. D., Kato, O.

en Brasil, destacando su importancia para la conservación del germoplasma de la especie (Leão et al., 2018)

Nota: Autores (2024).

## Discusión

La presente revisión sistemática ha reunido una serie de estudios significativos que exploran aspectos cruciales para la conservación y propagación de *Swietenia macrophylla* (caoba), una especie de alto valor ecológico y económico. A través de la categorización en tres áreas clave: Germinación y Crecimiento, Propagación Vegetativa y Clonal, y Genética y Conservación, se ha generado un panorama integral sobre los esfuerzos científicos dirigidos hacia la preservación de esta especie en peligro de extinción.

### Área 1: Germinación y Crecimiento

Los estudios dentro de esta categoría han subrayado la importancia de las condiciones ambientales en la germinación y crecimiento de *Swietenia macrophylla*. Un aspecto recurrente es la respuesta de la caoba al estrés hídrico, lo cual es crítico dado el contexto del cambio climático. Por ejemplo, Sultana et al. (2021) investigaron la germinación y el crecimiento de la especie bajo diferentes regímenes de humedad, encontrando que la caoba muestra una alta sensibilidad a las condiciones de sequía, lo que podría comprometer la regeneración natural en áreas degradadas. Este hallazgo es consistente con estudios anteriores que han demostrado que el estrés hídrico es un factor limitante para la regeneración de especies tropicales en ecosistemas fragmentados (Cordeiro et al., 2009).

El trabajo de Sampayo-Maldonado et al. (2021) aporta una perspectiva clave sobre cómo el cambio climático podría afectar la distribución geográfica de la caoba mediante el modelado del nicho térmico de germinación. Estos resultados son congruentes con estudios que han utilizado modelos de distribución de especies para predecir desplazamientos hacia altitudes más altas o latitudes diferentes como respuesta al calentamiento global. Por otro lado, Tanjung et al. (2023) ofrecen evidencia empírica que complementa este enfoque modelado al mostrar cómo factores ambientales inmediatos, como el medio de cultivo y la intensidad de la sombra, influyen directamente en el crecimiento de *Swietenia macrophylla*. Este trabajo sugiere que, además de las proyecciones basadas en el nicho térmico, las condiciones locales alteradas por el cambio climático podrían jugar un papel crucial en determinar las nuevas áreas donde la especie podría prosperar (Tanjung & Tata, 2023). Además, Carvalho et al., (2020)

han destacado cómo la temperatura y la luz afectan la germinación y crecimiento de las plántulas, subrayando la necesidad de ajustar los programas de reforestación según las condiciones locales de luz y temperatura para optimizar el éxito en la regeneración de la caoba.

Una limitación común en estos estudios es la escala geográfica limitada en la que se realizan, lo que podría no representar las variaciones existentes en toda la distribución natural de la especie. Futuras investigaciones deberían considerar estudios a mayor escala y bajo condiciones de campo más diversas para mejorar la aplicabilidad de los resultados. Estos hallazgos sobre la germinación y el crecimiento también tienen implicaciones directas en la propagación vegetativa, dado que las condiciones óptimas identificadas pueden ser utilizadas para mejorar la eficiencia en la producción de plántulas clonales.

## Área 2: Propagación Vegetativa y Clonal

La propagación vegetativa es una herramienta clave en la conservación y restauración de *Swietenia macrophylla*, especialmente frente a la presión por tala y la degradación del hábitat. Quiala et al. (2022) describen un protocolo de embriogénesis somática para *S. macrophylla*, que permite la propagación clonal de árboles seleccionados, destacando su potencial para la conservación ex situ. Este enfoque es particularmente relevante para la clonación de genotipos valiosos, asegurando la preservación de la diversidad genética a pesar de las amenazas externas. Además, Gatica-Arias et al. (2019) identifican cambios morfológicos y bioquímicos críticos durante la embriogénesis somática, subrayando la importancia de comprender las fases de desarrollo embrionario para optimizar el proceso. La evidencia sugiere que, aunque la embriogénesis somática es prometedora, es necesario ajustar los protocolos para maximizar la eficiencia y asegurar la viabilidad de los clones producidos.

Pereira et al. (2021) también investigaron la germinación y propagación in vitro de *S. macrophylla*, enfocándose en el uso de reguladores de crecimiento vegetal. Sus hallazgos indican que el uso adecuado de estos reguladores puede aumentar significativamente la producción clonal, lo que es crucial para satisfacer las demandas de reforestación y restauración ecológica. Sin embargo, es esencial manejar cuidadosamente las concentraciones y la duración de la exposición a estos reguladores para evitar efectos adversos, como la reducción de la capacidad caulogénica observada en estudios de otras especies forestales.

Mendes et al. (2021) abordaron la eficiencia del injerto en *S. macrophylla*, demostrando que esta técnica es efectiva para la propagación vegetativa de árboles nativos. Este método ofrece una alternativa viable para la conservación de genotipos valiosos y puede ser particularmente útil en programas de reforestación que buscan mantener la integridad genética

de la especie. La propagación vegetativa a través de injertos, en combinación con la embriogénesis somática, podría proporcionar un enfoque integral para la conservación y restauración de *S. macrophylla*.

Una limitación notable en este campo es la falta de estudios a largo plazo que evalúen la viabilidad de las plántulas clonadas o propagadas in vitro cuando son transferidas a campo. Es crucial que futuros estudios aborden esta laguna para garantizar que las técnicas de propagación no solo sean eficaces en laboratorio, sino también en condiciones reales de campo. Aquí, el desarrollo y aplicación de herramientas moleculares avanzadas, como marcadores genéticos para monitorear la estabilidad genética de los clones a lo largo del tiempo, podría ser clave para optimizar estas estrategias.

### Área 3: Genética y Conservación

La diversidad genética es un componente esencial para la resiliencia y adaptabilidad de *Swietenia macrophylla* en su entorno natural. de Oliveira et al., 2020) estudiaron la estructura genética espacial de una población en la Amazonia, destacando la necesidad de mantener una alta diversidad genética para asegurar la viabilidad a largo plazo de la especie. Estos hallazgos son particularmente importantes en el contexto de la tala selectiva, ya que la reducción de la diversidad genética podría comprometer la capacidad de la especie para adaptarse a cambios ambientales y resistir enfermedades.

Alarcón-Méndez et al. (2023). evaluaron los efectos del manejo forestal comunitario en la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala, encontrando que las prácticas actuales no disminuyen significativamente la diversidad genética de *S. macrophylla*. Esto sugiere que, con un manejo adecuado, es posible explotar de manera sostenible los recursos forestales sin comprometer la diversidad genética, lo que es esencial para la conservación a largo plazo. Sin embargo, el estudio también subraya la necesidad de un monitoreo continuo para asegurar que estas prácticas sigan siendo efectivas a medida que las condiciones ambientales cambian.

Limongi Andrade et al. (2022) identificaron una baja diversidad genética en poblaciones naturales de *S. macrophylla* en Ecuador, lo que refuerza la urgencia de establecer estrategias de conservación que promuevan el flujo génico y la recombinación genética. Este tipo de estudios destaca la importancia de seleccionar adecuadamente los árboles madre para la recolección de semillas, asegurando que las poblaciones futuras mantengan una variabilidad genética suficiente para su adaptabilidad y supervivencia.

El manejo adecuado de la diversidad genética, apoyado por herramientas biotecnológicas avanzadas como el análisis de secuenciación de nueva generación (NGS) y la

edición genética CRISPR-Cas9, podría revolucionar las estrategias de conservación. Estas tecnologías permiten una selección más precisa y eficiente de los genotipos más resilientes y adaptables, mejorando las perspectivas de supervivencia de *S. macrophylla* en un entorno cambiante (de Oliveira et al., 2020).

### **Implicaciones para la Conservación**

Los hallazgos de estos estudios tienen varias implicaciones críticas para la conservación de *Swietenia macrophylla*. Primero, es fundamental integrar técnicas de propagación vegetativa, como la embriogénesis somática y el injerto, en los programas de reforestación para garantizar la producción de individuos genéticamente diversos y adaptados a las condiciones locales. Segundo, la gestión adecuada de la diversidad genética debe ser una prioridad en todas las etapas de los programas de conservación, desde la selección de árboles madre hasta la implementación de prácticas de manejo forestal.

El manejo forestal comunitario puede ser una estrategia efectiva para combinar la conservación con la explotación sostenible, siempre que se mantenga un monitoreo riguroso de los impactos en la diversidad genética. Además, la baja diversidad genética observada en algunas poblaciones subraya la necesidad de estrategias de restauración que incluyan la introducción de material genético de otras poblaciones para aumentar la variabilidad genética. En este sentido, Herrera-Feijoo et al. (2023). han destacado la importancia de considerar la variabilidad genética y los cambios climáticos en la planificación de la restauración, sugiriendo la introducción de material genético diverso para mejorar la resiliencia de *Swietenia macrophylla* frente a las amenazas futuras

La aplicación de tecnologías emergentes, como la secuenciación de genomas completos y el análisis de transcriptómica, puede proporcionar una comprensión más profunda de los mecanismos subyacentes a la resiliencia y adaptación de la caoba, permitiendo estrategias de conservación más informadas y efectivas.

### **Limitaciones y Futuras Direcciones**

Aunque los estudios revisados ofrecen una base sólida para la conservación de *Swietenia macrophylla*, existen limitaciones que deben ser abordadas en futuras investigaciones. La mayoría de los estudios se centran en áreas geográficas específicas, lo que puede limitar la aplicabilidad de los resultados a otras regiones con condiciones diferentes. Además, aún se necesita un entendimiento más profundo de cómo las prácticas de manejo forestal y la propagación vegetativa afectan la diversidad genética a largo plazo.

Futuros estudios deberían explorar la interacción entre las condiciones ambientales cambiantes y las técnicas de propagación para desarrollar estrategias de conservación más adaptativas. También sería beneficioso realizar estudios comparativos entre diferentes regiones geográficas para evaluar cómo las prácticas de manejo afectan la diversidad genética y la resiliencia de *S. macrophylla*. Finalmente, la integración de herramientas moleculares avanzadas podría mejorar la eficiencia de los programas de selección y mejoramiento, acelerando la conservación de esta especie clave. La edición genética, en particular, podría ofrecer nuevas oportunidades para la creación de variedades mejoradas que sean más resistentes a las amenazas ambientales y patógenas.

## Conclusión

La revisión sistemática realizada destaca la importancia de implementar estrategias biotecnológicas avanzadas en la conservación y propagación de *Swietenia macrophylla*, una especie de significativa relevancia ecológica y económica que actualmente se encuentra en peligro crítico de extinción. A través de la categorización en tres áreas clave—Germinación y Crecimiento, Propagación Vegetativa y Clonal, y Genética y Conservación—se han identificado varios avances científicos y tecnológicos que podrían mejorar las perspectivas de supervivencia de esta especie.

En primer lugar, los estudios sobre germinación y crecimiento subrayan la necesidad de ajustar las estrategias de reforestación de acuerdo con las condiciones ambientales locales, como la temperatura, la luz y la disponibilidad hídrica, que afectan directamente la viabilidad de la regeneración natural. Además, los cambios climáticos proyectados pueden influir significativamente en la distribución geográfica de *S. macrophylla*, lo que refuerza la importancia de integrar estos factores en las políticas de conservación.

En segundo lugar, las técnicas de propagación vegetativa, particularmente la embriogénesis somática y la micropropagación, se han demostrado como herramientas cruciales para la clonación de individuos genéticamente superiores y para la restauración de poblaciones degradadas. Sin embargo, la eficacia de estas técnicas depende de la optimización de los protocolos y de la evaluación de la viabilidad de los clones en condiciones de campo. La implementación de estas técnicas en programas de reforestación debe ir acompañada de un monitoreo genético riguroso para asegurar la conservación de la variabilidad genética.

Por último, la gestión adecuada de la diversidad genética es esencial para la resiliencia a largo plazo de *Swietenia macrophylla*. El uso de tecnologías emergentes como la secuenciación de nueva generación (NGS) y la edición genética CRISPR-Cas9 permite una selección más precisa de los genotipos más resilientes y adaptables, lo cual es fundamental para enfrentar las amenazas ambientales futuras. Además, la integración de enfoques de manejo forestal comunitario puede ser una estrategia efectiva para combinar la conservación con la explotación sostenible, siempre que se mantenga un monitoreo riguroso de los impactos en la diversidad genética.

### Referencias bibliográficas

- Alarcón-Méndez, M., Maselli, S., van Zonneveld, M., Loo, J., Snook, L., Oliva, A., Franco, A., & Duminil, J. (2023). Implications of community forest management for the conservation of the genetic diversity of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) in the Maya Biosphere Reserve, Petén, Guatemala. *Trees, Forests and People*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100362>
- Bramer, W. M., Rethlefsen, M. L., Kleijnen, J., & Franco, O. H. (2017). Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews: a prospective exploratory study. *Systematic Reviews*, 6, 1–12.
- Caicedo-Aldaz, J. C., & Herrera-Sánchez, D. J. (2022). El Rol de la Agroecología en el Desarrollo Rural Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 1(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n2/24>
- Carvalho, C. A. de, Silva, J. B. da, Alves, C. Z., Hall, C. F., Cotrim, M. F., & Teixeira, A. V. (2020). Effect of temperature and light on seed germination and seedling growth of *Swietenia macrophylla* King. *Revista Caatinga*, 33(3), 728–734.
- Céspedes, M., Gutierrez, M. V, Holbrook, N. M., & J. Rocha, O. (2003). Restoration of genetic diversity in the dry forest tree *Swietenia macrophylla* (Meliaceae) after pasture abandonment in Costa Rica. *Molecular Ecology*, 12(12), 3201–3212.
- Coelho, N., Gonçalves, S., & Romano, A. (2020). Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*, 9(3), 345.
- Cordeiro, Y. E. M., Pinheiro, H. A., dos Santos Filho, B. G., Corrêa, S. S., e Silva, J. R. R., & Dias-Filho, M. B. (2009). Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1449–1455.
- de Oliveira, S. S., Campos, T., Sebbenn, A. M., & d'Oliveira, M. V. N. (2020). Using spatial genetic structure of a population of *Swietenia macrophylla* King to integrate genetic diversity into management strategies in Southwestern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 464. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118040>
- Gatica-Arias, A., Vargas-Corrales, K., Benavides-Acevedo, M., Bolívar-González, A., Sánchez-Chacón, E., García-Díaz, E., Delgado-Rodríguez, F., Weng Huang, N. T.,

- Hegele, M., Jens-Norbert, W., Jens-Norbert, W., & Valdez-Melara, M. (2019). Morphological and biochemical changes during somatic embryogenesis in mahogany, *swietenia macrophylla* (meliaceae) | Cambios morfológicos y bioquímicos durante la embriogénesis somática en caoba, *Swietenia macrophylla* (Meliaceae). *Revista de Biología Tropical*, 67(3), 406–418.
- González-Marcillo, R. L., Guamán-Rivera, S. A., Guerrero-Pincay, A. E., & Ortiz-Naveda, N. R. (2023). *Pastos Tropicales de la Amazonia Ecuatoriana Tomo I: Avances científicos sobre sistemas silvopastoriles como estrategia de reconversión de la ganadería*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.2022.46>
- Guamán-Rivera, S. A. (2022). Desarrollo de Políticas Agrarias y su Influencia en los Pequeños Agricultores Ecuatorianos. *Revista Científica Zambos*, 1(3), 15–28. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n3/30>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Manchano, C. I. (2023). Seguridad Alimentaria y Producción Agrícola Sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1–20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33–56. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/85>
- Herrera-Feijoo, R. J., Torres, B., López-Tobar, R., Tipán-Torres, C., Toulkeridis, T., Heredia-R, M., & Mateo, R. G. (2023). Modelling climatically suitable areas for Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) and their shifts across Neotropics: The role of Protected Areas. *Forests*, 14(2), 385.
- Höglund, J., Bolender, L., Cortazar-Chinarro, M., Meurling, S., Laurila, A., Hermaniuk, A., & Dufresnes, C. (2022). Low neutral and immunogenetic diversity in northern fringe populations of the green toad *Bufo viridis*: implications for conservation. *Conservation Genetics*, 1–11.
- Lasky, J. R. (2019). Eco-evolutionary community turnover following environmental change. *Evolutionary Applications*, 12(7), 1434–1448.
- Leão, N. V. M., Felipe, S. H. S., Emídio-Silva, C., dos Santos Moraes, A. C., Shimizu, E. S. C., Gallo, R., de Freitas, A. D. D., & Kato, O. R. (2018). Morphometric diversity between fruits and seeds of mahogany trees (*Swietenia macrophylla* King.) from Parakana Indigenous Land, Para State, Brazil. *Australian Journal of Crop Science*, 12(3), 435–443.
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), W-65.
- Limongi Andrade, R., Pico-Mendoza, J., Morillo, E., Buitrón, J., Meneses, S., Navarrete, B., Pinoargote, M., & Carrasco, B. (2022). Molecular characterization of mahogany tree (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) in the remnant natural forest of Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 8(1), 222–228. <https://doi.org/10.1080/23766808.2022.2080334>
- Mendes, G. G. C., Dos Santos, G. A., Xavier, A., Martins, S. V., De Souza, G. A., Martins, T.



- G. V., & Dos Reis Neto, R. F. (2021). Grafting efficiency in Brazilian native tree species. *Scientia Forestalis/Forest Sciences*, 49(132). <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.04>
- Mieles-Giler, J. W., Guerrero-Calero, J. M., Moran-González, M. R., & Zapata-Velasco, M. L. (2024). Evaluación de la degradación ambiental en hábitats Naturales. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(3), 65–88. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n3/121>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, P. (2010). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *International Journal of Surgery*, 8(5), 336–341.
- Pence, V. C., Ballesteros, D., Walters, C., Reed, B. M., Philpott, M., Dixon, K. W., Pritchard, H. W., Culley, T. M., & Vanhove, A.-C. (2020). Cryobiotechnologies: Tools for expanding long-term ex situ conservation to all plant species. *Biological Conservation*, 250, 108736.
- Peraza-Villarreal, H., Sánchez-Coronado, M. E., Lindig-Cisneros, R., Tinoco-Ojanguren, C., Velázquez-Rosas, N., Cámara-Cabrales, L., & Orozco-Segovia, A. (2018). Seed priming effects on germination and seedling establishment of useful tropical trees for ecological restoration. *Tropical Conservation Science*, 11, 1940082918817886.
- Pereira, C. D., Bernini, C. S., Jantsch, M. R., Medeiros, R. A., & de Moura, L. C. (2021). Germination and propagation in vitro of brazilian mahogany (*Swietenia macrophylla* King) | Germinação e propagação in vitro de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King). *Nativa*, 9(5), 595–599. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i5.12129>
- Pinto, R. C., Pinheiro, C., Vidal, E., & Schwartz, G. (2021). Technical and financial evaluation of enrichment planting in logging gaps with the high-value species *Swietenia macrophylla* and *Handroanthus serratifolius* in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 495, 119380.
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., Britten, N., Roen, K., & Duffy, S. (2017). Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews: a product from the ESRC Methods Programme. 2006. *Institute for Health Research: London*.
- Pramono, A. A., Syamsuwida, D., & Putri, K. P. (2019). Variation of seed sizes and its effect on germination and seedling growth of mahogany (*Swietenia macrophylla*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(9).
- Quijala, E., Barbón, R., Mestanza, S., La O, M., Merlan, G., Nuñez-Ramos, J., Pérez, N., Leiva, M., Jiménez, E., Daniels, D., Daniels, D., & Noceda, C. (2022). Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf of the interspecific hybrid of mahogany (*Swietenia macrophylla* King × *S. mahagoni* (L.) Jacq.). *Trees - Structure and Function*, 36(1), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s00468-021-02192-x>
- Rajan, L. J., Santhoshkumar, A. V., Surendragopal, K., & Kunhamu, T. K. (2020). *Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation as a climate adaptation strategy for establishment of Swietenia macrophylla King seedlings. Forests* 11 (5): 488.
- Ramos-Acuña, H. E., Palomino-Pastrana, P. A., Yaulilahua-Huacho, R., Zela-Payi, N. O., Sumarriva-Bustinza, L. A., Porrás-Roque, M. S., & Camposano-Córdova, A. I. (2023).

- Transformando la Ganadería: Evaluación de las Explotaciones de Vacunos*. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.1.2022.31>
- Rojas, F. E., & Saavedra-Mera, K. A. . (2022). Diversificación de Cultivos y su Impacto Económico en las Fincas Ecuatorianas. *Revista Científica Zambos*, 1(1), 51-68. <https://doi.org/10.69484/rcz/v1/n1/21>
- Sampayo-Maldonado, S., Ordoñez-Salanueva, C. A., Mattana, E., Way, M., Castillo-Lorenzo, E., Dávila-Aranda, P. D., Lira-Saade, R., Téllez-Valdés, O., Rodríguez-Arevalo, N. I., & Ulian, T. (2021). Thermal niche for seed germination and species distribution modelling of *Swietenia macrophylla* king (mahogany) under climate change scenarios. *Plants*, 10(11), 2377.
- Santillán-Mendoza, R., Montoya-Martínez, A. C., Pineda-Vaca, D., Fernández-Pavía, S. P., Montero-Castro, J. C., Benítez-Malvido, J., Ortega-Arreola, R., & Rodríguez-Alvarado, G. (2020). Genetic diversity of *Fusarium pseudocircinatum* in the central western region of Mexico: the case of big-leaf mahogany malformation disease. *Molecular Biology Reports*, 47(9), 6599–6609. <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05711-0>
- Sudrajat, D. J., Ayyasy, Y., Siregar, I. Z., & Karlinasari, L. (2021). Mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) as urban tree: tree growth and wood quality variation in a progeny test. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 918(1), 12042.
- Sultana, N., Limon, S. H., Rahman, M. S., Akther, A., Salekin, S., Meason, D. F., & Bloomberg, M. (2021). Germination and growth responses to water stress of three agroforestry tree species from Bangladesh. *Environmental Challenges*, 5, 100256.
- Tanjung, H. U., & Tata, H. L. (2023). The growth of mahogany seedlings (*Swietenia macrophylla* King.) in various planting media and shade intensity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1271(1), 12023.
- Trujillo-Elisea, F. I., Labrín-Sotomayor, N. Y., Becerra-Lucio, P. A., Becerra-Lucio, A. A., Martínez-Heredia, J. E., Chávez-Bárceñas, A. T., & Peña-Ramírez, Y. J. (2022). Plant growth and microbiota structural effects of Rhizobacteria inoculation on mahogany (*Swietenia macrophylla* King [Meliaceae]) under nursery conditions. *Forests*, 13(10), 1742.
- UICAB, J. V. C. O. B., SANTIAGO, B. R., COOL, G. J. H., & COLLÍ, Á. J. C. (2022). CLONAL VARIATION OF GROWING AND MAHOGANY (*Swietenia macrophylla* King) CLONE SELECTION IN AN ASEXUAL SEED ORCHARD. *PLANT CELL BIOTECHNOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY*, 23(37–38), 17–25.
- Wei, X., & Jiang, M. (2021). Meta-analysis of genetic representativeness of plant populations under ex situ conservation in contrast to wild source populations. *Conservation Biology*, 35(1), 12–23.
- Žabicka, J., Žabicki, P., Słomka, A., Jędrzejczyk-Korycińska, M., Nowak, T., Sliwiska, E., Kapler, A., Migdałek, G., & Kuta, E. (2021). Genotype-dependent mass somatic embryogenesis: a chance to recover extinct populations of *Pulsatilla vulgaris* Mill. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 146, 345–355.