



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA

CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado
al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la
obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Líneas genéticas de maíz (*Zea mays* L.), que benefician la
embriogénesis somática para la regeneración de las plantas *in vitro*.

AUTOR:

Samuel Angel Rivera Mera

TUTOR:

Ing. Agr. Walter Oswaldo Reyes Borja, PhD.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.), es de importancia económica para muchos países, tal es así que a nivel mundial su producción alcanzó 383,94 millones de toneladas en el año 2021, y un 40 % de esta producción se utiliza especialmente en la alimentación animal. Existen programas que se dedican al mejoramiento genético del maíz; sin embargo, también existen biotecnologías agrícolas que ayudan al desarrollo de este cultivo, para alcanzar variedades con mejores rendimientos. Para cumplir con los requisitos del Componente Práctico del Examen de Carácter Complexivo, este trabajo cumplió con los siguientes objetivos: Definir la factibilidad de la aplicación de la técnica y los beneficios de la embriogénesis somática en maíz, para regenerar las plantas en condiciones *in vitro*; e Identificar las líneas genéticas que tengan potencial para ser utilizadas para modificar genéticamente las plantas de maíz. Se realizó la revisión de literatura para determinar el beneficio que brinda la técnica de cultivo de tejidos en condiciones controladas y reproducción de plantas *in vitro* mediante la embriogénesis somática, se ha permitido desarrollar líneas genéticas que brindan características óptimas de regeneración de las plantas. La embriogénesis somática *in vitro*, consiste en tomar explantes de células somáticas, sometidas a reguladores de crecimiento, cultivadas bajo condiciones de humedad, luz, y temperatura controlada. Las células vegetales presentan gran capacidad de reproducción debido a la totipotencia que tienen, lo que permite que cultivo de maíz avance con la ayuda de la biotecnología vegetal. Los resultados de las investigaciones realizadas bajo el marco de esta temática mencionan que en la inducción se logra los embriones que muestran callos embriogénicos color crema, los cuales fueron en mayor cantidad y desarrollo, mediante el tiempo de tratamiento en condiciones *in vitro* y por interacciones con las auxinas. Esto permitió identificar a las líneas genéticas de maíz que brindan beneficio a la técnica embriogénesis somática como son las siguientes: CML 78; CML 332; CML 395 y CML 442, las que se regeneraron y formaron callos embrionarios, líneas genéticas de maíz que fueron desarrolladas en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) de México.

Palabras clave: Embriogénesis somática, *in vitro*, Totipotencia, Líneas genéticas.

SUMMARY

The cultivation of maize (*Zea mays* L.) is of economic importance for many countries, so much so that worldwide its production reached 383.94 million tons in 2021, and 40% of this production is used especially in animal feed. There are programmes dedicated to the genetic improvement of maize; However, there are also agricultural biotechnologies that help the development of this crop, to achieve varieties with better yields. To meet the requirements of the Practical Component of the Complex Character Examination, this work met the following objectives: Define the feasibility of applying the technique and the benefits of somatic embryogenesis in corn, to regenerate plants under *in vitro* conditions; and Identify genetic lines that have the potential to be used to genetically modify corn plants. The literature review was carried out to determine the benefit provided by the technique of tissue culture under controlled conditions and *in vitro* plant reproduction through somatic embryogenesis, it has been allowed to develop genetic lines that provide optimal characteristics of plant regeneration. *In vitro* somatic embryogenesis consists of taking explants of somatic cells, subjected to growth regulators, cultured under conditions of humidity, light, and controlled temperature. Plant cells have a great capacity for reproduction due to the totipotency they have, which allows corn cultivation to advance with the help of plant biotechnology. The results of the research carried out under the framework of this theme, mention that in the induction the embryos that show cream-colored embryogenic calluses are achieved, which were in greater quantity and development, through the time of treatment in *in vitro* conditions and by interactions with auxins. This allowed to identify the genetic lines of corn that provide benefit to the somatic embryogenesis technique, such as the following: CML 78; CML 332; CML 395 and CML 442, which regenerated and formed embryonic calluses, maize genetic lines that were developed at CIMMYT (International Maize and Wheat Improvement Center) in Mexico.

Key words: Somatic embryogenesis, *in vitro*, Totipotency, Genetic lines.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido

RESUMEN.....	ii
SUMMARY	iii
1.CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. LINEA DE INVESTIGACIÓN	3
2.DESARROLLO.....	4
2.1. Marco Conceptual.....	4
2.1.1 Maíz	4
2.1.2 Importancia del cultivo de maíz	4
2.1.3 Inducción de Embriogénesis Somática.....	7
2.2. Marco Metodológico.....	11
2.3. Resultados	12
2.4. Discusión de Resultados	12
3.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	13
3.1. Conclusiones	13
3.2. Recomendaciones	14
4.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
ANEXOS.....	19

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Ecuador según la FAO (2022) se producen 4.5 toneladas por hectárea, de esta forma se puede considerar de importancia económica y alimentaria para nuestro país. El maíz amarillo y blanco, es producido en Ecuador y comercializado en todas las provincias por su consumo diario que sirve de alimento a las familias de ecuatorianas. Ecuador en el 2021 alcanzó una producción de 291.710 hectáreas sembradas de maíz amarillo (MAG 2020).

en el 2022 aumentó la producción de 291.867,10 hectáreas teniendo un 0.5 % de incremento según Ibarra (2022); en la sierra ecuatoriana en el 2020 se sembraron 74.018 hectáreas de maíz blanco, teniendo mayor superficie de siembra de la región sierra (MAG 2020).

Las provincias que producen altas cantidades de maíz blanco están entre Bolívar, Imbabura, Cotopaxi, y, Azuay, ocupando el 96% de la producción de maíz (*Zea mays* L. *var. amyloacea*), es cosechado en estado amiláceo donde el grano es inmaduro, y también en grano seco y su rendimiento suele ser variado por los factores necesario para este cultivo en cada región por ello existe la necesidad de mejorarlo genéticamente (INIAP 2021).

Las líneas genéticas para mejorar el cultivo de maíz son utilizadas para cruzar esta especie mediante el uso de la biotecnología, teniendo en cuenta que es un trabajo de laboratorio. Las modificaciones genéticas dependen mucho de las reacciones que presenten las plantas, sus características genotípicas y fenotípicas. Pero es necesario que su manejo sea práctico y con precisión en

condiciones *in vitro* para que, a través de la embriogénesis somática, se obtenga plantas regeneradas (Hernández *et al.* 2007).

Los explantes que se utilicen son de mucha importancia para obtener las propagaciones clónales y para esto la embriogénesis somática debe ser controlada al cruce de maíces de climas templados y subtropicales ya que los híbridos generarán muchos costos para lograr los transgénicos con genes deseados (Caviedes 2022).

La embriogénesis somática es una fase biológica en el cual las células somáticas generan embriones parecidos a los embriones cigóticos logrando de esta manera la regeneración de las plantas que genéticamente son idénticas a la planta madre, con lo cual se quiere la conservación de las especies, pero a su vez mejorarlas como excelentes líneas genéticas (Sánchez 2019).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cultivo de maíz es de importancia económica para el país; por tanto, se debe promover tecnologías para mantener las altas producciones y la rentabilidad, mismas que se ven afectadas o mermadas debido a que los productores no están dispuestos muchas veces a utilizar variedades altamente productivas y mejoradas de esta especie, por lo que sufren descensos en su capacidad para producir.

Las características que se podrían mejorar a través de la embriogénesis somática y la regeneración *in vitro* de las plantas son necesidades para el futuro de este cultivo y los agricultores ya que de esta forma se evitaría la desaparición de estas especies, especialmente las variedades de grano blanco que son manejadas agrónomicamente por indígenas que mantienen sistemas de producción antiguas o convencionales.

La erosión genética (según el Ministerio del Ambiente de Perú), es el resultado de no obtener plantas modificadas genéticamente a través de la pérdida de las diversas especies que se cultivan y comparten características muy parecidas en el fenotipo.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La embriogénesis somática es una técnica eficaz para la propagación de las plantas, a través de esta técnica se busca mejorar sus características genotípicas y fenotípicas para elevar los rendimientos productivos de este cultivo que beneficia especialmente a las regiones costa y sierra donde es cultivada. Por esto es necesario conocer las líneas genéticas que ayuden a la multiplicación y regeneración de sus órganos a través de los tejidos embriogénicos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Generar información sobre líneas genéticas de maíz, que beneficien la embriogénesis somática para la regeneración *in vitro* de las plantas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Definir la factibilidad de la aplicación de la técnica y los beneficios de la embriogénesis somática en maíz, para regenerar las plantas en condiciones *in vitro*.
- Identificar las líneas genéticas que tengan potencial para ser utilizadas para modificar genéticamente las plantas de maíz.

1.5. LINEA DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología.

Línea: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentables, Biotecnología vegetal y animal.

2. DESARROLLO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1 Maíz

El maíz (*Zea mays* L.), es un grano con origen centroamericano, utilizado tanto en la nutrición humana y como animal, marcando un lugar en las estrategias de la soberanía alimentaria. Según Wilkes (1985), indica que el maíz es un cultivo dependiente de los cuidados y manejos que el hombre le brinda para su desarrollo, y esto se debe a que no presentan características silvestres que le permitan sobrevivir a los diferentes factores que impliquen su desarrollo. Es un cultivo altamente sembrado por sus beneficios económicos y alimentario que representa una fuente para obtener carbohidratos diarios que requiere nuestra alimentación. Se ubica en el segundo lugar de los cultivos de mayor superficie sembrada del mundo, teniendo tal importancia como la tiene el arroz y el trigo, en rendimiento de este grano por hectárea se mantiene siendo el primero en producción total a nivel mundial llegando a una producción de 383,94 millones de toneladas de grano de maíz según las estadísticas del 2021 de Statistas (2023) (Kato *et al* 2009).

Mediante la historia y su constante evolución del maíz se ha logrado su mejora genética, buscando de esta manera obtener que se adapte a diferentes condiciones climáticas, superando a otros cultivos según en estudios realizados. Las zonas tropicales brindan mayores condiciones para lograr altos rendimientos, lo cual, con gran adaptabilidad en la actualidad según la FAO (1999).

2.1.2 Importancia del cultivo de maíz

El cultivo de maíz tiene importancia por el aporte económico y alimenticio que nos brinda, tanto para el consumo humano como para el uso en alimentación de animales en la industria. Las estadísticas muestran que el maíz logra concentrar el 40 % de uso en alimentación animal. Presenta una singularidad única a pesar de

ser un cereal, ya que se caracteriza por utilizarse como alimento en cualquier etapa de su desarrollo (Paliwal 2001).

Se cultiva en gran parte de zonas tropicales sumando 177 millones de hectáreas anualmente según datos recopilados en el 2012, y en producción se logra alcanzar 872 millones de toneladas. El país con mayor porcentaje de producción es Estados Unidos, seguido China, Brasil y México; además se cultiva en sesenta y seis países con zonas tropicales tomando gran importancia en la economía y la comercialización (FAOSTAT 2012).

Por otro lado, el INEC (2021), menciona que las mejores condiciones las brindan las latitudes medias y las elevaciones bajas que presentan 24 msnm, siendo lugares cálidos. Datos de 1999 indican que la superficie de siembra anual de maíz alcanzó 140 millones de hectáreas. Otro estudio a través de encuesta logró determinar que en el 2021 se sembraron 336.138 hectáreas de maíz en el Ecuador.

Taxonomía del maíz

Reino	Vegetal
Clase	Monocotiledoneae
Orden	Poales
Familia	Poaceas
Género	Zea
Especie	<i>Zea mays</i> L.

Fisiología del maíz

Anatomía: Es parte de las gramíneas de ciclo corto, herbácea, miden aproximadamente 0.60 a 2.3 metros de altura depende de las condiciones en las que la planta se desarrolle y a los factores que brinde condiciones óptimas. En su forma de reproducción, la flor masculina se presenta en la parte superior apical y la femenina en diferentes nudos de la planta (Calero 2006).

Raíz: Es fasciculada con gran fortaleza para el desarrollo de la planta, conformada por 3 tipos de raíces las cuales son:

- **Seminales:** Aparece en la semilla después de la radícula para dar firmeza a la planta.
- **Permanentes:** Esta conformadas por las primarias y las secundarias y estas se ubican sobre las primeras.
- **Adventicias:** Estas brotan de la parte de los nudos inferiores que tiene el tallo y son las que cumplen mayor sostén a la planta para sus últimas etapas de desarrollo.

Tallo: Está formado por nudos y entrenudos, donde se producen las elongaciones y se diferencian las hojas, de los nudos se dan las interacciones de las hojas y este tallo puede crecer hasta 4 metros y medios, logrando desarrollar desde 13 hasta 23 nudos aéreos.

Hojas: son largas, se forman abrazadas al tallo, es vellosa en el haz y muy afiladas, al tener contacto con la piel tienden a cortar. Su forma es lanceolada de color verde y produce de 8 a 25 hojas (Cruz 2006).

2.1.3 Inducción de Embriogénesis Somática

Se define la inducción de embriogénesis somática según Freire (2003), como la finalización del patrón que tiene un tejido como explante, e inicie la expresión de los genes de la embriogénesis que genera el tejido del explante para dar lugar a la formación de callos y embriones somáticos. Mediante el proceso de la inducción, es de mucha importancia el manejo de las condiciones del medio de cultivo, utilizan sustancias que regulen el crecimiento (Freire 2023).

En el año 1958 se logró obtener gracias a Stewart y Reinert, los primeros experimentos y evidencias que las plantas pueden producir con éxito embriones somáticos con el medio de cultivo *in vitro*, y en el año 1959 se logró reproducir 200 especies de mucha importancia agrícola (Vílchez 2016).

Cultivo *In vitro*: Es el método utilizado donde se toma una muestra de la planta (Ápice, semilla, nudo, antera, meristemo, embrión, tallo), y se la establece en un medio de cultivo nutritivo y esterilizado, y tendrá como objetivo la obtención de una o muchas plantas regeneradas. En este proceso de cultivo *in vitro* en especies vegetales se busca aislar órganos, tejidos, y células vegetales brindándoles buenas condiciones que necesita para tener como resultado alguna reacción fisiológica o morfológica partiendo de estos explantes.

Se debe conocer que los organismos vegetales tienen una alta totipotencia lo cual significa que las células vegetales contienen una gran capacidad de generar individuos iguales a la célula madre (Feri 2000).

El cultivo *in vitro* se debe incubar en condiciones de luz, humedad y temperatura estrictamente controlada, teniendo equilibrada la parte nutricional y la composición fisicoquímicas que permiten el desarrollo del explante, de esta manera se forma la masa celular sin forma que se denomina “callo” el cual es el que formará los órganos y los embriones.

Estados iniciales de la formación de embriones somáticos

Estudios muestran la formación de embriones dadas en 4 fases las cuales se denominan fase 0, fase 1, fase 2, y fase 3, las cuales se logra identificar desde sus estados tempranos de la embriogénesis somática según la información recopilada por (Fujimura y Komamine 1980).

La fase Cero: Observaron que las células se aíslan constantemente y se dividen hasta lograr la formación de “agregados” de células las cuales obtienen la capacidad de generar y desarrollar embriones en el momento de que ha sido eliminada la auxina que se usa en el medio de cultivo, de esta forma pasa al segundo estado llamado fase 1.

La fase uno: Se basa en la multiplicación lenta y aparentemente de poca reacción que se observa después de 3 días de haber dejado de sustentar con la auxina dejando de esta forma, en la etapa la dependencia de la hormona que se usa para el desarrollo de las plantas.

La fase 2: Empieza una rápida división al haber pasado 3 o 4 días formándose en esta parte un embrión globular por su forma, por lo tanto, esta fase sufre una inducción por el intercambio de agregados celulares en un medio de cultivo independiente a la auxina; inicia la división celular y se logra sintetizar el ADN formando el estado globular en las zonas que no ocurrió división.

La fase final o fase 3: Es la fase donde toma forma de corazón y torpedo en las cuales se continua en plantas dicotiledóneas. Pero a diferencia de las monocotiledóneas las fases no son completas dándose la fase cero, uno, y dos, pero no llegan a la fase tres que es la etapa donde toma forma de corazón y torpedo y esto se debe a que el embrión globular tiene otro proceso de cambio o reacción el

cual se basa en su alargamiento con la finalidad de convertirse en un embrión maduro (Fujimura y Komamine 1980).

Tiempo de formación

El tiempo de formación de la embriogénesis somática varía y esto se debe a que existen dos tipos: la indirecta también conocida como embriogénesis somática de baja frecuencia y la embriogénesis de alta frecuencia. En la de baja frecuencia, el número de callos con embriones somáticos es mayor; por tanto, se forman poca cantidad de callos por embrión y aparecen después de 12 a 14 semanas de edad del cultivo *in vitro*. El de alta frecuencia de embriogénesis somática aparece a las 16 o 20 semanas del cultivo *in vitro* y no logran desarrollarse por completo, se quedan en estado o forma globular en grupos grandes, pero a estos forman una menor cantidad de callos (Sondahl 1991).

Número de embriones somáticos por callo

Entre los 15 hasta los 30 días, no hay diferencia en la cantidad de callos formados, contados estadísticamente es de 7,96 embriones somáticos con el tratamiento DMS; sin embargo, al utilizar otro factor el cual es SCE+F (callos embriogénesis en medio de cultivo con fitohormonas) y las divisiones con fitohormonas incrementa la cantidad, llegando a formar 12,35 embriones somáticos, siendo el tratamiento más efectivo para producir mayor cantidad de callos embrionarios. (Sondahl 1991)

% de regeneración

Un estudio realizado por Lee (1984), utilizó progenitores de plantas de maíz con las mismas características dando como resultado la variación y el incremento de 0,5 % de plantas regeneradas en cultivos de cuatro a cinco meses mejorando a

1,3 % en cultivos de ocho a nueve meses. A los 32 meses del cultivo se muestra la regeneración de los callos organogénicos.

Condiciones más adecuadas de desarrollo

- Tipo y estado que tenga el explante fisiológicamente
- El genotipo de las plantas
- Aplicaciones de cultivo líquido
- Reguladores que ayuden al crecimiento y desarrollo en el medio de cultivo (Fiore 2002)

Líneas genéticas del maíz

Un trabajo experimental realizado en México en el año 2006 utilizó líneas genéticas de maíz CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), usando la inducción de la embriogénesis somática, con el objetivo de obtener la regeneración de estas plantas y de esta forma mejorarlas genéticamente, ya que muchas son de gran importancia económica y alimenticia para el mundo y países que cultivan maíz (Hernández *et al.* 2006).

Líneas genéticas CIMMYT	CML 78	CML 202	CML 204	CML 330	CML 331	CML 332	CML 395	CML 442	CML 444
¿Hubo respuesta diferencial?	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	NO

Totipotencia celular

La totipotencia es la potencia celular máxima, que le confiere a la célula la capacidad de dirigir el desarrollo total de un organismo.¹ Esto sucede si el núcleo de una célula es idéntico al de un cigoto, es decir, la totipotencia se observa en la capacidad del cigoto de dar origen a cada tipo de célula del adulto (Slack 2001).

¿Qué es un Callo embriogénico?

Los callos embriogénicos son células vegetales en un proceso indiferenciación en constante división celular, dependiendo principalmente genotipo del explante, además de la concentración y combinación de reguladores de crecimiento adicionados al medio de cultivo.

¿Qué es la embriogénesis Somática?

Es la formación de un embrión utilizando una célula sin que se crucen los gametos, lo cual caracteriza este proceso por ser artificial y manejado en laboratorio con condiciones óptimas y con mucha asepsia. Es un método de producción de plantas muy eficaz para lograr obtener grandes cantidades de plantas mejoradas genéticamente de forma controlada, lo que obstruye el desarrollo de esta tecnología es la falta de implementación y estudios que permitan que evolucione y sea posible obtener mayores plantas con semillas artificiales que ayuden a regenerar plantas a través de la embriogénesis somática (Yeung 1996).

2.2. Marco Metodológico

La presente investigación se basa en el estudio del componente práctico en la modalidad de titulación denominado Examen Complexivo, en este caso se utilizó métodos de investigación cualitativos y cuantitativos. A través de estos se realizó la colecta de datos y análisis de los principales puntos convergentes encontrados,

con esto se hará el detalle de la información de una manera secuencial y debidamente ordenada.

Para la elaboración del informe se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias de diferentes bibliotecas virtuales, libros actualizados, artículos científicos, memorias de congresos, páginas web y materiales bibliográficos que contribuyan al avance de la investigación documental.

2.3. Resultados

Las líneas genéticas de maíz que brindan beneficio a la técnica embriogénesis somática mediante condiciones *in vitro* son las siguientes: CML 78; CML 332; CML 395 CML 442, diferenciándose en la variación genética que presentan según la investigación, que se ha realizado tomada de un experimento determinando estas líneas como las que se regeneraron y formaron callos embrionarios.

En la inducción se logró observar que los embriones cigóticos tuvieron variaciones mostrando los callos embriogénicos color crema los cuales tuvieron mayor cantidad de callos y desarrollo mediante el tiempo de tratamiento en condiciones *in vitro*. Se debe tener en cuenta la importancia de la respuesta que mostraron los callos embriogénicos y es que las interacciones con las auxinas según la dosis utilizada fueron muy buenas.

2.4. Discusión de Resultados

Uno de los aspectos de Las plantas propagadas *in vitro*, como resultado del rejuvenecimiento o cambios temporales, muestran variaciones tales como incremento en el número de tallos o ramas, retardo en la floración, aumento de la susceptibilidad a una enfermedad y otras características, las cuales influyen en el rendimiento en el campo.

Este método, teóricamente, es el más eficiente para la producción masiva de plantas *in vitro* debido a la naturaleza bipolar del embrión, la posibilidad de ser

automatizado todo el proceso productivo, los altos coeficientes de multiplicación en cortos períodos de tiempo, al poder aplicarse los principios de la cinética microbiana y la posibilidad de encapsular estas estructuras y obtener semillas artificiales. Sus desventajas radican en el desconocimiento que existe sobre los parámetros que regulan este proceso, siendo aún limitado el número de especies en los cuales se describe una embriogénesis somática eficiente que permita un uso productivo del método.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

En la compilación de información se logró generar información sobre las líneas genéticas de maíz que benefician la regeneración de plantas en condiciones *in vitro*, sumando datos que definan e integren conocimientos para realizar la aplicación de las técnicas que se debe aplicar para obtener la regeneración de plantas en condiciones artificiales manejadas con biotecnología.

Se obtuvo información que identifica las líneas genéticas de maíz óptimas que brindan las mejores condiciones para modificar genéticamente este cultivo de forma controlada. El término “totipotencia celular” fue investigada por Haberlandt en el año 1902 el cual determinó que las células vegetales tienen la capacidad de volver a la condición meristemática a través de la regeneración logrando volver a formar plantas completas, lo cual hace que se continúe con las investigaciones y experimentos que aporten a los conocimientos sobre la técnica de embriogénesis somática en condiciones *in vitro*, para lograr la reproducción de plantas sintéticas con genotipos y fenotipos mejorados.

La embriogénesis somática es una reproducción asexual la cual se trata de lograr formar embriones partiendo de células que no han sido fusionadas sexualmente o gamética, lo cual se busca obtener una estructura bipolar lo cual significa que se forma un embrión a partir de la toma de células somáticas.

3.2. Recomendaciones

Se recomienda que se continúen las investigaciones que aporten a la biotecnología agrícola, la cual es dispensable para el desarrollo económico y alimenticio. Que se tome en cuenta otras líneas genéticas de maíz, con las que no se hayan realizado estudios y análisis que determinen si brindan compatibilidad genética, para lograr la reproducción de plantas manejadas artificialmente para elevar la cantidad con el fin de mejorar las características genéticas del maíz.

También se recomienda conocer más acerca del manejo de cultivos en condiciones *in vitro* y tener conocimientos amplios que faciliten el acondicionamiento que garantice la supervivencia de las plantas, y se obtenga elevar el porcentaje de plantas regeneradas con más variedades de líneas genéticas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Calero. 2006. Duration of the phenological stages and root depth of the maize crop (*Zea mays* L.). Criolla floury white, under the climatic conditions of the Cevallos canton: (Tesis de grado). Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n3/2007-0934-remexca-7-03-669.pdf>
- Caviedes. 2022. Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador: (Artículo científico). Mejía. Ecuador. Disponible en <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2588/2987>
- Cruz. 2006. Rendimiento de grano de genotipos de maíz sembrados bajo tres densidades de población: (Artículo científico). Tabasco. México. 27 de agosto del 2023. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v25n1/v25n1a7.pdf>
- FAO 1999. Introducción al maíz y su importancia: (Artículo científico). Disponible en <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s02.htm>
- FAO. 2022. Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador: (Artículo científico). Cumbay. Quito. Ecuador. Disponible en <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2588/2987>
- FAOSTAT. 2012. Maíz I: (Artículo científico). Madrid. España. Disponible en <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/ae41001e-474e-4d61-b12f-90f071ff82b1/content>
- Fiore. 2002. Aspectos básicos de la embriogénesis somática: (artículo científico). Cuba. Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/rt/printerFriendly/263/html>

Fujimura y Komamine. 1980. Cultivo de Tejidos en la Agricultura Fundamentos y Aplicaciones: (Revista). Disponible en [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Cultivo de tejidos en la agricultura.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/biblioteca/Cultivo_de_tejidos_en_la_agricultura.pdf)

Hernández. 2007. Regeneración de maíces blancos subtropicales vía embriogénesis somática. (Artículo científico). Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v41n7/1405-3195-agro-41-07-743.pdf>

Ibarra. 2022. Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador: (Artículo científico). Ecuador. Disponible en <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/5170-26900-1-PB.pdf>

INEC. 2021. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua: (Artículo científico). Ecuador. Disponible en https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Principales%20resultados-ESPAC_2021.pdf

INIAP. 2021. Guía para la producción sustentable de maíz en la sierra ecuatoriana: (Artículo científico). Quito. Ecuador. Disponible en <https://repositorio.iniap.gob.ec>

Kato. 2009. Características y propiedades del (*Zea mays* L.), criollo cultivado en Aguascalientes, México: (Artículo científico). Tabasco. México. Disponible en <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n3/2007-0934-remexca-7-03-669.pdf>

Lee. 1984. Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia: (Artículo científico). Colombia. Disponible en https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MAG. 2021. Guía para la producción de maíz en la sierra ecuatoriana: (Artículo científico). Disponible en <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/5170-26900-1-PB.pdf>

Paliwal. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción: (Artículo científico). Roma. Italia. Disponible en <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s00.htm#toc>

Ritchie. 1982. Duración de la etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Blanco harinoso criolla, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos: (Tesis de grado). Ambato. Ecuador. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis-116%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20371.pdf>

Sánchez. 2019. Induction of somatic embryogenesis from foliar explants in three varieties of coffee: (Article scientific). Lima. Perú. Disponible en http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172019000200012#:~:text=La%20embriog%C3%A9nesis%20som%C3%A1tica%20es%20un,iguales%20a%20la%20planta%20madre.

Sondahl. 1991. Embriogénesis somática directa a partir de explantes foliares de plántulas cultivadas *in vitro* de *Coffea arabica* L.: (Artículo científico). Yucatán. México. Disponible en https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/565/1/PCBP_D_Tesis_2001_Carlos_Fuentes_Cerda.pdf

Statistas. 2023. Consumo global de maíz 2015-2023. (Página Web). Disponible en <https://es.statista.com/estadisticas/1130846/evolucion-consumo-mundial-maiz/#:~:text=Consumo%20global%20de%20ma%C3%ADz%202015%2D2>

023&text=La%20campa%C3%B1a%202021%2F2022%20fue,cereal%20en%20todo%20el%20mundo.

Stewart. 1958. Evaluación del número de días y tiempo térmico a floración femenina de líneas endogámicas de maíz (*Zea mays* L.) con valor mejorado (VEC) desarrolladas en Argentina: (Artículo científico). Disponible en <http://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2017/12/corcuera.pdf>

ANEXOS

Superficies de maíz para ensilado Principales productores europeos

País	Area ('000 ha)
Alemania	2,029
Francia	1,434
Polonia	439
Italia	274
Países Bajos	228
República Checa	198
Belgica/Luxemburgo	182
Dinamarca	175
Reino Unido	147
España	96
Hungría	93
Austria	81
Eslovaquia	77

REF: Comité de maíz – Alemania, promedio de 2006 - 2011

Figure 1 Principales productores de maíz del mundo.

Ranking de los principales productores de maíz a nivel mundial en 2021 (en millones de toneladas)

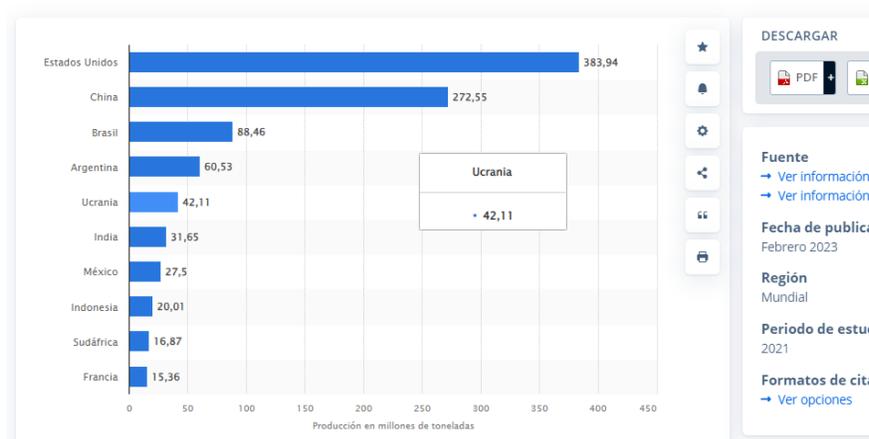


Figure 2 Ranking mundial de productores de grano de maíz del 2021.

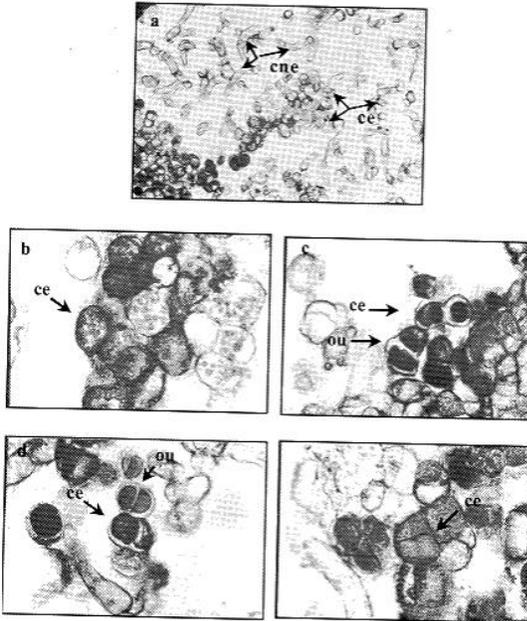


FIGURA 1. Callo embriogénico de onoto cultivado en medio para inducción de embriogénesis somática utilizando como explantes tecas de anteras; (a) células embriogénicas (ce) y no embriogénicas (cne); (b) ce claramente diferenciadas por su intensa coloración rojiza; (c, d, e) ce con gran actividad mitótica, observándose además el origen unicelular de los embriones (ou).

Figure 3 Callo Embrionario

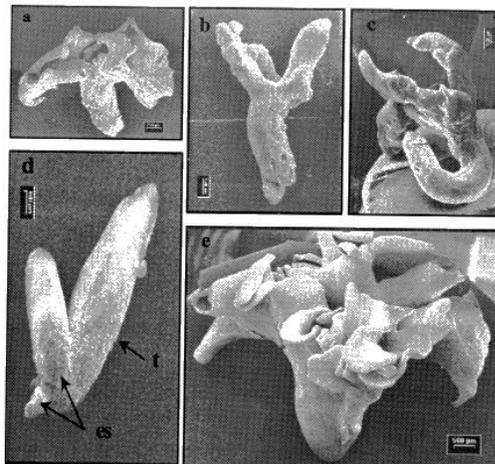
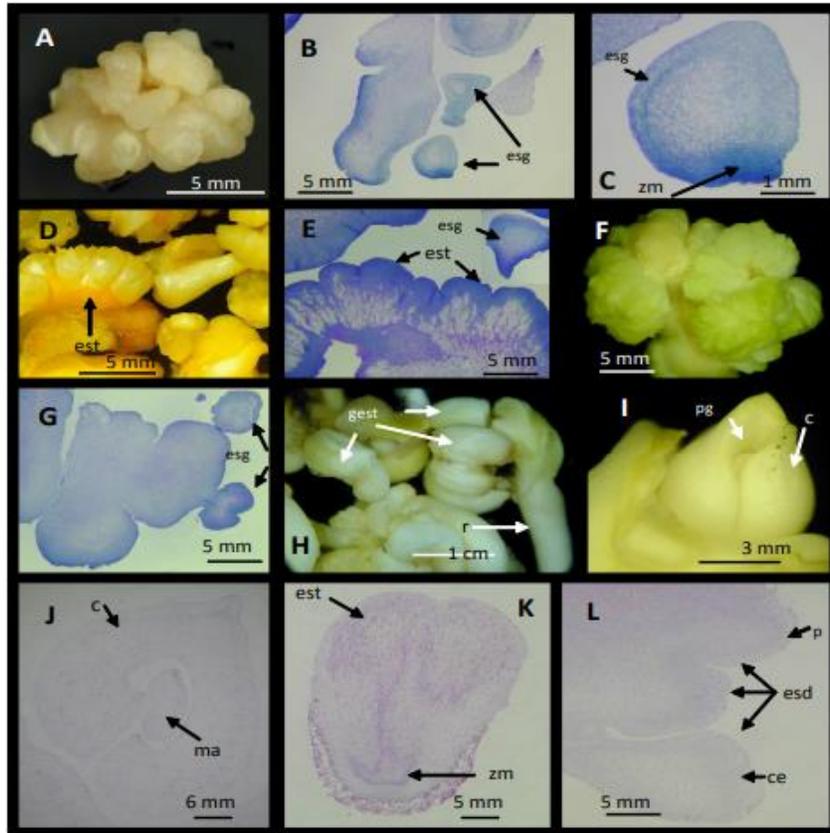


FIGURA 5. Embriones somáticos de onoto vistos en el microscopio electrónico de barrido (MEB); (a, b,) embrión cotiledonar con clara definición de ambos ejes; (c) embrión cotiledonar en estado avanzado de desarrollo; (d) embrión torpedo (t) con el desarrollo de embriones secundarios (es); (e) embrión anormal con múltiples cotiledones fusionados (arrepollado).

Figure 4 Callo embrionario en estado torpedo

Fig 1.
Mucílago
de



obtenido

mazorcas
cacao

Ilustración 1 Formación de embriones.

del



Figure 5 Propagación in vitro.