



**Ciencia Latina**  
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.  
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2024,  
Volumen 8, Número 2.

[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2)

# **PROPAGACIÓN MEDIANTE EMBRIOGÉNESIS SOMÁTICA DE ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES: UN ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO**

**PROPAGATION THROUGH SOMATIC EMBRYOGENESIS OF  
TROPICAL TREE SPECIES: A ANALYSIS OF THE CURRENT  
STATE OF KNOWLEDGE**

**Christopher Oswaldo Paredes-Ulloa**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**Jessica Alexandra Machado Cuzco**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**Darwin Javier Sucoshanay Villalba**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

**Derwin Viafara**

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10392](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10392)

## Propagación Mediante Embriogénesis Somática de Especies Arbóreas Tropicales: Un análisis del Estado Actual del Conocimiento

**Christopher Oswaldo Paredes Ulloa**<sup>1</sup>  
[chris9engineer@gmail.com](mailto:chris9engineer@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-2087-5694>  
Universidad Estatal Amazónica  
Puyo, Pastaza  
Ecuador

**Jessica Alexandra Machado Cuzco**  
[jessyalex\\_m@hotmail.com](mailto:jessyalex_m@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-9721-5029>  
Universidad Estatal Amazónica  
Puyo, Pastaza  
Ecuador

**Darwin Javier Sucoshanay Villalba**  
[dj.sucoshanayv@uea.edu.ec](mailto:dj.sucoshanayv@uea.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0002-7724-1190>  
Universidad Estatal Amazónica  
Puyo, Pastaza  
Ecuador

**Derwin Viafara**  
[vivian8\\_d@hotmail.com](mailto:vivian8_d@hotmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-1376-1231>  
Universidad Estatal Amazónica  
Puyo, Pastaza  
Ecuador

### 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, explantes, theobroma cacao

---

<sup>1</sup> Autor principal.

Correspondencia: [chris8puyo@hotmail.com](mailto:chris8puyo@hotmail.com)

# Propagation Through Somatic Embryogenesis of Tropical Tree Species: A Analysis of the Current State of Knowledge

## 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, explants, theobroma cacao

*Artículo recibido 20 febrero 2024*  
*Aceptado para publicación: 25 marzo 2024*



## 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 *et al.*, 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 radicales 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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 planta 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 *et al.*, 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 planta élite, centrándose fundamentalmente en los siguientes géneros: *Abies*, *Larix*, *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga* y *Sequoia* (Montalbán *et al.*, 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.

## METODOLOGÍA

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 donde 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.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Embriogénesis somática. Conceptos y características

“La embriogénesis somática *in vitro*, que cual quiera 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, de tejidos reproductivos, de embriones cigóticos o de callo producidos de las plantas” (Alvarez *et al.*, 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 totipotencia” (Zeng *et al.*, 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:

- 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 atmosfera controlada. Siguiendo, 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 atmosfera 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 (Montalbán *et al.*, 2010).

Se puede obtener embriones somáticos de muy diversas partes de la planta, de las cuales podemos utilizar como explantos; apices radiculares y caulinares, hipocotilos, peciolo y pedunculo, hojas jóvenes, tejidos y organos con características embrionarias y tejidos reproductivos como endospermo, ovulos y tejido ovarico.

### **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 planta forestal. 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 et al., 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 elite.

La propagación de especies forestales tiene una ventaja económica en la industria forestal. Como consecuencias, 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 et al., 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 et al., 2021).

### **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).

#### **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  $\mu\text{M}$ ) 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 esta especie (*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 Murashige y Skoog suplementado con 0,01 mg l<sup>-1</sup> TDZ y 30 gr l<sup>-1</sup> sacarosa, bajo condiciones de oscuridad y 28 °C (Velásquez et al., 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 et al., 2014).

Un estudio reciente concluye que para la propagación *in vitro* de especie forestal *Azadirachta*, se evaluó como ex plantes, secciones foliares de vitro-plantas, cotiledones y esquejes, se emplearon medios solidos con combinaciones variables de la citocinina 6-benzylaminopurina (BAP) y las auxinas ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) 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 (Fernández 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 planta somática 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 (Montalbán et al., 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 importante en 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).

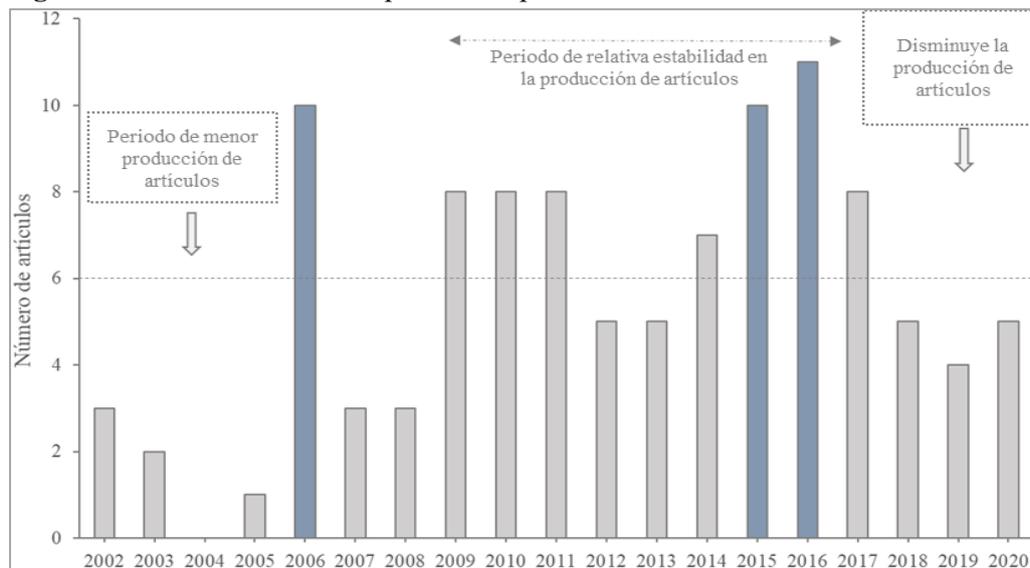
### **Prospección de investigaciones sobre embriogénesis somática en Scielo**

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  $\geq 10$  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.

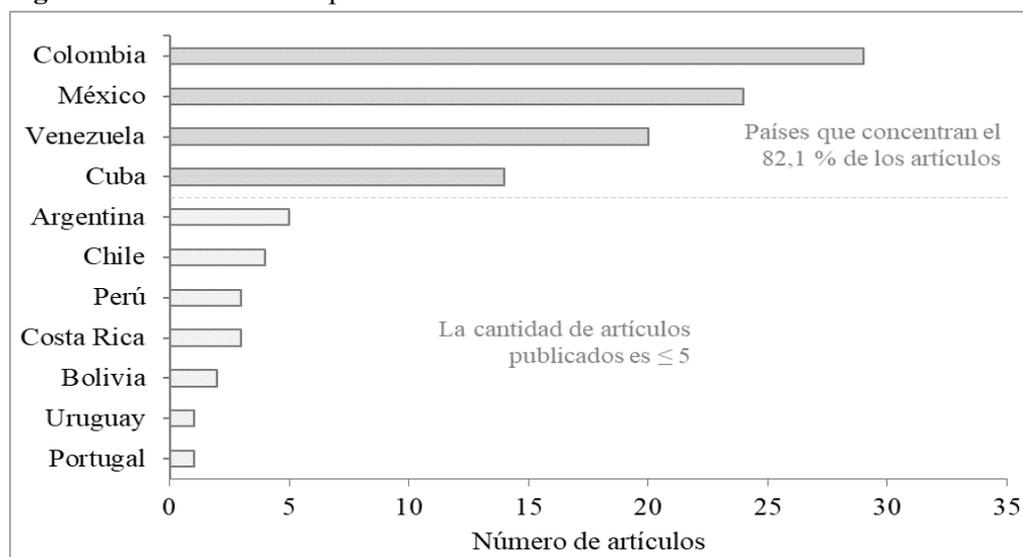
En el periodo 2002-2005 se registró la menor cantidad de publicaciones, entre 2009 y 2017 puede valorarse como un periodo de relativa estabilidad en la producción científica sobre la temática, aunque a partir de este último año se registraron cantidades inferiores a la media de publicación por años.

**Figura 1.** Número de artículos publicados por año.



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.

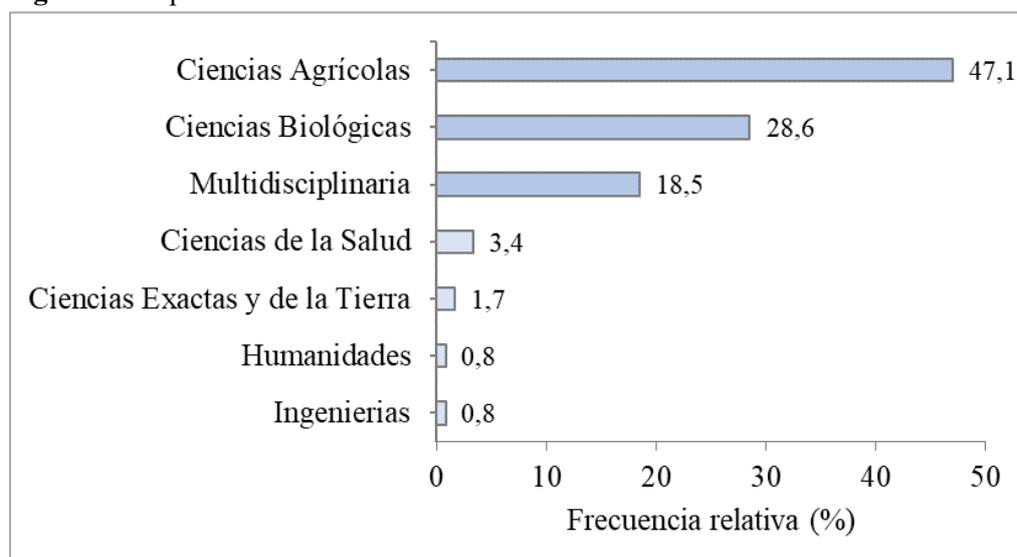


Las 15 revistas con más artículos publicados se relacionan en la Tabla 2. Entre estas destacan las revistas Colombiana de Biotecnología (Colombia) y Agronomía Tropical (Venezuela) con 12 y 15 artículos de la temática, respectivamente. También se destaca que las 15 revistas agruparon el 75,5 % del total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

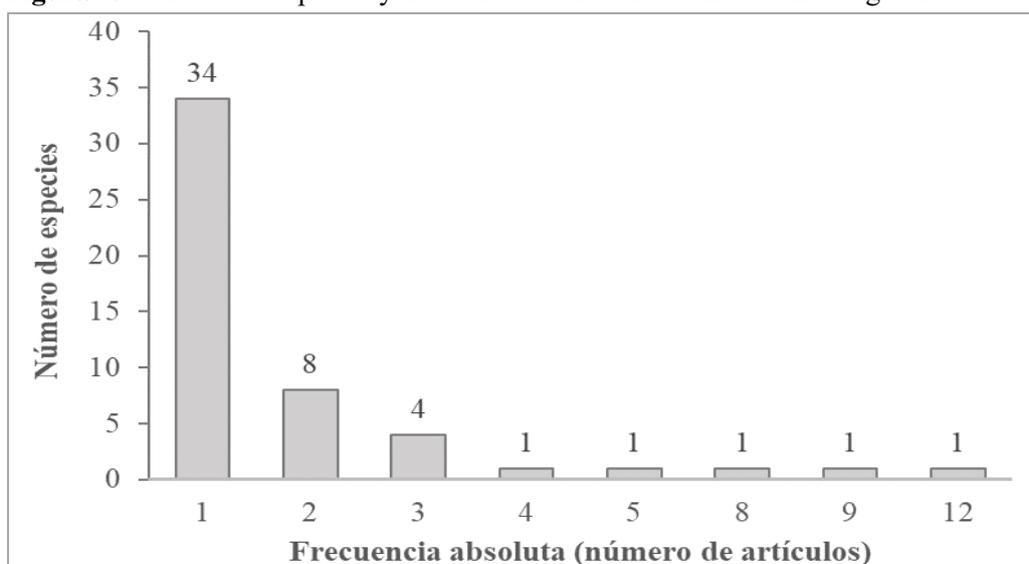
**Figura 3.** Representación de las áreas temáticas en los artículos analizados.

En más del 30 % de los artículos se 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 et al., 2020).

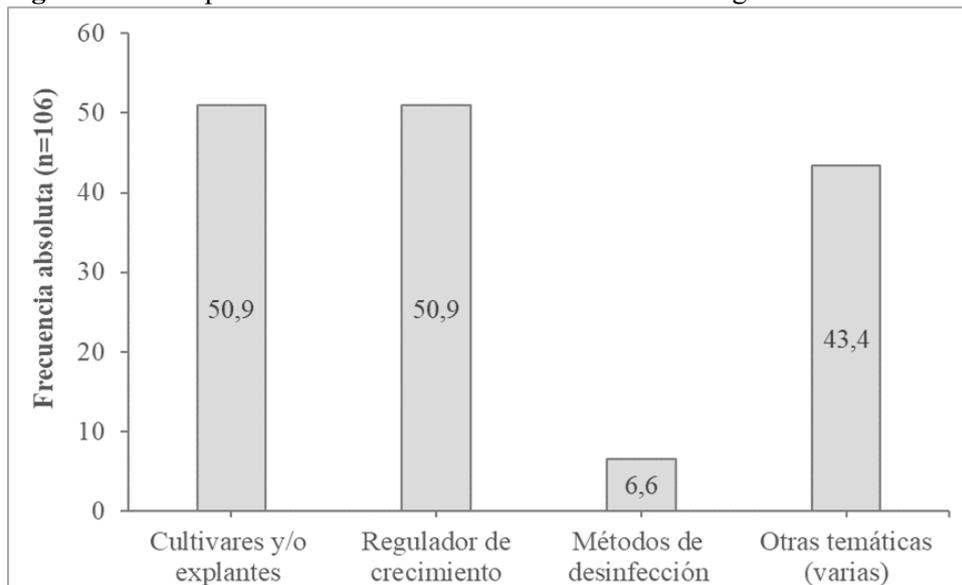
El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un árbol perenne cultivado en zonas tropicales húmedas, de gran importancia económica para África, Asia y América Latina, su producción se ha visto limitada por el impacto de enfermedades y el bajo potencial productivo de las plantaciones. Existen clones con alto potencial 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.



## 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 BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez Aragón, C., Arzate Fernandez, A., Martínez Martínez, S., & Velasco Martínez, I. (2020). REGENERACIÓN DE PLANTAS DE *Agave marmorata* Roehl, 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 Agrarias*, 483-490.
- 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 CARACTERIZACIÓN DE UN SISTEMA DE PROPAGACION DE CEDRO ROJO (*Cedrela odorata* L.) MEDIANTE LA EMBRIOGENESIS SOMATICA EN BIORREACTORES DE INMERSION TEMPORAL.
- 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). *Embriogénesis 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 EMBRIOGENESIS SOMATICA EN ESPECIES TROPICALES*. Santiago: MINISTERIO DE AGRICULTURA INSTITUTO DE INVESTIGACIONES.
- Fernández 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-González, 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., & Gutiérrez, 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 producción 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.
- Peña, Y., García, I., Hernández, Á., Domínguez, A., Barredo, F., & González, 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). *EFACTORES POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LA EMBRIOGÉNESIS 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 DEL MEDIO AMBIENTE.

Seijo, F. M. (2003). Aspectos básicos de la embriogénesis somática. *Biotecnología 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.

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, 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.

