UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA DE INGENIERIA FORESTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales. Una revisión del estado del arte”

AUTOR(ES):

Mendieta Villagómez Katheryn Valeria

Mayacu Yumbo Betsy Nora

DOCENTE - TUTOR:

Dr. Paredes Ulloa Christopher Oswaldo

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumplen con los criterios
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumplen con los criterios
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumplen con los criterios
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumplen con los criterios
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	Cumplen con los criterios

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumplen con los criterios
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumplen con los criterios
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumplen con los criterios
VALORACIÓN TOTAL	**100**	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	x
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	**100**

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
YOEL RODRIGUEZ

Dr. Yoel Rodríguez Guerra

Dado en la ciudad de Puyo, a los 11 días del mes de Agosto de 2022.

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	cumple
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	cumple
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	13/15	Falta un poco más de claridad hacia el diseño para lograr los objetivos, en términos de propagación

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	23/25	Falta un poco más de contraste con autores, en la parte de discusión
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	cumple
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	cumple
VALORACIÓN TOTAL	96	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	96 (NOVENTA Y SEIS)

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ELIZABETH DEL CARMEN RAMIREZ IGLESIAS

Dra. Ramírez Iglesias Elizabeth, PhD

Dado en la ciudad de Puyo, a los 9 días del mes de agosto del 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE FORESTAL

Puyo, 04 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Mendieta Villagómez Katheryn Valeria, con C.I. "1728583376, con el Tema: Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales. Una revisión del estado del arte", de la carrera de Ingeniería Forestal, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%.

Informe generado con fecha 04 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CHRISTOPHER OSWALDO PAREDES ULLOA

Christopher Oswaldo Paredes Ulloa

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA
CARRERA DE FORESTAL

Puyo, 04 de agosto de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Mayacu Yumbo Betsy Nora con C.I. "2200445233, con el Tema: Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales. Una revisión del estado del arte", de la carrera de Ingeniería Forestal, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 4%.

Informe generado con fecha 04 de agosto de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
CHRISTOPHER OSWALDO PAREDES ULLOA

Christopher Oswaldo Paredes Ulloa

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Ouriginal by Turnitin

Document Information

Analyzed document	Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales Una revi sión del estado del arte_Ago 02.docx (D142664129)
Submitted	8/4/2022 10:46:00 PM
Submitted by	
Submitter email	co.paredesu@uea.edu.ec
Similarity	4%
Analysis address	co.paredesu.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W URL: https://www.academia.edu/3182061/La_embriog%C3%A9nesis_som%C3%A1tica_como_via_de_regeneraci%C3%B3n_clonal_de_esp%C3%A9cies_forestales
Fetched: 8/4/2022 6:08:01 AM — 1

W URL: https://core.ac.uk/download/pdf/148663789.pdf
Fetched: 8/4/2022 6:08:01 AM — 4

SA **submission.pdf**
Document submission.pdf (D61741774) — 1

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales Una revi sión del estado del arte.docx**
Document Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales Una revi sión del estado del arte.docx (D142647386)
Submitted by: co.paredesu@uea.edu.ec
Receiver: co.paredesu.uea@analysis.urkund.com — 1

Entire Document

Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales. Una revisión del estado del arte

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de ciencias de la tierra, Carrera de Ingeniería forestal (1)

Resumen La creciente importancia de la biotecnología vegetal y particularmente de la embriogénesis somática está sustentada en la necesidad de una mayor propagación de especies de interés productivo y en la conservación de la biodiversidad. En el ámbito forestal constituye una técnica en creciente fomento durante los últimos años como herramienta útil para la propagación de especies a gran escala. En este trabajo de revisión se abordan aspectos teórico-prácticos que sustentan el desarrollo de embriogénesis somática, con énfasis en especies forestales tropicales, así como una prospección de las principales tendencias en las publicaciones disponibles en la base de datos SciELO sobre esta temática. Las evidencias científicas demuestran la utilidad de la embriogénesis somática como técnica de biotecnología vegetal que favorece la propagación de especies de interés agrícola y forestal. La literatura disponible en SciELO sobre esta temática refleja mayor aplicación de la embriogénesis somática en especies agrícolas; sin embargo, más del 30 % de los artículos abordan especies forestales, aunque destacan Coffea spp. y Theobroma cacao como las más estudiadas. También se aprecia que son más frecuentes los estudios en diferentes cultivares y/o explantes y con reguladores de crecimiento. Estos resultados sugieren que deben fomentarse todavía las iniciativas dirigidas a la implementación de la embriogénesis somática como alternativa sostenible en la propagación de forestales tropicales. Palabras clave: biotecnología, Coffea spp., explantes, publicaciones, Theobroma cacao

Abstract The growing importance of plant biotechnology, and particularly of somatic embryogenesis, is based on the need for greater propagation of species of productive interest and the conservation of biodiversity. In the forestry field, it is a technique that has been increasingly promoted in recent years as a useful tool for the propagation of species on a large scale. This review work addresses theoretical-practical aspects that support the development of somatic embryogenesis, with emphasis on tropical forest species, as well as a survey of the main trends in the publications available in the SciELO database on this subject. Scientific evidence demonstrates the usefulness of somatic embryogenesis as a plant biotechnology technique that favors the propagation of species of agricultural and forestry interest. The literature available in SciELO on this subject reflects a greater application of somatic embryogenesis in agricultural species; however, more than 30% of the articles deal with forest species, although Coffea spp. and Theobroma cacao as the most studied. It can also be seen those studies on different cultivars and/or explants and with growth regulators are more frequent. These results suggest that initiatives aimed at the implementation of somatic embryogenesis as a sustainable alternative in the propagation of tropical forests should still be encouraged.

Keywords: biotechnology, Coffea spp., explants, publications, Theobroma cacao

1. Introducción La aplicación de la biotecnología vegetal en la agricultura mundial ha experimentado un avance importante en los últimos veinte años y las técnicas de cultivo de tejidos vegetales han sido un soporte fundamental para estos avances CITATION Gar \l 3082 (García Gonzáles, Quiroz, Carrasco, & Caligari, 2010). Por ello, el proceso de embriogénesis somática se convierte en una potente herramienta biotecnológica que permite la regeneración de plantas completas a partir de la reprogramación de distintas células somáticas CITATION Pér21 \l 3082 (Pérez, 2021).

En 1986, se descubre la embriogénesis somática como un método por el cual las células somáticas diferenciadas o en proceso de diferenciación se desarrollan en plantas completas a través de las etapas embriogénicas típicas, pero sin que haya fusión de gametos CITATION Wil86 \l 3082 (Williams & Maheshwaran, 1986). Esta técnica permite la obtención de embriones a partir de células somáticas, sin que sea necesaria la formación previa de un cigoto. La inducción de la embriogénesis somática es un proceso de desarrollo multifactorial que generalmente se inicia en respuesta a estímulos externos producidos por hormonas, ciertos tratamientos de estrés (altas o bajas temperaturas, choque osmótico o sequía, entre otros), o por una combinación de ambos CITATION Loy16 \l 3082 \m Día19 (Loyola-Vargas & Ochoa-Alejo, 2016; Díaz-Sala, 2019), destacándose como ventajas su elevado potencial de multiplicación CITATION IAM10 \t \l 3082 (Montalbán, De Diego, & Moncaleán, 2010), posibilidad de cultivo en biorreactores CITATION Gup15 \l 3082 (Gupta & Hartle, 2015) y la utilización de los cultivos embriogénicos como dianas para la transformación genética CITATION Wal04 \l 3082 (Walter, 2004), entre otras. Se pueden obtener embriones somáticos utilizando explantes (porción de la planta donante cultivada in vitro) de muy diversas partes de la planta como microsporas, óvulos, yemas, ápices radiculares y caulinares, hipocótilos, peciolos, y en general cualquier tipo de tejido u órgano con características embrionarias, meristemáticas o reproductivas. El proceso por el que las células del explante cambian su patrón de expresión y generan los embriones somáticos iniciales está
generalmente condicionado por la presencia de reguladores del crecimiento en el medio de cultivo, fundamentalmente

Propagación por embriogénesis somática de especies forestales tropicales. Una revisión del estado del arte

Mendieta Villagómez Katheryn Valeria[1]
for2017058@uea.edu.ec

Mayacu Yumbo Betsy Nora[1]
for2017055@uea.edu.ec

Paredes Ulloa Christopher Oswaldo[2]
co.paredesu@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Tierra, Carrera de Ingeniería Forestal

Resumen

La creciente importancia de la biotecnología vegetal y particularmente de la embriogénesis somática está sustentada en la necesidad de una mayor propagación de especies de interés productivo y en la conservación de la biodiversidad. En el ámbito forestal constituye una técnica en creciente fomento durante los últimos años como herramienta útil para la propagación de especies a gran escala. En este trabajo de revisión se abordan aspectos teórico-prácticos que sustentan el desarrollo de embriogénesis somática, con énfasis en especies forestales tropicales, así como una prospección de las principales tendencias en las publicaciones disponibles en la base de datos SciELO sobre esta temática. Las evidencias científicas demuestran la utilidad de la embriogénesis somática como técnica de biotecnología vegetal que favorece la propagación de especies de interés agrícola y forestal. La literatura disponible en SciELO sobre esta temática refleja mayor aplicación de la embriogénesis somática en especies agrícolas; sin embargo, más del 30 % de los artículos abordan especies forestales, aunque destacan *Coffea* spp. y *Theobroma cacao* como las más estudiadas. También se aprecia que son más frecuentes los estudios en diferentes cultivares y/o explantes y con reguladores de crecimiento. Estos resultados sugieren que deben fomentarse todavía las iniciativas dirigidas a la implementación de la embriogénesis somática como alternativa sostenible en la propagación de forestales tropicales.

***Palabras clave**:* biotecnología, *Coffea* spp., explantes, publicaciones, *Theobroma cacao*

Abstract

The growing importance of plant biotechnology, and particularly of somatic embryogenesis, is based on the need for greater propagation of species of productive interest and the conservation of biodiversity. In the forestry field, it is a technique that has been increasingly promoted in recent years as a useful tool for the propagation of species on a large scale. This review work addresses theoretical-practical aspects that support the development of somatic embryogenesis, with emphasis on tropical forest species, as well as a survey of the main trends in the publications available in the SciELO database on this subject. Scientific evidence demonstrates the usefulness of somatic embryogenesis as a plant biotechnology technique that favors the propagation of species of agricultural and forestry interest. The literature available in SciELO on this subject reflects a greater application of somatic embryogenesis in agricultural species; however, more than 30% of the articles deal with forest species, although *Coffea* spp. and *Theobroma cacao* as the most studied. It can also be seen those studies on different cultivars and/or explants and with growth regulators are more frequent. These results suggest that initiatives aimed at the implementation of somatic embryogenesis as a sustainable alternative in the propagation of tropical forests should still be encouraged.

Keywords: biotechnology, *Coffea* spp., explants, publications, *Theobroma cacao*

1. INTRODUCCIÓN

La aplicación de la biotecnología vegetal en la agricultura mundial ha experimentado un avance importante en los últimos veinte años y las técnicas de cultivo de tejidos vegetales han sido un soporte fundamental para estos avances (García Gonzáles, Quiroz, Carrasco, & Caligari, 2010). Por ello, el proceso de embriogénesis somática se convierte en una potente herramienta biotecnológica que permite la regeneración de plantas completas a partir de la reprogramación de distintas células somáticas (Pérez, 2021).

En 1986, se descubre la embriogénesis somática como un método por el cual las células somáticas diferenciadas o en proceso de diferenciación se desarrollan en plantas completas a través de las etapas embriogénicas típicas, pero sin que haya fusión de

gametos (Williams & Maheshwaran, 1986). Esta técnica permite la obtención de embriones a partir de células somáticas, sin que sea necesaria la formación previa de un cigoto.

La inducción de la embriogénesis somática es un proceso de desarrollo multifactorial que generalmente se inicia en respuesta a estímulos externos producidos por hormonas, ciertos tratamientos de estrés (altas o bajas temperaturas, choque osmótico o sequía, entre otros), o por una combinación de ambos (Loyola-Vargas & Ochoa-Alejo, 2016; Díaz-Sala, 2019), destacándose como ventajas su elevado potencial de multiplicación (Montalbán, De Diego, & Moncaleán, 2010), posibilidad de cultivo en biorreactores (Gupta & Hartle, 2015) y la utilización de los cultivos embriogénicos como dianas para la transformación genética (Walter, 2004), entre otras.

Se pueden obtener embriones somáticos utilizando explantes (porción de la planta donante cultivada *in vitro*) de muy diversas partes de la planta como microsporas, óvulos, yemas, ápices radiculares y caulinares, hipocótilos, peciolos, y en general cualquier tipo de tejido u órgano con características embrionarias, meristemáticas o reproductivas. El proceso por el que las células del explante cambian su patrón de expresión y generan los embriones somáticos iniciales está generalmente condicionado por la presencia de reguladores del crecimiento en el medio de cultivo, fundamentalmente auxinas y citoquininas (Ibáñez, Carneros, Testillano, & Pérez-Pérez, 2020).

Generalmente, la técnica *in vitro* de embriogénesis somática se desarrolla en numerosas especies de uso agronómico; sin embargo, a pesar del enorme interés por esta vía de reproducción, se desconocen muchos de los mecanismos que regulan este proceso, lo cual resulta clave para poder mejorar su eficiencia en especies agrícolas y forestal (Pérez, 2021).

En especies forestales, los programas clásicos de mejora genética presentan muchas limitaciones a causa de los largos periodos reproductivos de estas especies, así como por la dificultad de conservar sus semillas y de llevar a cabo una reproducción vegetativa. Por todo ello, la embriogénesis somática resulta ser una herramienta muy útil por su gran potencial a la hora de llevar a cabo propagaciones a gran escala (Testillano, Gómez-Garay, Pintos, & Risueño, 2018).

Entre todos los métodos de propagación vegetativa, la embriogénesis somática es el

desarrollado más recientemente, y está siendo utilizada por empresas forestales para la producción de plantas a escala comercial. El desarrollo de esta tecnología ofrece la posibilidad de desarrollar los programas de mejora genética de especies forestales contribuyendo a la silvicultura de alta productividad en las plantaciones (Montalbán, Dorronsoro, Oria, Hurtado, & Moncaleán, 2018).

Uno de los principales objetivos de la biotecnología forestal es el desarrollo de técnicas que posibiliten la multiplicación ilimitada de genotipos. En la última década se han ejecutado numerosos proyectos de conservación y mejora forestal que, por lo general, persiguen un fin económico: mejorar cuantitativa y cualitativamente la producción forestal; en particular, en coníferas. Actualmente, empresas estadounidenses y canadienses están utilizando la embriogénesis somática como alternativa para la regeneración de plantas élite, centrándose fundamentalmente en los siguientes géneros: *Abies, Larix, Picea, Pinus, Pseudotsuga* y *Sequoia* (Montalbán, Dorronsoro, Oria, Hurtado, & Moncaleán, 2018).

Estudios recientes profundizan en el conocimiento sobre el funcionamiento de la embriogénesis somática *in vitro*, donde consideran distintos factores implicados en el proceso de embriogénesis de especies forestales: implicación hormonal de auxinas y citoquininas, remodelación de la pared celular asociada a cambios en la metilesterificación de pectinas y niveles de proteínas de arabinogalactano, importancia de la muerte celular programada y posible participación de autofagia y proteasas relacionadas con el proceso de muerte celular (Pérez, 2021).

La presente investigación pretende valorar el impacto de la embriogénesis somática en la propagación de especies forestales tropicales, con un acercamiento a las tendencias en las publicaciones disponibles en la base de datos SciELO sobre esta temática.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló durante el segundo trimestre del año 2022. El procedimiento seguido consistió en tres etapas:

1) Selección de fuentes de información sobre embriogénesis somática: se realizó una búsqueda sobre "embriogénesis somática" en la literatura disponibles en bases de datos y/o revistas (artículos, revisiones, comunicaciones, tesis, entre otras).
2) Análisis histórico lógico de la información disponible.

El estudio de la documentación disponible permitió la sistematización de la información sobre la temática, con énfasis en su aplicación en especies forestales tropicales. Para ello se establecieron los siguientes epígrafes.

- ✓ Embriogénesis somática. Conceptos y características
- ✓ Bondades de la embriogénesis somática en la propagación de especies forestales
- ✓ Factores que influyen en la embriogénesis somática de plantas de interés forestal
- ✓ Aplicaciones prácticas de la embriogénesis somática en la propagación de especies forestales tropicales

3) Prospección de publicaciones disponibles en SciELO sobre embriogénesis somática.

Se ejecutó una búsqueda con las palabras clave "embriogénesis somática" que permitió la revisión y análisis de 106 documentos publicados en la base de datos SciELO sobre esta temática en el periodo 2002-2020 (Tabla 1).

Se analizaron algunos indicadores como:

- ✓ publicaciones (artículos) por año
- ✓ países dende se publicaron los artículos
- ✓ áreas temáticas de los artículos
- ✓ revistas con más artículos publicados
- ✓ principales especies que fueron investigadas
- ✓ principales temáticas abordadas en los artículos

Tabla 1. Información sobre las publicaciones analizadas**.**

Tipo de literatura	Cantidad
Artículos	101
Informes breves	4
Artículos de revisión	1

Fuente: Base de Datos SciELO (2002-2020)

Los datos se tabularon en Microsoft Excel y se elaboraron gráficos y tablas empleando estadísticos descriptivos que facilitaron la visualización de la información.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Embriogénesis somática. Conceptos y características

"La embriogénesis somática *in vitro*, que cualquier tejido somático vegetal tiene la capacidad de desarrollarse en un embrión (Totipotencia) a través de la manipulación de las condiciones de cultivo y la aplicación de reguladores de crecimiento" (Seijo, 2003).

La primera demostración de que las plantas podían producir embriones somáticos *in vitro* fue publicada en 1958 por Reinert y Steward. "Establecido en más de 200 especies de importancia agronómica. Desde entonces los embriones somáticos se pueden obtener de células vegetativas, tejidos reproductivos, embriones cigóticos o de callos producidos de las plantas" (Alvarez Aragón, Arzate Fernandez, Martinez Martínez, & Velasco Martínez, 2020).

Las características que se pueden diferenciar más, de un embrión somático, constituye con una estructura bipolar, es decir, raíz y brote de la planta donde origina una planta completa. El embrión somático presenta las siguientes características: del cual la embriogénesis somática es una estructura bipolar con un ápice radical, uno apical y cotiledones, tiene autonomía frente al tejido generador (protegido por una epidermis) histológicamente se plantea que no tiene conexión vascular con el tejido que le dio origen, por lo que pueden ser separados de este y presenta bandas procambiales entre los ápices (Seijo, 2003).

"La embriogénesis somática es un proceso complejo en el que las células somáticas se convierten en células competentes capaces de producir un individuo completo (embrión somático) gracias a su toti potencia" (Zeng, y otros, 2007). Este sistema presenta diversas ventajas, como; elevado potencial de multiplicación, posibilidad de cultivo en biorreactores, posibilidad de desarrollar semillas sintéticas/manufacturadas y utilización de los cultivos embriogénicos como dianas para la transformación genética.

Para mantener su potencialidad del tejido embriogénico se puede realizar con la combinación de estas dos técnicas (embriogénesis somática y crio conservación) es la que se ha hecho posible el desarrollo de la selvicultura clonal de alto valor, que se está llevando a cabo en países avanzados dentro del sector forestal.

Po lo general para la regeneración de plantas mediante embriogénesis somática pasa por los siguientes procesos según lo mencionan (Montalbán, De Diego, & Moncaleán, 2010):

- ✓ Iniciación de tejido embriogénico y establecimiento de masas embriogénicas, es la selección del tejido inicial para obtener las primeras células embriogénicas susceptibles de ser multiplicadas *in vitro* en atmósfera contralada. Siguiente, la proliferación del tejido embriogénico y conservación de las masas embriogénicas en estado óptimo. El tercer proceso la maduración del tejido embriogénico, el cuarto consiste en la germinación de los embriones somáticos. Quinto en la aclimatación de las plantas somáticas a condiciones ex vitro en un invernadero de atmósfera controlada y por último la instalación de la planta somática en campo.
- ✓ Aunque el proceso de embriogénesis somática se hace tradicionalmente en medios solidificados con agentes gelificantes, en la actualidad muchas son las empresas que producen planta forestal mediante embriogénesis somática en biorreactores o sistemas de inmersión temporal.

Se puede obtener embriones somáticos de muy diversas partes de la planta, de las cuales podemos utilizar como explantos; ápices radiculares y caulinares, hipocótilos, peciolos y pedúnculos, hojas jovenes, tejidos y órganos con caracteristicas embrionarias y tejidos reproductivos como endospermo, óvulos y tejidos ováricos.

3.2 Bondades de la embriogénesis somática en la propagación de especies forestales

La propagación vegetativa en plantas forestales por el método de embriogénesis somática es valorada por varios autores como una técnica eficaz en la propagación de especies a gran escala, muy útil particularmente en especies forestales.

Se plantea que ha sido la mejor alternativa para la producción de plantas forestales. Entre todos los métodos de propagación vegetativa, la embriogénesis somática es el desarrollo más reciente y está siendo utilizada por grandes empresas forestales para la producción de plantas a escala comercial. Además, ofrece la posibilidad de desarrollar los programas de mejora genética de especies forestales, así contribuyendo a la silvicultura de alta productividad en las plantaciones (Montalbán, Dorronsoro, Oria, Hurtado, & Moncaleán, 2018).

Desde varios años la FAO viene instando a los investigadores al estudio de diferentes aspectos biotecnológicos en el ámbito forestal que contribuyan al incremento económico de forma sostenible. Uno de los principales objetivos de la biotecnología forestal es el desarrollo de técnicos que posibiliten la multiplicación ilimitada de genotipos élite.

La propagación de especies forestales tiene una ventaja económica en la industria forestal. Como consecuencia, muchas especies forestales nativas y endémicas de gran valor han sido desplazadas de su hábitat y han sufrido degradación genética. Por el cual en el Ecuador la micropropagación en especies forestales ha sido de mucha importancia por el impacto ambiental y económico que genera, del cual para el estudio se ha optado por dos técnicas: embriogénesis somática y cultivo de protoplasto en especies *Centrolobium ochroxylum* (Amarillo), *Myroxilon peruiferum* (Balsamo), *Handroanthus billbergii* (Guayacan madera negro) (Escalante, 2014).

La biotecnología ofrece nuevas herramientas que se suma a las clásicas de la silvicultura, para cumplir dos objetivos básicos de la gestión forestal actual: mantenimiento de la diversidad de los bosques naturales para la conservación y utilización de los recursos genéticos, y mejoramiento genético en plantaciones forestales (Martínez, Azpiroz, Rodríguez, Cetina, & Gutíerrez, 2010). Por ende, “en varias instituciones de nuestro país se han realizado protocolos de micropropagación *in vitro* de especies agrícolas y forestales

nativas y exóticas, que tienen importancia ecológica y económica (Cedro, Teca, Café, Nogal, Bálsamo, Guayacán.)" (Cruz, Morante, & Carranza, 2021).

3.3 Factores que influyen en la embriogénesis somática de plantas de interés forestal

Los procesos embriogénicos son afectados por una serie de factores que en algunos casos favorecen y en otros dificultan el material vegetal. Algunos autores resaltan que los embriones somáticos no contienen un nuevo grupo de genes, sino que poseen la misma combinación genética de la planta fuente del explante.

Los procesos embriogénicos son afectados por una serie de factores que en algunos casos favorecen y en otros dificultan los manejos *in vitro* del material vegetal, entre ellos se destacan:

El medio de cultivo: para crecer las células requieren de nutrimentos orgánicos e inorgánicos, estos requerimientos se demuestran fácilmente en órganos y tejidos obtenidos de plantas superiores e inferiores.

Componentes del medio de cultivo: se utiliza la sacarosa como fuente de energía, además presentan ciertos microelementos, vitaminas y otras sustancias promotoras del crecimiento de naturaleza, tales como el agua de coco y la caseína hidrolizada.

Material vegetal: El explante, es el fragmento de tejido extraído del material parental para iniciar el cultivo *in vitro*. La elección del explante adecuado constituye el primer paso para el establecimiento de los cultivos. Factores como el genotipo, edad de la planta, tamaño del explante más pequeño, menos probabilidades de sobrevivencia y su estado fisiológico determinado (Daorden, 2007)

Las condiciones del crecimiento: Calidad, intensidad y duración de la luz, rango de temperatura, intercambio gaseoso, régimen de subcultivos y la selección de tejidos durante los subcultivos" (Escudero Bravo, 2004)

Recientemente se ha planteado que entre los factores determinantes de la inducción embriogénica están el genotipo de la planta, el estado fisiológico y las condiciones de crecimiento de la planta donante, la etapa del desarrollo del material de partida, el estrés inductor, la composición del medio de cultivo y la densidad celular (Pérez, 2021).

3.4 Aplicaciones de la embriogénesis somática en la propagación de especies forestales

La propagación de la embriogénesis somática en *Cedrela odorata*, el cual puede ser empleado para la micropropagación a gran escala, así como en estudios de tipo bioquímico, molecular y anatómico del desarrollo del embrión somático, de la misma forma en aplicaciones de transformación genética para llevar a cabo mejoras en la planta. Establecieron masas embriogénicas en sistema de inmersión temporal RITA, con el fin de acelerar la reproducción y conservación de una o más etapas del proceso de la embriogénesis somática. Donde la inducción de la embriogénesis somática en embrión cigótico inmaduro en medio MS con Dicamba (13.57 µM) a las 28 semanas de cultivo. Con un tiempo 3 minutos de inmersión y 4 de aireación en RITAS las masas embriogénicas incrementan su peso fresco 3 veces más. Con 1 minuto de inmersión a una frecuencia de 4 horas se sincroniza el cultivo (Dominguez, Juárez, & Peña, 2011).

La embriogénesis somática se asoma como una alternativa para la propagación asexual de (*Albizia saman*), ya que la semilla sexual presenta problemas de latencia y contaminación endógena, del cual se indujo la formación de callos y embriogénesis somática a partir de cotiledones y embriones cigóticos inmaduros en el medio de Murashige y Skoog con los reguladores citoquinina y Auxina, por ende la inducción de ES en Samán se produjo en los cotiledones inmaduros implantado en el medio de cultivo constituido por las sales de M&S suplementado con 0,01 mg l-1 TDZ y 30 gr l-1 sacarosa, bajo condiciones de oscuridad y 28 °C (Velásquez, Colmenares, Chirinos, Noruega, & Pérez, 2006).

La embriogénesis somática se considera para las especies forestales, como la vía de regeneración más adecuada ya que ofrece la posibilidad de una alta tasa de producción de propágulos, criopreservación de callos embriogénicos, rejuvenilización, producción de semilla sintética y la utilización de cultivos embriogénicos en transformación genética (Peña, y otros, 2011). Se informa que para el éxito de los sistemas de propagación por biotecnología depende en gran medida de control y prevención de la contaminación microbiana, del cual se logró la formación de proembriones de tipo colorado (*Pterogyne nitens* Tull) a partir de la inducción de callos embriogénicos provenientes de explantes de hojas cotiledonares. El medio de MSC con 107.41 de 2,4-D favorece la inducción de callos embriogénicos con

capacidad de formación de embriones somáticos (Vacca, Bonomo, Avilés, & Díaz, 2014).

Un estudio reciente concluye que para la propagación *in vitro* de especies forestales *Azadirachta*, se evaluó como explantes, secciones foliares de vitro-plantas, cotiledones y esquejes, se emplearon medios sólidos con combinaciones variables de la citocinina 6-benzylaminopurina (BAP) y las auxinas acido 2,4-diclorofenoxiacetico (2,4-D9 y ácido indolacético (AIA), observándose la formación de callo regenerativo, a partir del cual se generó embriogénesis somática primaria y secundaria, mediante reguladores de crecimiento BAP (1,0mg.l y 2,4-D(0,2 mg.L); mientras que, la formación de callo no regenerativo fue promovida por concentraciones mayores a 0,3 mg.L de 2,4-D. de los explantes evaluados, la mayor frecuencia de regeneración de plantas 67% se presentó con secciones cotiledonares (Fernandéz da Silva, Villaroel, Cuamo, & Storaci, 2016).

"En trabajo realizado para la optimización de un protocolo para la multiplicación de caucho (*Hevea brasiliensis*) vía embriogénesis somática, se investigó la influencia de dos reguladores de crecimiento para la obtención de callos viables, pero no se llegó a regeneración de plantas" (Rosero, 2013).

"La biotecnología vegetal es un área de investigación científica que ha registrado importantes avances en la forma de propagación, conservación y mejoramiento de especies durante los últimos años, además de ser una tecnología emergente de gran importancia estratégica y económica" (Rosero, 2013).

Un equipo de trabajo está centrando en obtener plantas somáticas de mejor calidad con diferentes tolerancias a condiciones de sequía mediante la manipulación de las condiciones físico-química al inicio del proceso embriogénico para a futuro asegurar la rentabilidad de los bosques, la sostenibilidad de los sistemas forestales y el bienestar social de las comunidades que viven en regiones forestales de diferentes países del mundo (Montalban, Dorronsoro, Oria Alustiza, Hurtado Arrizabalaga, & Moncaléan, 2018)

La embriogénesis somática como biotecnología de aplicación para regeneración en plantas forestales consigue una gran uniformidad de la masa vegetal, la cual es especial e

importante en la silvicultura, ya que permite simplificar la futura gestión de las plantas. Por ende, es muy útil en tres ámbitos básicos: conservación, información y producción. Por otro lado, se utiliza para la conservación de genotipos en bancos clonales, arboretos y en crio conservación, lo que permite que estén disponibles en un futuro y se puedan realizar evaluaciones genéticas de los materiales de partida para determinar su interés (Hernández, 2007).

3.5 Prospección de investigaciones sobre embriogénesis somática en Scielo

La producción científica en torno a la temática abordada evidenció que los primeros resultados registrados en Scielo corresponden al año 2002, y no fue hasta 2006 que se produce un crecimiento significativo, constituyendo, junto a 2015 y 2016, los años con una producción ≥10 artículos (Figura 1). En el año 2004 no se registraron artículos publicados y como promedio se publican 5,6 artículos/año donde se aborda la temática de embriogénesis somática. Además, en ocho de los años que abarcó el periodo analizado (42,1 %), se registró un número de artículos publicado superior a la media de publicaciones por año.

El número de artículos publicados con mayor frecuencia fue para tres, cinco y ocho artículos en un mismo año, con frecuencias absolutas de 16 %, 21 % y 21 %, respectivamente.

En el periodo 2002-2005 se registró la menor cantidad de publicaciones, entre 2009 y 2017 puede valorarse como un periodo de relativa estabilidad en la producción científica sobre la temática, aunque a partir de este último año se registraron cantidades inferiores a la media de publicación por años.

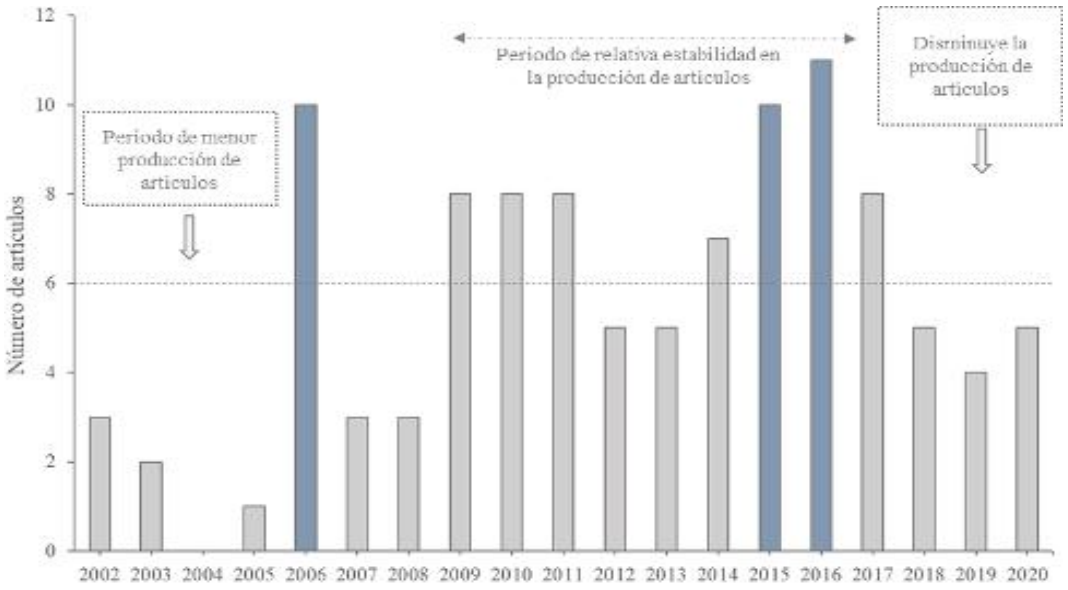

Figura 1. Número de artículos publicados por año en base de datos Scielo.

Entre los países que agrupan el mayor número de artículos publicados se encuentran Colombia, México, Venezuela y Cuba, todos con más de 10 artículos. Entre los primeros 11 países reflejados (Figura 2) no aparece Ecuador, lo que sugiere la búsqueda de iniciativas locales que incentiven las investigaciones y espacios de divulgación sobre esta temática de gran importancia en la producción y conservación de la biodiversidad.

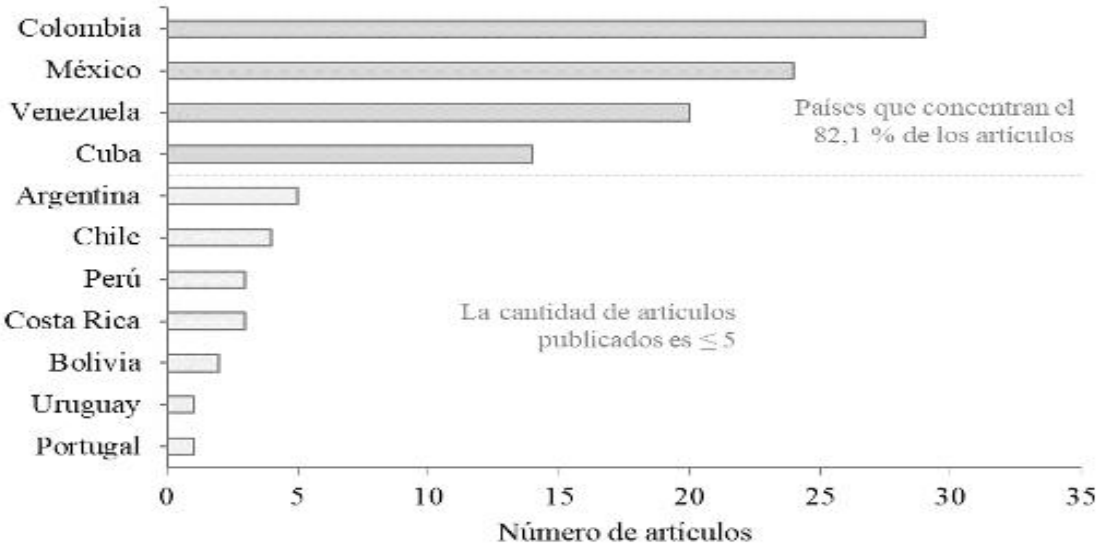

Figura 2. Países donde se publicaron los artículos.

Las 15 revistas con más artículos publicados se relacionan en la Tabla 2. Entre estas destacan las revistas Colombiana de Biotecnología (Colombia) y Agronomía Tropical (Venezuela) con 12 y 15 artículos de la temática, respectivamente. También se destaca que las 15 revistas agruparon el 75,5 % del total de artículos publicados en el periodo analizado.

Tabla 2. Listado de las primeras 15 revistas con más artículos publicados

No	REVISTA	PAÍS	ARTÍCULOS
1	Revista Colombiana de Biotecnología	Colombia	15
2	Agronomía Tropical	Venezuela	12
3	Acta Biológica Colombiana	Colombia	9
4	Cultivos Tropicales	Cuba	6
5	Revista mexicana de ciencias agrícolas	México	6
6	Biotecnología Vegetal	Cuba	5
7	Revista fitotecnia mexicana	México	5
8	Interciencia	Chile	4
9	Phyton (Buenos Aires)	Argentina	4
10	Agrociencia	México	3
11	Revista de la Facultad de Agronomía	Colombia	3
12	Chilean journal of agricultural research	Chile	2
13	Revista Peruana de Biología	Perú	2
14	Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales	Bolivia	2
15	Universitas Scientiarum	Colombia	2

Las áreas temáticas con mayor proporción relativa de artículos publicados fueron ciencias agrícolas (47,1 %), ciencias biológicas (28,6 %) y multidisciplinarias (18,5 %) (Figura 3), resultado que obedece a la importancia de la embriogénesis somática en la propagación de especies de interés agronómico y forestal.

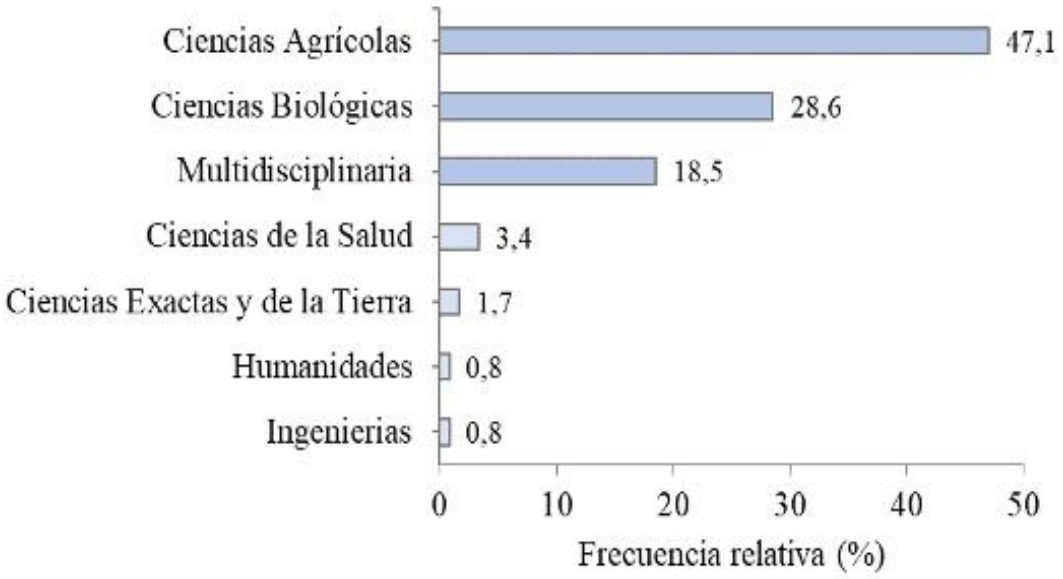

Figura 3. Representación de las áreas temáticas en los artículos analizados.

En más del 30 % de los artículos publicados se abordaron especies arbóreas (forestales y/o frutales); sin embargo, las de mayor frecuencia de artículos fueron *Coffea* spp. (12) y *Theobroma cacao* (8), seguidas de *Azadirachta indica* (3), *Bixa orellana* (3), *Nothofagus alpina* (3) y *Cocos nucifera* (2) (Anexo 1). También se destaca que 34 de las 51 especies investigadas solo se abordaron en uno de los artículos disponibles en la base de datos SciELO (2002-2020) sobre embriogénesis somática (Figura 4). Esto sugiere que todavía se requiere de mayor voluntad y esfuerzos de instituciones científicas y gubernamentales para continuar profundizando sobre el empleo de la embriogénesis somática en especies forestales.

En *Coffea* spp. se plantea que, durante la fase de conversión en vivero de plantas obtenidas por embriogénesis somática, el sistema radical y su manejo tienen influencia en el desarrollo morfológico de las plantas (Barbón, Ortiz, Capote, & Pérez, 2020).

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol perenne cultivado en zonas tropicales húmedas, de gran importancia económica para África, Asia y América Latina, su producción se ha visto limitada por el impacto de enfermedades y el bajo potencial productivo de las plantaciones. Existen clones con alto potencial productivo y tolerancia a las principales enfermedades, pero no se cuenta con un método eficiente de propagación de plantas, por lo

que la embriogénesis somática se visualiza como una herramienta para la producción masiva de estos clones (Echenique & Calle, 2020).

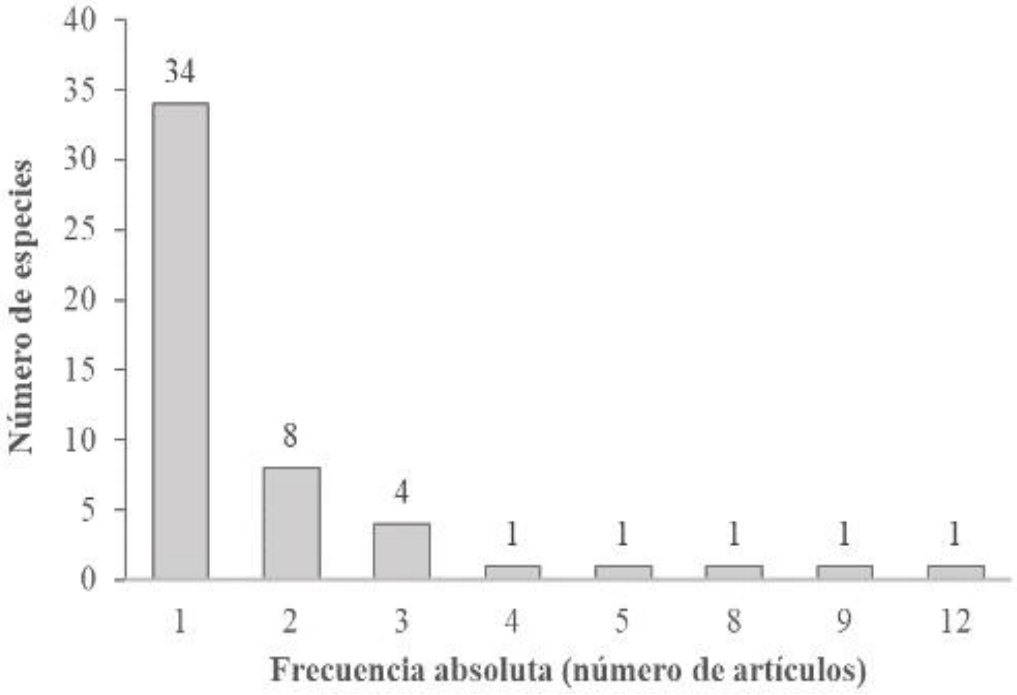

Figura 4. Número de especies y frecuencia de artículos donde se investigaron

Entre las temáticas más abordadas en los artículos se encontraron los cultivares y/o explantes y los reguladores de crecimiento, ambos en el 50,9 % de los artículos analizados. En el 6,6 % de estos se estudiaron diferentes métodos de desinfección; mientras que, en el 43,4 % fueron analizadas otras temáticas (Figura 5).

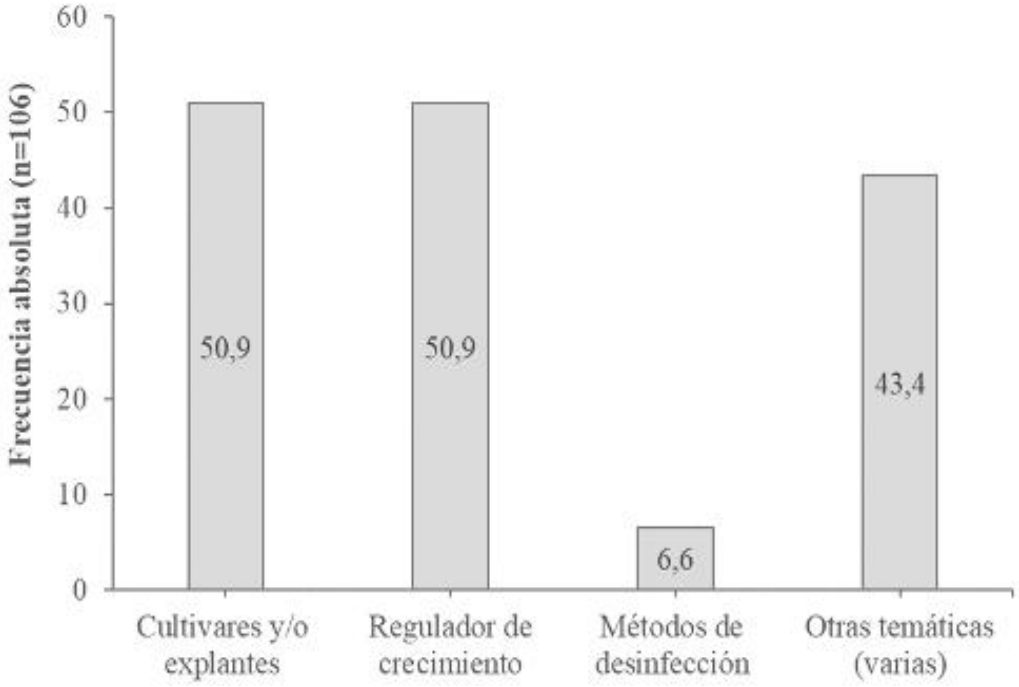

Figura 5. Principales temáticas en los artículos sobre embriogénesis somática.

4. CONCLUSIONES

Las evidencias científicas demuestran la utilidad de la embriogénesis somática como técnica de biotecnología vegetal que favorece la propagación de especies de interés agrícola y forestal, sobre todo en el ámbito productivo y en la conservación de la biodiversidad. La literatura disponible en SciELO sobre esta temática evidencia mayor aplicación de la embriogénesis somática en especies agrícolas; sin embargo, más del 30 % de los artículos abordan especies forestales, aunque destacan *Coffea* spp. y *Theobroma cacao* como las más estudiadas. También se aprecia que son más frecuentes los estudios en diferentes cultivares y/o explantes y con reguladores de crecimiento. Los resultados sugieren que deben fomentarse todavía las iniciativas dirigidas a la implementación de la embriogénesis somática como alternativa sostenible en la propagación de especies forestales tropicales.

REFERENCIAS

Alvarez Aragón, C., Arzate Fernandez, A., Martinez Martínez, S., & Velasco Martínez, I. (2020).

Regeneación de plantas de Agave marmorata Roezl, vía embriogénesis somática. *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 23*(36), 1-13.

Barbón, R., Ortiz, N., Capote, A., & Pérez, A. (2020). Influencia del sistema radical de plantas de Coffea arabica L.cv. Caturra rojo J-884, obtenidas por embriogénesis somática cv. Caturra rojo J-884, obtenidas por embriogénesis somática. *Biotecnología Vegetal, 20*(2), 104-102.

Celestino, C., Hernández, I., Carneros, E., López Vela, D., Jiménez, J., Alegre, J., . . . Toribio, M. (2007). La embriogénesis somática como vía de regeneración clonal de especies forestales mediterráneas. *Revista de Ciencia Agrárias*, 483-490.

Celestino, Hernández, Carneros, López, V., Jiménez, Alegre, . . . Toribio. (2007). La embriogénesis somática como vía de regeneración clonal de especies forestales mediterráneas. *Ciencias Agrarias*, 1-8.

Cruz, N. J., Morante, J. A., & Carranza, M. S. (2021). *Biotecnología de Plantas Aplicaciones en Ecuador.* . Guayaquil: Editorial Grupo Compás.

Daorden, M. E. (2007). *Cultivo in vitro de tejidos vegetales.* San Pedro: Estación Experimental Agropecuaria San Pedro.

Díaz-Sala, C. (2019). Molecular dissection of the regenerative capacity of forest tree species: Special focus on conifers. *Frontiers in Plant Science, 9*, 1–10.

Dominguez, A., Juárez, J. M., & Peña, Y. J. (2011). Desarrollo y caracterizaión de un sistema de propagación de Cedro rojo (Cedrela odorata L.) mediante la embriogénesis somática en biorreactores de inmersión temporal.

Domínguez, R. (2006). La biotecnología en plantas y aspectos biotecnológicos del mango. *Interciencia.*

Echenique, M. A., & Calle, D. (2020). Effect of different disinfection methods on the in vitro establishment of cocoa (Theobroma cacao L.) at the Sapecho Experimental Station - Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 7*(1), 48-54.

Escalante, R. V. (2014). *Embriogéneses somática y cultivo de protoplastos para la micropropagación de Handroanthus billbergii, Myroxylon peruiferum y Centrolobium, especies nativas del Bosque Seco del Litoral Ecuatoriano.* Ecuador: Repositorio Universidad de Guayaquil.

Escudero Bravo, I. (2004). *Primer curso internacional de embriogénesis somática en especies tropicales.* Santiago: Ministerio de agricultura instituto de investigaciones.

Fernandéz da Silva, R., Villaroel, A., Cuamo, L., & Storaci, V. (2016). Evaluación de un sistema de regeneración por embriogénesis somática de Neem (Azadirachta indica). *Acta Biologica Colombiana, 23*(3), 581-592.

García Gonzáles, R., Quiroz, K., Carrasco, B., & Caligari, P. (2010). Plant tissue culture: Current status, opportunities and challenges. *Ciencia e investigación agraria, 37*(3), 5-30. doi:https://dx.doi.org/10.4067/S0718-16202010000300001

Gupta, P., & Hartle, J. (2015). Progress on scale-up somatic embryogenesis and manufacture seed technology of conifer species at Weyerhaeuser. *In Vitro Cel Dev Biol-Plant, 51*, S13-S14.

Hernández, S. I. (2007). *Regeneración clonal de alcornoques adultos (Quercus suber L.) mediante embriogénesis somática.* . España: Tesis Doctoral: Departamento de Biología Celular y Genética.

Ibáñez, S., Carneros, E., Testillano, P., & Pérez-Pérez, J. (2020). Advances in plant regeneration: Shake, rattle and roll. *Plants, 9*(7), 1-19.

Loyola-Vargas, V. M., & Ochoa-Alejo, N. (2016). *Somatic embryogenesis: Fundamental aspects and applications. Somatic Embryogenesis: Fundamental Aspects and Applications.* Springer.

Martínez, R., Azpiroz, H. S., Rodríguez, J. L., Cetina, V. M., & Gutíerrez, M. A. (2010). *La Biotecnología y su aplicación en los recursos forestales. .* México: Libros Técnicos: Serie Forestal.

Montalban, I. A., Dorronsoro, B., Oria Alustiza, J. M., Hurtado Arrizabalaga, R., & Moncaléan, P. (2018). Embriogénesis somática: alternativa para la produccion de planta forestal élite. *Comunicacion Técnica*, 36.

Montalbán, I., De Diego, N., & Moncaleán, P. (2010). Bottlenecks in Pinus radiata somatic embryogenesis: improving maturation and germination. *Trees-Struc Func, 24*(6), 1061–1071.

Montalbán, I., Dorronsoro, B., Oria, J., Hurtado, R., & Moncaleán, P. (2018). Embriogénesis somática: alternativa para la producción de planta forestal élite. *@RevForesta*(70), 36-39.

Naranjo, E., Urrea, A., & Atehortúa, L. (2014). Avances en la propagación vía embriogénesis somática de Psychotria ipecacuanha (Brot.) Stokes, planta medicinal en peligro crítico. *Rev. Colomb. Biotecnol.*, 86-92.

Olivera Gonzales, P., Espinoza del Río, R., & Tamariz Angeles, C. (2017). Multiplicación in vitro y embriogénesis somática de Perezia pinnatifida (Asteraceae) planta medicinal andina. *Revista Peruana de Biología*, 323-328.

Peña, Y., García, I., Hernández, Á., Domínguez, A., Barredo, F., & Gonzáles, J. (2011). Induction of somatic embryogenesis and plant regeneration in the tropical timber tree Spanish red cedar [Cedrela odorata L. (Meliaceae)]. *Plant Cell Tissue and Organ Culture, 105*, 203-209.

Pérez, Y. (2021). *Efectores positivos y negativos de la embiogénesis somática y de microsporas de especies cultivadas y forestales: regulación hormonal, pared celular y muerte celular.* Madrid: Universidad complutense de Madrid.

Rosero, M. A. (2013). *Monografía sobre la biotecnología aplicada a la silvicultura en Colombia.* Colombia: Escuela de ciencias agrícolas pecuarias y de medio ambiente.

S.R., V., Colmenares, J., Chirinos, M., Noruega, A., & Pérez, M. (2006). Embriogénesis somática en samán. *Agronomía Tropical, 56*(4), 593-600.

Sánchez, J., R Cabrera, P., & J Jiménez, D. (2019). Inducción de embriogénesis somática a partir de explantes foliares en tres variedades de café. *Scientia Agropecuaria*, 259-264.

Seijo, F. M. (2003). Aspectos básicos de la embriogénesis somática. *Biotecnologia Vegetal*, 195-209.

Testillano, P., Gómez-Garay, A., Pintos, B., & Risueño, M. (2018). Somatic Embryogenesis of Quercus suber L. From Immature Zygotic Embryos. *Plant Cell Culture Protocols. Methods in Molecular Biology, 1815*, 247–256. Humana Press.

Tovar Rocha, V., Delgado Valerio, P., Martínez Palacios, A., Tovar Rocha, J., Medina López, J., & Rocha Granados, M. (2016). Embriogénesis somática en madroño (Arbutus xalapensis). *Bosque*, 519-525.

Vacca, M., Bonomo, M. L., Avilés, Z., & Díaz, L. (2014). Inducción de callos embriogénicos y formación de proembriones somáticos en Pterogyne nitens Tull "tipa colorada". *Revista Colombiana de Tecnología, 16*(2), 194-203.

Velásquez Salazar , R., Sandrea , Y., Betancourt, C., Mata, J., & García , F. (2006). Embriogénesis somática en cultivares de cacao Venezolano . *Agronomía Tropical*, 61-74.

Velásquez, R., Colmenares, J., Chirinos, M., Noruega, A., & Pérez, M. (2006). Embriogénesis somática en samán. . *Agronomía Tropical , 56*(4), 593-600.

Walter, C. (2004). Genetic engineering in conifer forestry: Technical and social considerations. *In vitro Cell Dev Biol Plant , 40*(5), 434–441.

Williams, E., & Maheshwaran, G. (1986). Somatic embryogenesis: Factors influencing coordinated behaviour of cells as an embryogenic group. *Annals of Botany, 57*, 443–462.

Zeng, F., Zhang, X., Cheng, L., Hu, L., Zhu, L., Cao, J., & Guo, X. (2007). A draft gene regulatory network for cellular totipotency reprogramming during plant somatic embryogenesis. *Genomics, 90*(5), 620-628.

ANEXOS

Anexo 1. Listado de especies de plantas y número de artículos donde se abordó la embriogénesis somática.

Especies investigadas (n=51)	Frecuencia de artículos (n=100*)
Coffea spp.	12
Musa sp	9
Theobroma cacao	8
Glycine max	5
Oryza sativa	4
Azadirachta indica	3
Bixa orellana	3
Saccharum spp	3
Nothofagus alpina	3
Agave angustifolia	2
Carica papaya	2
Plantago sp.	2
Sorghum bicolor	2
Solanum lycopersicum	2
Psychotria ipecacuanha	2
Cocos nucifera	2
Laelia anceps	2
Ananas comosus	1
Arbutus xalapensis	1
Cattleya maxima	1
Eugenia uniflora	1
Guarianthe skinneri	1
Parajubaea cocoides	1
Passiflora maliformis	1
Perezia pinnatifida	1
Persea americana	1
Phalaenopsis sp.	1
Psidium guajava	1

Solanum melongena	1
Stevia rebaudiana	1
Urochloa brizantha	1
Mangifera indica	1
Litsea glaucescens	1
Beaucarnea inermis	1
Bouteloua curtipendula	1
Solanum quitoense	1
Etlingera elatior	1
Heliconia collinsiana	1
Alsophila odonelliana	1
Citrus macrophylla	1
Manihot esculenta	1
Laelia eyermaniana	1
Citrus reshni	1
Capsicum annuum	1
Dendrathema grandiflora	1
Zea mays	1
Hevea brasiliensis	1
Quercus suber	1
Pinus sp.	1
Albizia saman	1
Eucalyptus globulus	1

Fuente: base de datos SciELO (2002-2020) *= *En seis artículos no se describieron especies de plantas estudiadas*

MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES

(Celestino, y otros, 2007) menciona que Organismos internacionales como la FAO, que tienen grupos interdepartamentales sobre biotecnología y bioseguridad, en su programa regular sobre recursos genéticos forestales están tratando estos temas. Para ello se basan en las recomendaciones de un panel internacional de expertos que se lleva reuniendo cada 2-4 años desde 1968.

En su última reunión celebrada a final de 2003, sobre la base de un documento de trabajo previo este panel resaltó el papel a desempeñar por la FAO en la concienciación del potencial y limitaciones de la Biotecnología en el sector forestal, recomendando que continúe proporcionando información amplia y actualizada a los países y otras organizaciones internacionales sobre aspectos relacionados con el uso de estas tecnologías en el ámbito forestal.

Marco conceptual

Según (Celestino C. , y otros, 2007) señala que:

> La biotecnología forestal sigue los pasos de la biotecnología vegetal aplicada a la agricultura en general, donde se puede apreciar dos grandes líneas en función de su

> aplicación; las categorías destinadas a obtener información sobre la variabilidad de los seres vivos y sobre sus procesos de crecimiento y desarrollo en las técnicas de biología molecular y las destinadas a producir plantas, nativas o modificadas, basadas en las técnicas del cultivo *in vitro*.

Por ende, la embriogénesis somática, por su gran capacidad de multiplicación y por sus posibilidades de automatización, se está marcando como la principal vía de regeneración clonal en plantas de especies forestales a nivel mundial.

Según (Sánchez, R Cabrera, & J Jiménez, 2019) menciona que:

> La embriogénesis somática es un proceso biológico mediante el cual las células somáticas desarrollan embriones que se asemejan a embriones cigóticos que son genéticamente idénticos a la planta madre, mismos que se pueden formar a partir de células explantadas y callos previos, dos vías distintas conocidas como embriogénesis somática directa e indirecta. Donde el cultivo de tejido vegetal se presenta como una herramienta biotecnológica que permite la propagación masiva de distintas especies forestales de importancia económica.

Según (Tovar Rocha, y otros, 2016) indica que:

> El cultivo de tejido vegetal es un conjunto de técnicas que permite la proliferación *in vitro* de células, tejidos y órganos vegetales en condiciones controladas. Una de las características más notable del cultivo de tejidos vegetales es que ciertas células totipotenciales, en condiciones ideales cultivadas, con la capacidad de formar embriones somáticos a través de un proceso muy similar a la embriogénesis cigóticos. Del cual la embriogénesis directa, el embrión emerge directamente sobre el explanto original; y cuando indirectamente, el primer paso importante en este proceso es obtener callo o suspensión de células embrionarias a partir del cual se obtendrá la diferenciación de los embriones somático en un segundo paso.

Según (Naranjo, Urrea, & Atehortúa, 2014) menciona que:

> Las técnicas de cultivo *in vitro*, incluida la embriogénesis, es propuesta como alternativa para la propagación masiva y conservación de especies amenazadas, raro y/o endémico. Entre otras ventajas, frente al micropropagación convencional la generación de plántulas con meristemos tanto apicales como radiculares, así que no se requieren etapas de enraizamiento posterior, a pesar de estas ventajas, el proceso

> debe ser estandarizado teniendo en cuenta las diferentes respuestas de cada genotipo a regulador de crecimiento, a tipo explantes, edad y estado de las plantas donantes y condiciones de crecimiento entre otros factores.

Según (Domínguez, 2006) menciona que:

> Como alternativa, la biotecnología de plantas y transferencia de material genético, representa una herramienta potencial para resolver problemas agrícolas con mínimo riesgo, debido a que es una tecnología limpia, donde se modifica aquella característica que se requiere contrarrestar. Los métodos biotecnológicos y moleculares brindan una alternativa a técnicas convencionales debido a que permiten introducir uno o más genes para la corrección de deficiencias cultivares líderes.

La transformación de genotipos altamente adaptados, y su producción, dependerá de la estabilidad de la integración del material genético foráneo al genoma de la planta, seguida por la propagación *in vitro* y la consecuente regeneración para producir plantas intactas que expresen la información deseada.

Según (Velásquez Salazar , Sandrea , Betancourt, Mata, & García , 2006) afirma que:

> Las técnicas de cultivo de tejido favorecen el mejoramiento del sistema de multiplicación de la especie, ya que es capaz de mantener la igualdad genética de genotipos deseables. La embriogénesis somática es un sistema que permite obtener clones con una arquitectura dismórfica normal y un sistema radical de gran anclaje, además de los otros potenciales que esta técnica presenta para el mejoramiento genético, intercambio y conservación de material.

Según (Olivera Gonzales, Espinoza del Río, & Tamariz Angeles, 2017) señala que:

> La micropropagación es usada como un enfoque de conservación, donde permite obtener varias plantas libres de patógenos y virus, en menor tiempo posible y espacios reducidos. De modo que la embriogénesis somática, permite obtener plantas completas y es usada prácticamente por la biotecnología y estudios en embriología, permite la evaluación, tamizaje y mejoramiento genético, en este método, la regeneración dependerá del tipo de explante, concentración y combinación de reguladores de crecimiento y nutrientes.