



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Efectos de fitoterapia in vitro en plátano clon Dominico en la provincia de El Oro.**

**GONZALES FAJARDO ERICK ELIAN  
INGENIERO AGRONOMO**

**LAZO LAZO XAVIER EDUARDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**Efectos de fitoterapia in vitro en plátano clon Dominico en la  
provincia de El Oro.**

**GONZALES FAJARDO ERICK ELIAN  
INGENIERO AGRONOMO**

**LAZO LAZO XAVIER EDUARDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Efectos de fitoterapia in vitro en plátano clon Dominico en la  
provincia de El Oro.**

**GONZALES FAJARDO ERICK ELIAN  
INGENIERO AGRONOMO**

**LAZO LAZO XAVIER EDUARDO  
INGENIERO AGRONOMO**

**MORENO HERRERA ALEXANDER**

**MACHALA  
2024**

# EFFECTOS DE FITOTERAPIA IN VITRO EN PLÁTANO CLON DOMINICO EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

*por Xavier Lazo*

---

**Fecha de entrega:** 12-ago-2024 09:36a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2431072876

**Nombre del archivo:** N\_VITRO\_EN\_PL\_TANO\_CLON\_DOMINICO\_EN\_LA\_PROVINCIA\_DE\_EL\_ORO..docx  
(12.12M)

**Total de palabras:** 14568

**Total de caracteres:** 84575

# EFFECTOS DE FITOTERAPIA IN VITRO EN PLÁTANO CLON DOMINICO EN LA PROVINCIA DE EL ORO.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.utmachala.edu.ec">repositorio.utmachala.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="http://repositorio.uaaan.mx">repositorio.uaaan.mx</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="http://aes.ucf.edu.cu">aes.ucf.edu.cu</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="http://pdffox.com">pdffox.com</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="http://publicaciones.poscosecha.com">publicaciones.poscosecha.com</a> Fuente de Internet	

<1 %

10

[ri.ues.edu.sv](http://ri.ues.edu.sv)

Fuente de Internet

<1 %

11

[dspace.ucuenca.edu.ec](http://dspace.ucuenca.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

12

[baixardoc.com](http://baixardoc.com)

Fuente de Internet

<1 %

13

[ri.uaemex.mx](http://ri.uaemex.mx)

Fuente de Internet

<1 %

14

[agriculturers.com](http://agriculturers.com)

Fuente de Internet

<1 %

15

[repositorio.unsch.edu.pe](http://repositorio.unsch.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

16

[repositorio.unal.edu.co](http://repositorio.unal.edu.co)

Fuente de Internet

<1 %

17

[tesis.unsm.edu.pe](http://tesis.unsm.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

18

[www.revistabionatura.com](http://www.revistabionatura.com)

Fuente de Internet

<1 %

19

[www.coursehero.com](http://www.coursehero.com)

Fuente de Internet

<1 %

20

[oldri.ues.edu.sv](http://oldri.ues.edu.sv)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 25 words

Excluir bibliografía Activo

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

Los que suscriben, GONZALES FAJARDO ERICK ELIAN y LAZO LAZO XAVIER EDUARDO, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Efectos de fitoterapia in vitro en plátano clon Dominico en la provincia de El Oro., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



GONZALES FAJARDO ERICK ELIAN

0707288197



LAZO LAZO XAVIER EDUARDO

0706612504

UNIVERSITAS  
MAGISTRO-  
RUM  
ET SCHOLAR-  
IUM

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.2. Cultivo in vitro .....	19
2.2.1. Preparación y Esterilización.....	19
2.3. Medio de Cultivo.....	20
2.4. Etapas del cultivo in vitro.....	22
2.5. Aplicaciones de la biotecnología en la agricultura.....	24
2.6. El Cultivo del Plátano ( <i>Musa paradisiaca</i> ).....	24
2.7. Taxonomía del plátano Clon Dominico .....	25
2.8. Morfología.....	25
2.9. Importancia económica y nutricional del plátano .....	27
2.10. Variedades y clones del plátano: enfoque en el clon Dominico .....	27
2.11. Principales enfermedades que afectan al plátano.....	29
2.12. Plagas comunes en el cultivo del plátano.....	29
2.13. Métodos tradicionales de control y sus limitaciones.....	31
2.14. Fitoterapia Aplicada al Cultivo del Plátano .....	32
2.15. Técnicas de fitoterapia en estudio In Vitro .....	33
2.16. Electroterapia .....	33

2.17. Aplicaciones de la Electroterapia en Fitoterapia.....	33
2.18. Métodos de Aplicación.....	34
2.19. Termoterapia .....	35
2.20. Principios de la termoterapia en Tejidos Vegetales .....	35
2.21. Aplicaciones de la termoterapia en Fitoterapia .....	35
2.22. Métodos de Aplicación de la Termoterapia .....	36
2.23. Hormonas vegetales .....	37
3. MATERIALES Y MÉTODOS .....	38
3.1. Ubicación del área de estudio.....	38
3.2. Área donde se obtuvo el material de estudio.....	39
3.3. Materiales .....	39
3.4. Experimento 1, Se determinó la efectividad de la fitoterapia en el establecimiento de vitroplantas de plátano clon Dominico.....	41
3.5. Variables a evaluar.....	43
3.6. Manejo del experimento.....	43
3.7. Experimento 2, se evaluó el efecto de la activación de yemas en la multiplicación de vitroplantas de plátano clon Dominico.....	53
3.8. Variables a evaluar.....	55
3.9. Manejo del experimento.....	55
3.8. Procedimiento estadístico.....	60

3.9. Descripción estadística de las variables y los tratamientos objeto de estudio .....	60
3.10. Verificación de los supuestos de modelo estadístico utilizado .....	61
3.11. Análisis de varianza (ANOVA) .....	62
3.12. Prueba no paramétrica.....	63
3.13. Histogramas y Q-Q Plots.....	64
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	65
4.1. Experimento 1 .....	65
4.2. Experimento 2 .....	71
5. Conclusiones .....	74
Referencias.....	75
ANEXOS .....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Medio de Cultivo Murashige &amp; Skoog</i> .....	20
<b>Tabla 2.</b> <i>Taxonomía</i> .....	25
<b>Tabla 3.</b> <i>Variedades de plátano Clon Dominicó</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b> <i>Tratamientos y especificaciones de temperatura y voltaje aplicados en los explantes.</i> .....	41
<b>Tabla 5.</b> <i>Descripción de las variables de estudio</i> .....	43
<b>Tabla 6.</b> <i>Descripción de Medio de Cultivo para establecimiento</i> .....	43
<b>Tabla 7.</b> <i>Tratamientos y especificaciones de cantidades utilizadas.</i> .....	53
<b>Tabla 8.</b> <i>Descripción de las variables de estudio.</i> .....	55
<b>Tabla 9.</b> <i>Descripción de Medio de Cultivo para Multiplicación.</i> .....	55
<b>Tabla 10.</b> <i>Resultados del p-valor de la aplicación de fitoterapia en un medio de cultivo de establecimiento para plátano clon Dominicó.</i> .....	65
<b>Tabla 11.</b> <i>Comportamiento de las yemas meristemáticas con respecto a las técnicas de fitoterapia in vitro (Electroterapia, Termoterapia, Electroterapia + Termoterapia, Testigo) a los 3, 10 y 21 días.</i> .....	67
<b>Tabla 12.</b> <i>Efecto de diferentes concentraciones de BAP en la inducción de brotes de plátano clon dominico in vitro.</i> .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Ubicación del área experimental</i> .....	38
<b>Figura 2.</b> <i>Área de extracción del material de estudio (cormo)</i> .....	39
<i>Nota. Bactericida (Cloranfenicol) como método de desinfección en ápices meristemáticos. (Morales, 2023)</i> .....	44
<b>Figura 3.</b> <i>Elaboración del medio de cultivo; A) Preparación de las soluciones para el medio de cultivo, B) Autoclavado, C) Almacenamiento del medio de cultivo en cámara de oscuridad</i> .....	44
<b>Figura 4.</b> <i>Selección del material de estudio; A) Extracción del hijuelo, B) Limpieza del material de estudio, C) Material de estudio listos para desinfección y corte.</i> .....	45
<b>Figura 5.</b> <i>Corte y desinfección del material de estudio; A) Corte y reducción del hijuelo, B) Desinfección del material de estudio.</i> .....	46
<b>Figura 6.</b> <i>Aplicación de Electroterapia a los explantes de plátano Clon Dominico.</i> .....	47
<b>Figura 7.</b> <i>Aplicación de termoterapia; A) Colocación de explantes en baño María por agitación, B) Aplicación de Termoterapia durante 15 min.</i> .....	48
<b>Figura 8.</b> <i>Segunda desinfección y siembra del material de estudio. A) Desinfección de los explantes, B) Agitación homogénea de la solución de desinfección en los explantes, C) Corte uniforme, D) Siembra de los explantes.</i> .....	49
<b>Figura 9.</b> <i>Toma de datos del T0 y variables. A) Explante sin contaminación, B) Explante contaminado por hongos, C) Explante por fenolización y contaminación por hongos</i> .....	50

<b>Figura 10.</b> Toma de datos de T1 y variables. A) Explantes sin contaminación, B) Explante con una leve oxidación, C) Explante sin contaminación por agentes patógenos pero una leve fenolización.....	51
<b>Figura 11.</b> Toma de datos del T2 y variables. A) Explante sano, B) Explante por contaminación por hongos, C) Explante contaminado por hongos y yema activa. ....	52
<b>Figura 12.</b> Toma de datos de T3 y variables. A) Explantes sano, B) Explante con pigmentación verde, C) Explante con su yema activa y libre de agentes patógenos. ....	53
<b>Figura 13.</b> Elaboración de medio de cultivo de multiplicación. A) Disolución de de los componentes en agua destilada estéril a 600 ml, B) Distribución de la solución a 30 ml en frascos estériles, C) sellar para auto clavar y guardar en una cámara de temperatura controlada. ....	56
<b>Figura 14.</b> Desinfección de materiales en autoclave a 121°C. ....	57
<b>Figura 15.</b> Siembra de explantes. A) selección de explantes, B) Transferencia de explante a un medio de cultivo estéril, C) Siembra del explante, D) frascos esterilizados y etiquetados según sus tratamientos. ....	58
<b>Figura 16.</b> Desarrollo inicial de yemas apicales. A) Presencia de yema apical, B) Totipotencia del explante, C) Limpieza del explante para observar la base de la yema apical. .	59
<b>Figura 17.</b> Tipo de brote III según el método de Roels.....	60
<b>Figura 18.</b> Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 3 días del establecimiento.	70
<b>Figura 19.</b> Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 10 días del establecimiento.	70
<b>Figura 20.</b> Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 21 días del establecimiento.	71

**Figura 21.** *Porcentaje de activación de yemas meristemáticas.* ..... 73

**Figura 22.** *Coeficiente de multiplicación de T0-T4.* ..... 73

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi familia, quienes han sido mi fortaleza y refugio en los momentos más difíciles. Gracias por confiar en mí y estar a mi lado en cada etapa de mi vida; ustedes son la base sobre la que se construyen mis sueños y logros. A mis padres, por sus sacrificios y enseñanzas; a mis hermanos, por su apoyo y comprensión, este logro les pertenece tanto a ustedes como a mí.

La presente investigación está también dedicada a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por proporcionarme las herramientas y conocimientos necesarios para alcanzar este objetivo. A los profesores, por su dedicación y compromiso en la formación de profesionales competentes y abrirme las puertas a un mundo lleno de posibilidades e inspirarme a contribuir al desarrollo del sector agronómico.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer A Dios,

Por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Gracias por darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para alcanzar este logro.

A mi mamá,

Por su amor incondicional, su paciencia infinita y su constante apoyo. Tus sacrificios y enseñanzas han sido mi inspiración y mi fuerza. Este logro es un reflejo de todo lo que has hecho por mí.

A mi papá,

Por su firmeza y sabiduría, y por enseñarme el valor del trabajo duro y la dedicación. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado, brindándome tu apoyo y consejo en cada momento.

A mis familiares,

Por ser mi red de apoyo y por acompañarme en esta travesía. Sus palabras de aliento y su cariño han sido esenciales para que yo pueda llegar hasta aquí. Este logro es también de ustedes, por todo lo que han hecho para que mis sueños se hagan realidad.

# **EFFECTOS DE FITOTERAPIA IN VITRO EN PLÁTANO CLON DOMINICO EN LA PROVINCIA DE EL ORO.**

## **Autores:**

Erick Elian Gonzales Fajardo

Xavier Eduardo Lazo Lazo

**Tutor: PhD.** Alexander Moreno Herrera

## **Resumen**

En la tesis "Efectos de fitoterapia in vitro en plátano clon Dominico en la provincia de El Oro," se realizaron dos experimentos clave para evaluar la efectividad de las técnicas de fitoterapia, específicamente la electroterapia y la termoterapia, en el establecimiento y multiplicación de vitroplantas de plátano clon Dominico.

El primer experimento se centró en determinar la efectividad de la fitoterapia en el establecimiento de vitroplantas de plátano clon Dominico. Se implementó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos: un control sin tratamiento, uno con electroterapia (aplicación de corriente eléctrica de 11 voltios), otro con termoterapia (inmersión en agua a 33°C) y un tratamiento combinado de electroterapia y termoterapia. Cada tratamiento se aplicó a explantes obtenidos de cormos de plátano, que fueron previamente desinfectados y preparados en un medio de cultivo Murashige y Skoog modificado.

El objetivo era evaluar la respuesta de los explantes en términos de contaminación por hongos y bacterias, fenolización, y activación de yemas. Los resultados mostraron que la combinación de electroterapia y termoterapia redujo significativamente la contaminación

microbiana y mejoró la activación de yemas, lo cual sugiere que esta combinación es efectiva para el establecimiento in vitro.

El segundo experimento se enfocó en evaluar el efecto de la activación de yemas en la multiplicación de vitroplantas mediante la aplicación de los mismos tratamientos de fitoterapia utilizados en el primer experimento. La multiplicación se realizó en un medio de cultivo enriquecido con hormonas de crecimiento como BAP (6-bencilaminopurina) y AIA (ácido indolacético) para fomentar la proliferación de brotes.

Durante el experimento, se midieron variables como el número de brotes por explante y la longitud promedio de los brotes. Los tratamientos de electroterapia y termoterapia, tanto de forma individual como combinada, mostraron un incremento significativo en la tasa de multiplicación y en la longitud de los brotes comparado con el control. Especialmente, la combinación de ambas técnicas promovió el desarrollo de más brotes y de mayor tamaño, destacando su eficacia para la multiplicación de vitroplantas de plátano.

Los resultados de ambos experimentos indicaron que la combinación de electroterapia y termoterapia es una técnica efectiva para mejorar tanto el establecimiento como la multiplicación de vitroplantas de plátano clon Dominico. Estas técnicas de fitoterapia representan una alternativa prometedora para la micropropagación de plátanos, contribuyendo a la producción de plantas sanas y de alta calidad para la agricultura en la región de El Oro.

**Palabras clave:** Fitoterapia, electroterapia, termoterapia, establecimiento, multiplicación.

## **Abstract**

In the thesis “Effects of in vitro phytotherapy on plantain clone Dominico in the province of El Oro,” two key experiments were conducted to evaluate the effectiveness of phytotherapy techniques, specifically electrotherapy and thermotherapy, in the establishment and multiplication of plantain clone Dominico vitroplants.

The first experiment focused on determining the effectiveness of phytotherapy in the establishment of Dominico plantain vitroplants. A completely randomized design with four treatments was implemented: a control with no treatment, one with electrotherapy (application of 11 volt electric current), one with thermotherapy (immersion in water at 33°C) and a combined treatment of electrotherapy and thermotherapy. Each treatment was applied to explants obtained from plantain corms, which were previously disinfected and prepared in a modified Murashige and Skoog culture medium.

The objective was to evaluate the response of the explants in terms of fungal and bacterial contamination, phenolization, and bud activation. The results showed that the combination of electrotherapy and thermotherapy significantly reduced microbial contamination and improved bud activation, suggesting that this combination is effective for in vitro establishment.

The second experiment focused on evaluating the effect of bud activation on the multiplication of vitroplants by applying the same phytotherapy treatments used in the first experiment. The multiplication was carried out in a culture medium enriched with growth hormones such as BAP (6-benzylaminopurine) and AIA (indolacetic acid) to promote shoot proliferation.

During the experiment, variables such as number of shoots per explant and average shoot length were measured. The electrotherapy and thermotherapy treatments, both individually and combined, showed a significant increase in multiplication rate and shoot length compared to the control. Especially, the combination of both techniques promoted the development of more and larger shoots, highlighting their efficacy for the multiplication of banana vitroplants.

The results of both experiments indicated that the combination of electrotherapy and thermotherapy is an effective technique to improve both the establishment and multiplication of plantain vitroplants clone Dominico. These phytotherapy techniques represent a promising alternative for banana micropropagation, contributing to the production of healthy and high quality plants for agriculture in the El Oro region.

**Key words:** Phytotherapy, electrotherapy, thermotherapy, establishment, multiplication.

## INTRODUCCIÓN

El plátano clon Dominico, perteneciente al grupo AAB y clasificado como una variedad Plantain, es un triploide originado a partir de dos diploides silvestres de las especies parentales de la sección Eumusa dentro del género Musa, específicamente Musa Acuminata (AA) y Musa Balbisiana (BB). Su relevancia radica en su contribución a la seguridad alimentaria, lo que ha motivado investigaciones a nivel mundial para mejorar y aplicar nuevas técnicas que impulsen de manera sostenible el aumento de la producción (Camayo, 2015).

El plátano, para Ecuador, constituye un sector de exportación crucial. Este cultivo se centra principalmente en países tropicales, donde se desarrolla en parcelas de tamaño reducido (menos de 20 hectáreas), resulta ser un componente fundamental de la economía campesina regional, siendo considerado como un cultivo de subsistencia por los pequeños agricultores (Ordoñez et al., 2019). En las plantaciones familiares de países tropicales, el banano se ha propagado tradicionalmente por hijos y rizomas. Desde 1985, las explotaciones comerciales, especialmente las de exportación, han optado principalmente por plantas de cultivo in vitro. Aunque esta técnica es costosa y compleja, ha ganado popularidad en regiones subtropicales y mediterráneas, pero su uso en Latinoamérica sigue siendo limitado. (Galan et al., 2018).

Según FAOSTAT (2022), Ecuador produce 857,561.89 toneladas de (Verde) y bananos para cocinar, sobre una superficie de 114526 ha, lo que equivale al 1.942% de la producción mundial en el año 2022.

El cultivo in vitro de plátano posibilita la regeneración de plantas mediante la aplicación de métodos y técnicas para sanear los explantes, siendo crucial priorizar la etapa de selección y

desinfección del material vegetativo, así como llevar a cabo una exhaustiva investigación en micropropagación para optimizar el proceso de multiplicación y garantizar la sanidad del cultivo, ya que esto facilita la obtención de un mayor número de brotes por meristemo y, por ende, plántulas saludables con características óptimas para la producción en campo (Carrión Paredes, 2020).

A través del uso de corriente eléctrica, los explantes muestran un vigoroso crecimiento de los tejidos, lo que constituye un paso fundamental en el proceso de propagación. Esto permite mejorar la sanidad y vigorización de las plantas, ya que la falta de material certificado para la siembra está causando una serie de inconvenientes, con diferentes agentes bióticos (bacterias, hongos o virus) representando amenazas constantes y en casos severos, esto puede llevar incluso a la muerte de la planta (García et al., 2018).

Para la obtención de semilla certificada, es crucial llevar a cabo la conservación, manejo y limpieza de materiales libres de virus. Para lograrlo, se emplean diversas técnicas y alternativas, como el cultivo de meristemos, tratamiento de calor, tratamiento con bajas temperaturas, quimioterapia, electroterapia, entre otras. Estas prácticas se implementan con el fin de reducir la incidencia de enfermedades ocasionadas por virus (Rogel Millán, 2014).

El artículo de Wang et al. (2018) publicado en *Plant Methods* se examinan los métodos in vitro basados en termoterapia para eliminar virus en plantas, una práctica clave para controlar enfermedades virales, introducir nuevos cultivares y conservar germoplasma vegetal. La termoterapia, combinada con técnicas como el cultivo de punta de brote, quimioterapia, micrografía y crioterapia, ha mostrado eficacia en la erradicación de virus en cultivos de alto valor económico.

El estudio realizado por AlMaarri et al., 2012 evalúa la eficacia de diferentes terapias para la eliminación de virosis en plantas de papa que incluyen la meristemática, la termoterapia, la quimioterapia y la electroterapia, concluyendo que la electroterapia es la técnica más efectiva para eliminar el PVY que es uno de los virus más incidentes de plantas de papa, siendo simple, rápida, de bajo costo y más efectiva que otras técnicas. Este método puede ser útil para producir germoplasma libre de virus o semillas nucleares en plantas de papa.

Basándose en la investigación realizada por Osorio et al., (2019) sobre la optimización de protocolos de micropropagación para plátanos libres de enfermedades, mediante la aplicación de termoterapia a diversas temperaturas y duraciones, demuestra que esta técnica es fundamental en la fitoterapia para la eliminación de patógenos en tejidos vegetales. La efectividad de la termoterapia se incrementa al combinarla con fitohormonas como BAP y AIA, lo que potencia la formación de brotes en los meristemos apicales.

El uso de electroterapia implica el uso de corrientes eléctricas bajo condiciones adecuadas para su germinación permite estimular procesos fisiológicos en las plantas, mejorando su crecimiento y desarrollo, así como lo demuestra la investigación realizada por (Li et al., 2019) que explora los efectos de la estimulación eléctrica en la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas y la mejora de la termotolerancia.

La micropropagación in vitro, a través del cultivo de meristemos apicales en condiciones controladas, es un método eficiente y seguro para producir plantas genéticamente uniformes. Se utilizan medios de cultivo enriquecidos con nutrientes y reguladores de crecimiento, como auxinas y citoquininas, fundamentales para el desarrollo de los tejidos vegetales. (Gálvez & Elizalde, 2021).

En la revisión de literatura realizada por Valle Torres (2021), muestra que multiplicación in vitro del plátano (*Musa × paradisiaca* L.) es esencial para la producción de plantas sanas y con características uniformes. Este método de propagación se realiza en un entorno controlado, utilizando medios de cultivo enriquecidos con reguladores de crecimiento como las citoquininas, especialmente la 6-bencilaminopurina (BAP), son fundamentales en este proceso, ya que inducen la formación de brotes, logrando una alta tasa de multiplicación.

La multiplicación in vitro de plátano y banano es esencial en biotecnología agrícola para producir plantas uniformes y sanas. Utiliza meristemas cultivados con hormonas que promueven el crecimiento celular y la formación de brotes, siendo clave la combinación adecuada de estas hormonas para asegurar la calidad del material vegetal.(Guerrero Guerrero & Guevara Arrieta, 2022).

En este contexto, el presente estudio se propone investigar los efectos de la aplicación de electroterapia y termoterapia in vitro en plantas de plátano, evaluando parámetros de desarrollo y resistencia a contaminación. Los resultados esperados podrían ofrecer nuevas herramientas para el manejo fitosanitario y agronómico de este cultivo, contribuyendo al avance de la agricultura moderna y sostenible.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Valorar el efecto de la calidad en vitroplantas mediante técnicas de fitoterapia en plátano clon Dominico para su disponibilidad en la provincia de El Oro.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la efectividad de fitoterapia en el establecimiento de vitroplantas de plátano clon Dominico.
- Evaluar el efecto de la activación de yemas en la multiplicación de vitroplantas de plátano clon Dominico.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Biotecnología Vegetal**

La biotecnología vegetal permite transferir información genética de manera precisa y controlada para desarrollar variedades de plantas con características específicas deseadas, evitando las no deseadas, estas nuevas variedades son más resistentes a insectos, enfermedades y malas hierbas, mejorando además la calidad y valor nutritivo de los cultivos. (Indacochea et al., 2020). En el cultivo de tejidos, las técnicas y condiciones de incubación in vitro dependen del tipo de explante y sistema de cultivo, requiriendo condiciones controladas, asépticas y la manipulación genética, que integra la biología molecular y celular con las prácticas agrícolas tradicionales, es crucial para la agricultura moderna, permitiendo crear nuevas variedades y técnicas de multiplicación (Indacochea et al., 2020).

### **2.2. Cultivo in vitro**

El cultivo in vitro se basa en el concepto de la totipotencia celular, que es la capacidad de una célula vegetal para regenerar una planta completa. "La totipotencia celular permite que una célula aislada, se divida y se diferencie nuevamente para formar una planta entera" (Thorpe, 2007). Para lograrlo, se requieren medios de cultivo específicos que contengan nutrientes, vitaminas, hormonas y gelificantes necesarios para el desarrollo de tejidos.

#### **2.2.1. Preparación y Esterilización**

La preparación y esterilización de los materiales y medios de cultivo son pasos críticos en el proceso de cultivo in vitro. "El éxito del cultivo in vitro depende en gran medida de la eliminación de contaminantes microbianos, lo que se logra mediante el uso de técnicas de esterilización rigurosas" (George et al., 2008). La esterilización y el manejo aséptico son

componentes fundamentales en el proceso de cultivo in vitro. Es crucial que todos los materiales, incluyendo los medios de cultivo, instrumentos y contenedores, sean esterilizados para evitar la contaminación microbiana. Por lo general, la esterilización se realiza mediante autoclave a 121°C durante 15-20 minutos (Ikenganyia et al., 2017).

### **2.2.2. Requerimientos ambientales**

El cultivo in vitro necesita condiciones ambientales y nutricionales específicas para el crecimiento óptimo de las plantas. Los factores esenciales abarcan temperatura, luz y humedad. Normalmente, la temperatura se mantiene entre 20-25°C, con un fotoperiodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad (Van Zelm et al., 2020). Las técnicas de cultivo in vitro han transformado la biotecnología vegetal, proporcionando una herramienta versátil para la propagación masiva de plantas y la investigación genética (Martínez et al., 2019).

## **2.3. Medio de Cultivo**

### **2.3.1. Composición del Medio**

El medio de cultivo más utilizado en el cultivo in vitro es el medio Murashige y Skoog (MS). Este medio incluye una mezcla equilibrada de sales minerales, vitaminas y carbohidratos, proporcionando un entorno adecuado para el crecimiento y desarrollo de las plantas. A continuación, se muestra la tabla 1 con la composición típica del medio MS:

**Tabla 1.** *Medio de Cultivo Murashige & Skoog*

<b>Componentes</b>	<b>Concentración</b>
<b>Macronutrientes</b>	<b>(mg/l)</b>

Nitrato de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )	1650
Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ )	1900
Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	440
Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	170
Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	370
Micronutrientes	<b>(mg/l)</b>
Sulfato de hierro ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	27,8
EDTA férrico sódico	37,3
Sulfato de manganeso ( $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	22,3
Ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ )	6,2
Yoduro de potasio (KI)	0,83
Molibdato de sodio ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	0,25
Sulfato de zinc ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ )	8,6
Cloruro de cobalto ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	0,025
<b>Vitaminas y compuestos orgánicos</b>	<b>(mg/l)</b>
Mio-inositol	100
Ácido nicotínico	0,5
Piridoxina HCl	0,5

---

Tiamina HCl	0,1
Glicina	2
Fuente de carbono	<b>g/l</b>
Sacarosa	30
Ajuste de pH	<b>pH</b>
El pH del medio se ajusta	5,7
Agentes de solidificación (si es necesario)	<b>(mg/l)</b>
Gellan Gun	5000 mg/l

---

Fuente: (Murashige & Skoog, 1962).

En el cultivo in vitro se emplean varios tipos de medios de cultivo, cada uno diseñado para satisfacer las necesidades específicas de diferentes especies y tipos de cultivos. Además del medio MS, otros medios comúnmente utilizados son el medio de Gamborg (B5), el medio de White y el medio de Schenk y Hildebrandt (SH) (Rajoriya et al., 2018).

## **2.4. Etapas del cultivo in vitro**

### **2.4.1. Establecimiento**

En la etapa de establecimiento del cultivo in vitro, se seleccionan y preparan los explantes, que incluyen hojas, tallos, yemas o raíces. Estos explantes se desinfectan para eliminar microorganismos que podrían contaminar el cultivo, un paso crucial para el éxito del proceso. Luego, los explantes desinfectados se colocan en un medio de cultivo adecuado que les proporciona los nutrientes necesarios para su crecimiento inicial (George et al., 2008).

### **2.4.2. Multiplicación**

La fase de multiplicación es esencial para producir plantas en gran cantidad a partir de un explante. En esta etapa, se emplean reguladores del crecimiento, como citoquininas, para inducir la formación de brotes y obtener numerosos clones genéticamente idénticos. ( George et al., 2008).

Otra investigación destaca el uso de citoquininas, como la 6-benzilaminopurina (BAP), que "estimula la organogénesis de brotes in vitro en diversas especies de *Eucalyptus*" (Glocke, Collins, & Sedgley, 2006)

### **2.4.3. Enraizamiento**

Durante la etapa de enraizamiento, los brotes obtenidos en la fase de multiplicación se trasladan a un medio de cultivo que favorece la formación de raíces. Este medio suele tener menos citoquininas y más auxinas para desarrollar un sistema radicular fuerte, crucial para la supervivencia en el suelo. (Murashige & Skoog, 1962).

### **2.4.4. Aclimatación**

Finalmente, en la etapa de aclimatación, las plantas enraizadas se trasladan del entorno controlado del laboratorio al suelo. Durante este proceso, deben adaptarse gradualmente a las condiciones naturales, como luz, temperatura y humedad. Una aclimatación exitosa es crucial para asegurar su viabilidad y crecimiento continuo fuera del entorno in vitro. (Thorpe, 2007).

### **2.4.5. Confirmación**

La confirmación en el cultivo in vitro asegura la fidelidad genética de las plantas regeneradas. Un estudio utilizó 12 cebadores de SSR para evaluar la estabilidad genética de plantas de *Cannabis sativa* micropropagadas, confirmando la homogeneidad genética con las plantas

madre y estos resultados respaldan la eficacia de los protocolos de cultivo para la propagación clonal masiva, evitando variaciones somaclonales que pueden comprometer la uniformidad de las plantas producidas (Loannidis et al., 2022).

## **2.5. Aplicaciones de la biotecnología en la agricultura**

La biotecnología ha transformado significativamente la agricultura moderna. Según García (2020), "la biotecnología ha permitido el desarrollo de cultivos más resistentes a plagas y enfermedades, mejorando así la productividad agrícola y reduciendo el uso de productos químicos". Esta tecnología incluye la modificación genética de plantas para conferirles características deseadas, como resistencia a herbicidas y tolerancia a condiciones climáticas adversas (Rodríguez & Sánchez, 2018). Además, Pérez et al. (2019) señalan que "las plantas transgénicas han mejorado significativamente la resistencia a condiciones adversas, lo que ha llevado a una producción agrícola más eficiente y ambientalmente amigable" .

## **2.6. El Cultivo del Plátano (*Musa paradisiaca*)**

El plátano, que pertenece al género *Musa*, es un cultivo vital en las regiones tropicales debido a su valor nutricional y económico. Martínez & Gómez (2020) describen que "el plátano se adapta a diversas condiciones agroclimáticas, aunque requiere un manejo adecuado para maximizar su productividad". Sin embargo, este cultivo enfrenta desafíos significativos, como la susceptibilidad a plagas y enfermedades.

Este cultivo enfrenta importantes desafíos, como la susceptibilidad a plagas y enfermedades, entre las cuales se destacan la Sigatoka negra y el Mal de Panamá. Para mitigar estos problemas, se han implementado prácticas de manejo integrado de plagas (MIP) y se han desarrollado variedades más resistentes mediante técnicas de hibridación y selección asistida por

marcadores moleculares. (Fernández et al.,2019). Además, la propagación del plátano mediante cultivo in vitro ha permitido la producción de plantas libres de enfermedades y con un alto vigor vegetativo, lo que ha mejorado considerablemente la calidad y productividad del cultivo (Vega et al.,2018). Estas estrategias han sido fundamentales para garantizar la sostenibilidad y viabilidad del cultivo del plátano en distintas regiones del mundo.

## 2.7. Taxonomía del plátano Clon Dominicico

**Tabla 2.** *Taxonomía.*

<b>Categoría Taxonómica</b>	<b>Nombre</b>
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Monocotyledoneae</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Musaceae</i>
Género	<i>Musa</i>
Especie	<i>Musa paradisiaca</i>

*Fuente:* Robinson & Galan Sáuco (2012).

## 2.8. Morfología

El plátano clon Dominicico (*Musa paradisiaca*) es una variedad significativa dentro de la familia *Musaceae*, reconocida por sus características morfológicas únicas. Estas particularidades

son esenciales tanto para su identificación como para su cultivo exitoso, distinguiéndolo de otros cultivares.

### **2.8.1. Pseudotallo**

"El pseudotallo del plátano clon Dominico es robusto, alcanzando alturas de entre 2.5 y 4 metros, compuesto por vainas foliares superpuestas, que le confieren una estructura firme y resistente" (Pérez & Martínez, 2020).

### **2.8.2. Rizoma**

El rizoma del plátano, estructura subterránea perenne, es clave para la propagación y supervivencia de la planta, actuando como reservorio de nutrientes y agua. Produce nuevos pseudotallos y contiene compuestos bioactivos con propiedades antifúngicas y antibacterianas, útiles en medicina y agricultura sostenible (Pérez & Martínez, 2020).

### **2.8.3. Hojas**

Gómez & Ramírez (2021) describen que "Las hojas del clon Dominico son grandes, con longitudes que pueden superar los 2 metros y anchos de aproximadamente 0.6 metros. Las láminas foliares son de color verde oscuro y poseen una vena central prominente".

### **2.8.4. Inflorescencia**

La inflorescencia del plátano clon Dominico es una estructura compleja denominada racimo, que surge de la parte superior del pseudotallo. Este racimo alberga varias manos (grupos de frutos), y cada mano contiene entre 10 y 20 frutos. La flor masculina, conocida como "corazón", cuelga al final del racimo y puede permanecer incluso después de que los frutos se han formado. (Hernández & López).

### **2.8.5. Frutos**

"Los frutos del clon Dominico son alargados y curvados, con longitudes que varían entre 15 y 25 centímetros. La piel del fruto es inicialmente verde y se torna amarilla a medida que madura" (Fernández & Torres, 2023).

### **2.8.6. Sistema Radicular**

Según Castillo & Vargas (2019) describen que "El sistema radicular del plátano clon Dominico es fibroso y se extiende ampliamente en el suelo, proporcionando una base estable para el pseudotallo y absorbiendo eficientemente los nutrientes necesarios para el crecimiento"

## **2.9. Importancia económica y nutricional del plátano**

El plátano es vital económica y nutricionalmente a nivel mundial, especialmente en regiones tropicales. Genera ingresos y empleo para millones en países productores, crucial para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. Un estudio reciente muestra que la producción mundial de plátano ha aumentado, destacando su importancia en el comercio internacional y su impacto positivo en economías locales (AGROSAVIA, 2021).

## **2.10. Variedades y clones del plátano: enfoque en el clon Dominico**

El plátano tiene diversas variedades y clones que se cultivan según las condiciones climáticas y las preferencias del mercado. Entre estas variedades, el clon Dominico se destaca por su adaptabilidad y calidad. Este clon es reconocido por su resistencia a enfermedades y su capacidad para producir frutos de alta calidad, lo que lo hace especialmente valioso para los agricultores y comerciantes. (AGROSAVIA, 2021). La diversidad genética del plátano permite a los productores seleccionar y cultivar clones específicos que mejor se adapten a sus necesidades y

condiciones locales, optimizando así la producción y la rentabilidad (FAO, 2021). A continuación, se presenta la tabla 3, donde se describen las variedades del plátano clon Dominicó.

**Tabla 3.** *Variedades de plátano Clon Dominicó*

<b>Variedad /Clon</b>	<b>Características Agronómicas</b>	<b>Resistencia a Enfermedades</b>	<b>Calidad de Fruto</b>
Gran Enano	Alta productividad, crecimiento vigoroso y adaptabilidad	Moderada resistencia a la Sigatoka negra.	Mediano-grande, sabor dulce.
Valery	Alta productividad y adaptabilidad.	Baja	Exportable, sabor dulce.
Hartón	Alta resistencia a la sequía, adaptabilidad en suelos pobres.	Alta	Grande
Dominico	Alta productividad Y adaptabilidad.	Alta	Excelente sabor y textura.
Dominico-Hartón	Crecimiento vigoroso, y excelente adaptación.	Alta	Mediano a grande

*Fuente:* AGROSAVIA (2021)

El clon Dominicó ha sido ampliamente estudiado debido a sus sobresalientes características agronómicas. Investigaciones han demostrado que este clon exhibe una excelente resistencia a plagas y enfermedades, lo que disminuye la necesidad de pesticidas y favorece prácticas agrícolas más sostenibles. Además, el clon Dominicó se distingue por su buen rendimiento y la alta calidad de sus frutos, lo que lo convierte en una opción preferida en numerosos mercados internacionales. (AGROSAVIA, 2021) .

## **2.11. Principales enfermedades que afectan al plátano**

### **2.11.1. Sigatoka Negra**

La Sigatoka negra, causada por el hongo *Mycosphaerella fijiensis*, es una enfermedad destructiva para el plátano clon Dominico, caracterizada por manchas necróticas en las hojas que reducen la fotosíntesis y el rendimiento del cultivo. Su control requiere la aplicación frecuente de fungicidas y prácticas culturales que disminuyan la humedad en el dosel foliar. (Stover & Simmonds, 2020).

### **2.11.2. Enfermedad de Panamá**

La enfermedad de Panamá, causada por el hongo del suelo *Fusarium oxysporum f. sp. cubense*, amenaza gravemente al plátano clon Dominico al invadir su sistema vascular, causando marchitamiento y muerte. La cepa TR4 es especialmente virulenta y ha provocado grandes pérdidas mundiales. Su manejo incluye variedades resistentes y prácticas de bioseguridad para evitar la propagación del patógeno (Dita et al., 2018).

### **2.11.3. Moko del Plátano**

El Moko del plátano, causado por la bacteria *Ralstonia solanacearum*, provoca marchitez rápida, colapso de hojas y pudrición de cormos. Se transmite principalmente mediante herramientas contaminadas, agua de riego y plantas infectadas. Su manejo implica eliminar plantas afectadas, desinfectar herramientas y usar sistemas de riego que eviten el contacto con suelo infectado. (García-Bastidas et al., 2020).

## **2.12. Plagas comunes en el cultivo del plátano**

### **2.12.1. Picudo Negro del Plátano**

El picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus*) es una de las plagas más dañinas que afecta al plátano clon Dominico. Este insecto perfora el pseudotallo y los cormos, debilitando la estructura de la planta y facilitando la entrada de patógenos secundarios. Las larvas del picudo se alimentan del tejido interno de la planta, lo que puede llevar a su muerte. El manejo de esta plaga incluye el uso de trampas de feromonas, la eliminación de restos vegetales infectados y la aplicación de insecticidas específicos. (Gold et al., 2018).

### **2.12.2. Nematodos**

Los nematodos, especialmente *Radopholus similis* y *Meloidogyne spp.*, constituyen una plaga significativa para el plátano clon Dominico. Estos organismos dañan las raíces de la planta, disminuyendo la absorción de agua y nutrientes, lo que debilita la planta y reduce la producción de frutos. El manejo de los nematodos incluye la rotación de cultivos, el uso de variedades resistentes y la aplicación de nematicidas biológicos y químicos. (Coyne et al., 2018).

### **2.12.3. Los trips del plátano**

Según Ramírez & Bautista (2019) mencionan que "Los trips del plátano (*Frankliniella spp.* y *Thrips palmi*) son insectos pequeños que se alimentan de la savia de las hojas y los frutos del plátano, causando deformaciones, manchas y reducción en la calidad del fruto".

### **2.12.4. Ácaro Rojo del Plátano**

El ácaro rojo del plátano (*Raoiella indica*) es una plaga emergente que afecta a los cultivos de plátano clon Dominico. Este ácaro se alimenta del envés de las hojas, provocando manchas cloróticas, reducción de la fotosíntesis y un debilitamiento general de la planta. La gestión del ácaro rojo implica el monitoreo constante de los cultivos, el uso de acaricidas y la implementación de prácticas de manejo integrado de plagas. (Carrillo et al., 2020)

## **2.13. Métodos tradicionales de control y sus limitaciones**

### **2.13.1. Uso de Pesticidas**

El uso de pesticidas químicos es un método tradicional común para controlar plagas y enfermedades en el plátano clon Dominico, combatiendo plagas como el picudo negro (*Cosmopolites sordidus*) y la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*). Sin embargo, su uso intensivo tiene limitaciones, incluyendo la resistencia de plagas, contaminación ambiental y riesgos para la salud humana. (Oerke & Dehne, 2018). Además, los residuos de pesticidas pueden perjudicar la calidad del fruto y restringir su exportación a mercados que tienen regulaciones estrictas sobre residuos químicos.

### **2.13.2. Prácticas Culturales**

Las prácticas culturales, como la rotación de cultivos y la eliminación de restos vegetales, son métodos tradicionales para manejar plagas y enfermedades en el plátano clon Dominico. Estas técnicas ayudan a reducir la incidencia de nematodos y otros patógenos del suelo. No obstante, su efectividad es limitada en grandes plantaciones debido a la dificultad de implementación a gran escala y la necesidad de supervisión constante (González et al., 2019). Además, estas prácticas requieren un conocimiento detallado del ciclo de vida de las plagas y enfermedades, conocimiento que no siempre está disponible para todos los agricultores.

### **2.13.3. Uso de Variedades Resistentes**

El uso de variedades resistentes es una estrategia tradicional para manejar plagas y enfermedades. En el plátano clon Dominico, se han desarrollado variedades con resistencia parcial a la enfermedad de Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense*) y la Sigatoka negra. Sin embargo, la resistencia genética no es siempre completa y los patógenos pueden adaptarse para superarla.

(Ploetz, 2015). Además, el desarrollo de nuevas variedades resistentes es un proceso costoso y largo, lo que limita su disponibilidad y adopción rápida por parte de los agricultores.

#### **2.13.4. Limitaciones Económicas y Sociales**

El control tradicional de plagas y enfermedades presenta limitaciones económicas y sociales. Los costos de los insumos químicos y la implementación de prácticas culturales pueden ser prohibitivos para los pequeños agricultores. Además, la falta de acceso a capacitación y recursos técnicos dificulta la adopción de métodos más sostenibles y eficientes. (Cerde et al., 2017). Estas limitaciones subrayan la necesidad de enfoques integrados y adaptados a las condiciones locales para el manejo de plagas y enfermedades en el plátano clon Dominico.

#### **2.14. Fitoterapia Aplicada al Cultivo del Plátano**

La fitoterapia en plantas ha evolucionado para incluir técnicas como la electroterapia y la termoterapia, que mejoran la salud y el crecimiento de las plantas y combaten patógenos. La electroterapia, mediante corrientes eléctricas de baja intensidad, promueve el crecimiento y la resistencia a enfermedades. Estudios recientes indican que esta técnica mejora la absorción de nutrientes y activa procesos metabólicos, resultando en plantas más vigorosas y resistentes a plagas y enfermedades. (Bhardwaj et al., 2021).

La termoterapia es una técnica efectiva para controlar patógenos en plantas mediante la aplicación de calor controlado, eliminando virus, bacterias y hongos sin dañar los tejidos vegetales. Esta técnica mejora la viabilidad y salud de plantas cultivadas in vitro. Investigaciones recientes han validado su eficacia en la desinfección de material vegetal, contribuyendo a la producción de plantas más saludables y libres de enfermedades. (Gracia et al., 2020).

## **2.15. Técnicas de fitoterapia en estudio In Vitro**

Helliot et al. 2004) concluye que “La aplicación de técnicas de fitoterapia como la electroterapia y la termoterapia en estudios in vitro de plátano son esenciales para producir plantas saludables y libres de patógenos”. Estas técnicas mejoran la calidad del material vegetal y optimizan la micropropagación y aclimatación, promoviendo prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

## **2.16. Electroterapia**

"La electroterapia en tejidos vegetales se basa en la aplicación de corrientes eléctricas controladas que inducen cambios fisiológicos y bioquímicos en las plantas, mejorando la absorción de nutrientes y activando mecanismos de defensa" (Bhardwaj et al., 2021).

## **2.17. Aplicaciones de la Electroterapia en Fitoterapia**

### **2.17.1. Estimulación del Crecimiento Vegetal**

La electroterapia ha sido empleada para acelerar el crecimiento de las plantas al mejorar la absorción de nutrientes y activar procesos metabólicos esenciales. Investigaciones han demostrado que la aplicación de corrientes eléctricas puede provocar un crecimiento más vigoroso en las plantas, lo cual es beneficioso para la agricultura comercial y la investigación botánica. (Singh et al., 2019).

### **2.17.2. Aumento de la Producción de Metabolitos Secundarios**

Según Aslam & Khan (2020) establecen que “La electroterapia puede aumentar la síntesis de metabolitos secundarios como alcaloides, flavonoides y terpenoides en las plantas, mejorando la calidad y eficacia de los extractos fitoterapéuticos al estimular rutas metabólicas específicas”.

### **2.17.3. Mejora en la Resistencia a Enfermedades**

La electroterapia induce respuestas defensivas en las plantas, aumentando su resistencia a patógenos y plagas. La aplicación de corrientes eléctricas estimula la producción de fitoalexinas y otros compuestos defensivos, mejorando la capacidad de las plantas para resistir infecciones, lo que es crucial para cultivos sostenibles. (Ghosh et al., 2018).

## **2.18. Métodos de Aplicación**

### **2.18.1. Electroestimulación Directa**

La electroestimulación directa consiste en aplicar electrodos a las raíces o tallos de las plantas, suministrando una corriente eléctrica controlada para estimular los tejidos vegetales. Este método es efectivo para mejorar la absorción de nutrientes y promover el crecimiento, y puede ajustarse fácilmente a diferentes tipos de plantas y condiciones de cultivo. (Yuan et al., 2019).

### **2.18.2. Electrohidroponía**

La electrohidroponía integra la electroterapia con sistemas hidropónicos, donde las soluciones nutritivas se ionizan antes de aplicarse a las plantas. Este método optimiza la eficiencia de la absorción de nutrientes y puede incrementar el rendimiento de los cultivos hidropónicos. La ionización de las soluciones nutritivas mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas. (Bhardwaj et al., 2021).

### **2.18.3. Electrocultivo**

El electrocultivo emplea campos eléctricos generados alrededor de las plantas para influir en su crecimiento sin contacto directo. Este método mejora el crecimiento general y se ha investigado para determinar el voltaje óptimo. Estudios indican que voltajes de 0,5 a 5 V/cm son

ideales para la mayoría de los cultivos. (Singh et al., 2019). En la etapa de establecimiento in vitro de plátano, se utilizan corrientes específicas de electroterapia para eliminar patógenos sin dañar los tejidos de los explantes Onofre et al., (2018) establece que “El uso de la corriente eléctrica influyo sobre el vigor y crecimiento de los tejidos sometidos a un voltaje de 15 v durante 20 minutos”.

### **2.19. Termoterapia**

La termoterapia en tejidos vegetales utiliza calor controlado para erradicar patógenos sin dañar gravemente las plantas. Esta técnica se basa en la mayor sensibilidad de los patógenos al calor comparada con los tejidos vegetales, permitiendo su eliminación mediante exposición a altas temperaturas durante tiempos específicos. (Onofre et al., 2018).

### **2.20. Principios de la termoterapia en Tejidos Vegetales**

En el estudio de la termoterapia realizado por Grondeau et al., (2011) indica que "Los principios de la termoterapia en tejidos vegetales se fundamentan en la aplicación de calor para erradicar patógenos, aprovechando la mayor sensibilidad térmica de estos en comparación con las células de la planta huésped"

### **2.21. Aplicaciones de la termoterapia en Fitoterapia**

#### **2.21.1. Eliminación de Patógenos en Cultivos de Tejidos**

"La termoterapia es efectiva en la eliminación de patógenos en cultivos de tejidos, asegurando la obtención de plantas libres de enfermedades y mejorando la eficiencia de la micropropagación" (Álvarez et al., 2016).

#### **2.21.2. Tratamiento de Semillas y Plántulas**

El tratamiento térmico de semillas y plántulas es una práctica habitual para controlar enfermedades. Al exponerlas a temperaturas controladas, se reduce significativamente la carga de patógenos sin perjudicar la germinación ni el crecimiento inicial. Este método es especialmente útil en agricultura y horticultura para prevenir la diseminación de patógenos. (Gómez & Cerdas, 2003).

### **2.21.3. Control de Enfermedades Virales**

La termoterapia, mediante la aplicación de calor controlado, es efectiva para inactivar virus en plantas sin dañar sus tejidos. Este método, eficaz en cultivos de frutas, hortalizas y plantas ornamentales, ofrece una alternativa a los tratamientos químicos. (Seguí et al., 2003).

## **2.22. Métodos de Aplicación de la Termoterapia**

Según Sandoval et al., (1991) menciona que "Diversos métodos de aplicación de la termoterapia, como baños de agua caliente, aire caliente, vapor y cámaras térmicas, ofrecen opciones según el tipo de planta y patógeno"

### **2.22.1. Baños de Agua Caliente**

En la etapa de establecimiento in vitro de plátano, Osorio Vega (2019) establece que "El tratamiento con baño maría a 33 °C durante 15 minutos resultó en la mayor cantidad de meristemas apicales asépticos, logrando un 0% de contaminación".

### **2.22.2. Cámaras de Calor**

La termoterapia en suelo implica el calentamiento del suelo para eliminar patógenos que afectan a las plantas. Este método puede utilizarse antes de la siembra para asegurar que el suelo

esté libre de organismos nocivos, mejorando así las condiciones de crecimiento para las plantas nuevas (Tsaniklidis et al., 2020).

### **2.22.3. Termoterapia en Suelo**

La termoterapia en suelo implica el calentamiento del suelo para eliminar patógenos que afectan a las plantas. Este método puede utilizarse antes de la siembra para asegurar que el suelo esté libre de organismos nocivos, mejorando así las condiciones de crecimiento para las plantas nuevas (Onofre et al., 2018).

## **2.23. Hormonas vegetales**

### **2.23.1. La Benzilaminopurina (BAP)**

La benzilaminopurina (BAP), es una citoquinina sintética, se usa extensamente en la micropropagación de plantas, incluido el plátano. Investigaciones han demostrado que el BAP aumenta eficazmente la proliferación de brotes en concentraciones óptimas. En el cultivar 'Basrai', la adición de BAP al medio de cultivo incrementó significativamente el número de brotes por explante a  $4.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ . No obstante, concentraciones más altas, como  $8.0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , redujeron la proliferación debido a efectos adversos como necrosis. (Muhammad et al., 2007).

### **2.23.2. El ácido alfa-naftalenoacético (ANA)**

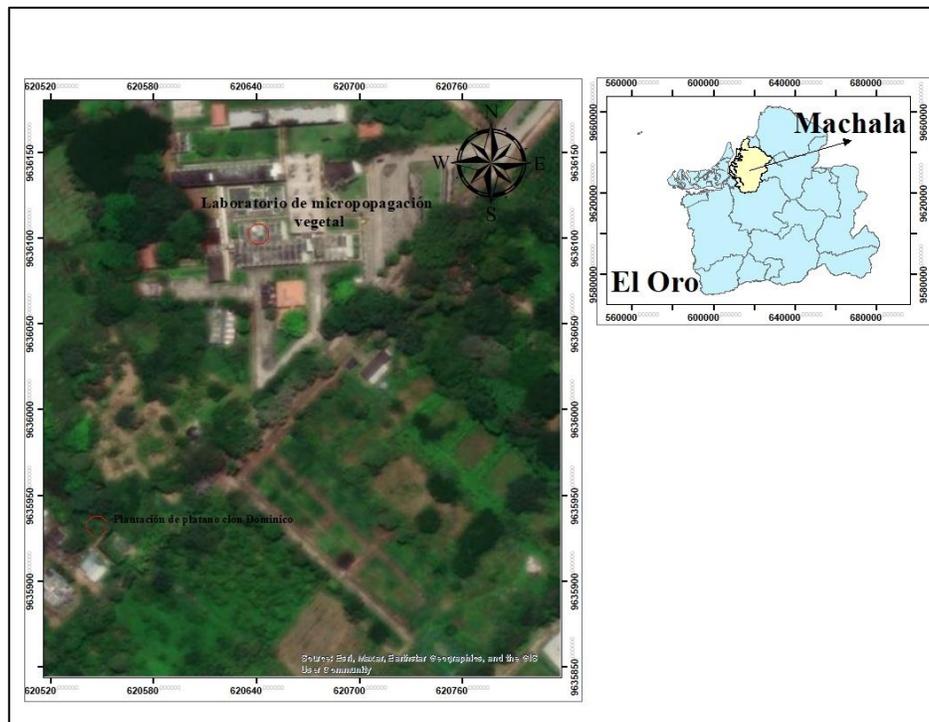
El ácido alfa-naftalenoacético (ANAA), es una auxina sintética, se usa para estimular la formación de raíces y callos en plantas. En el plátano, ANAA ha demostrado ser efectivo para mejorar el enraizamiento y la proliferación de raíces in vitro. Un estudio reveló que combinar ANAA con otras hormonas, como BAP, mejora significativamente el enraizamiento y desarrollo

de brotes. La adición de 1.0 mg·l<sup>-1</sup> de ANAA al medio de cultivo duplicó la respuesta de enraizamiento comparado con medios sin reguladores (Priyanka, 2020).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en el “Laboratorio de Micropropagación Vegetal”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala. Situada en la vía Machala - Pasaje, específicamente en la parroquia El Cambio del cantón Machala, en la provincia de El Oro, dentro de las coordenadas 3°17'29" de latitud Sur y 79°54'50" de longitud Oeste a una altitud de 12 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 1.** *Ubicación del área experimental*

### 3.2. Área donde se obtuvo el material de estudio

El material de estudio (cormo) se extrajo de la “Plantación de plátano Clon dominico ”, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala., dentro de las coordenadas 3°17'35" de latitud Sur y 79°54'54" de longitud Oeste a una altitud de 12 metros sobre el nivel del mar.



**Figura 2.** Área de extracción del material de estudio (cormo)

### 3.3. Materiales

- Cormos de plátano Clon dominico
- Palines
- Machete
- Probeta
- Vasos de precipitación
- Bisturí
- Guantes y mascarillas
- mandil

### **3.3.1. Equipos**

- Autoclave
- Cabina de flujo laminar
- Estufa de laboratorio
- Agitador magnético de laboratorio
- Medidor de pH digital
- Balanza analítica
- Micropipeta
- Baño María con agitación
- Regulador de voltaje

### **3.3.2. Reactivos y Soluciones**

- Hormonas: BAP y ANA
- Ácido cítrico
- Acido ascórbico
- Mio-inositol
- Gellan Gun
- Sacarosa
- Agua destilada
- Vitaminas
- Soluciones madre: A, B, C, D, E.
- Cloranfenicol
- Hipoclorito de sodio 10%

- Formaldehido 65%

### 3.3.3. Software

- SPSS versión 22 para análisis estadístico

## 3.4. Experimento 1, Se determinó la efectividad de la fitoterapia en el establecimiento de vitroplantas de plátano clon Dominico.

Para el experimento 1 se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con un único factor de estudio, que incluyó cuatro tratamientos, cada uno con tres unidades experimentales, y se realizaron cuatro repeticiones. Este diseño se manejó de manera homogénea, controlando factores como la temperatura y la luminosidad.

### 3.4.1. Factor de estudio y tratamientos

El factor de estudio utilizado fue la fitoterapia en el establecimiento in vitro de explantes de cormos de plátano del clon Dominico, el cual se dividió en los tratamientos T0, T1, T2 y T3.

**Tabla 4.** *Tratamientos y especificaciones de temperatura y voltaje aplicados en los explantes.*

Tratamientos	Identificación	Combinaciones (T. <sup>a</sup> y V)
Control	T0	0
Electroterapia	T1	11 V
Termoterapia	T2	33°C
Electroterapia + Termoterapia	T3	11V - 33°C

### 3.4.2. Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- $\gamma_{ij}$ : es la Variable aleatoria que representa la respuesta de la j-ésima unidad experimental asignada al i-ésimo tratamiento.

- $\mu$ : Media general
- $\tau_j$ : Efecto del tratamiento  $i$
- $\varepsilon_{ij}$ : Error aleatorio asociado a la observación  $\gamma_{ij}$

### 3.4.3. Características específicas del modelo

- Tratamientos: 4
- Replicas: 4
- Unidades experimentales (EU) por tratamiento: 3
- Total, de unidades experimentales (EU): 48 explantes

El diseño experimental se llevó a cabo en el laboratorio de micropropagación vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias bajo condiciones estériles, con ambiente y luminosidad controlados, seguido de la proliferación de los explantes en medios de cultivo especializados para el establecimiento de plantas.

### 3.5. Variables a evaluar.

Las variables dependientes a evaluar fueron de tipo observacional, como se muestra en la tabla.

**Tabla 5.** *Descripción de las variables de estudio*

<b>Variable</b>	<b>tipo</b>
Contaminación por hongo	Cualitativa dicotómica
Contaminación por bacteria	Cualitativa dicotómica
Fenolización	Cualitativa dicotómica
Yema activa	Cualitativa dicotómica

### 3.6. Manejo del experimento

#### 3.6.1. Medio de cultivo

El medio de cultivo que se empleo fue el (MS) de Murashige y Skoog descrito en 1962. A continuación, en la tabla 6 se describe la composición del medio de cultivo para establecimiento in vitro de plátano Clon dominico.

**Tabla 6.** *Descripción de Medio de Cultivo para establecimiento*

Descripción	Cantidad (mg/l – g/l)
Soluciones Madre: A, B, C, D, E	10 mg/l
Vitaminas	10 mg/l
Mio-inositol	100 mg/l
Ácido cítrico	100 mg/l
Ácido ascórbico	100 mg/l
Sacarosa	30 g /l
BAP	5 mg/l
AIA	4 mg/l
AGAR	3 g
Bactericida (Cloranfenicol)	500 mg/l
pH ajustado a	5,7

*Nota.* Se utilizó bactericida (Cloranfenicol) como método de desinfección en ápices meristemáticos. (Morales, 2023)

La cantidad de medio de cultivo de establecimiento se preparó para 1000 ml, el cual fue esterilizado a 121°C (15 psi) durante 25 minutos. Luego, se distribuyó en frascos de siembra con 30 ml cada uno como se observa en la figura. Esta preparación se almacenó en un lugar oscuro para evitar la pérdida de nutrientes del medio debido a la exposición a la luz.



### 3.6.2. Selección de plantas madre

Se seleccionaron plantas madre del plátano Clon Dominico que estaban saludables y libres de enfermedades. Los hijuelos se eligieron basándose en su vigor y tamaño, dentro del rango de 20 a 50 centímetros, para garantizar la calidad del material inicial. Posteriormente, utilizando una pala de jardinería, se separaron los hijuelos de la planta madre.



**Figura 4.** Selección del material de estudio; A) Extracción del hijuelo, B) Limpieza del material de estudio, C) Material de estudio listos para desinfección y corte.

### 3.6.3. Desinfección del material vegetal *ex vitro*

Los hijuelos se decapitaron a 15 cm de la base del corno y luego se desinfectaron con una solución de formol al 0.1% durante 3 minutos. A continuación, se realizaron cortes rectos en cada

lado para reducirlos a un tamaño de 5 cm, y posteriormente se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio (NaClO al 3%) durante 10 minutos. Este procedimiento fue seguido por varios enjuagues con agua destilada estéril para eliminar cualquier residuo de la solución desinfectante. Finalmente, los hijuelos se colocaron en frascos etiquetados con el tipo de tratamiento que se iba a aplicar, como se muestra en la figura 3.



**Figura 5.** Corte y desinfección del material de estudio; A) Corte y reducción del hijuelo, B) Desinfección del material de estudio.

#### **3.6.4. Aplicación de Electroterapia**

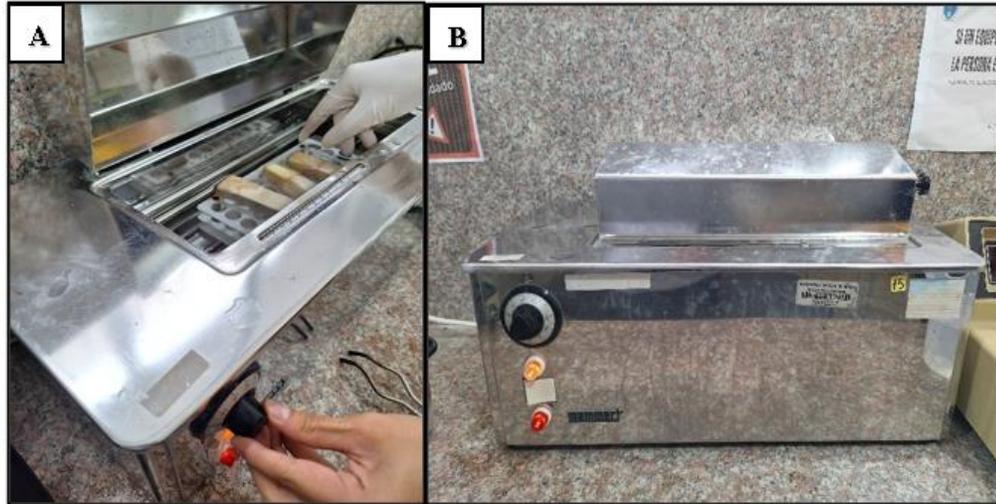
Se preparó el equipo de electroterapia conectándolo a un regulador de voltaje y se verificó que los electrodos estuvieran limpios y en buen estado. La configuración del equipo se ajustó para aplicar una corriente continua de 11 voltios, valor determinado previamente en experimentos piloto para garantizar la eficacia del tratamiento sin dañar los explantes. Como se muestra en la Figura 6, cada explante se colocó alrededor de los electrodos que recibieron el voltaje durante 20 minutos.



**Figura 6.** *Aplicación de Electroterapia a los explantes de plátano Clon Dominico.*

### **3.6.5. Aplicación de Termoterapia**

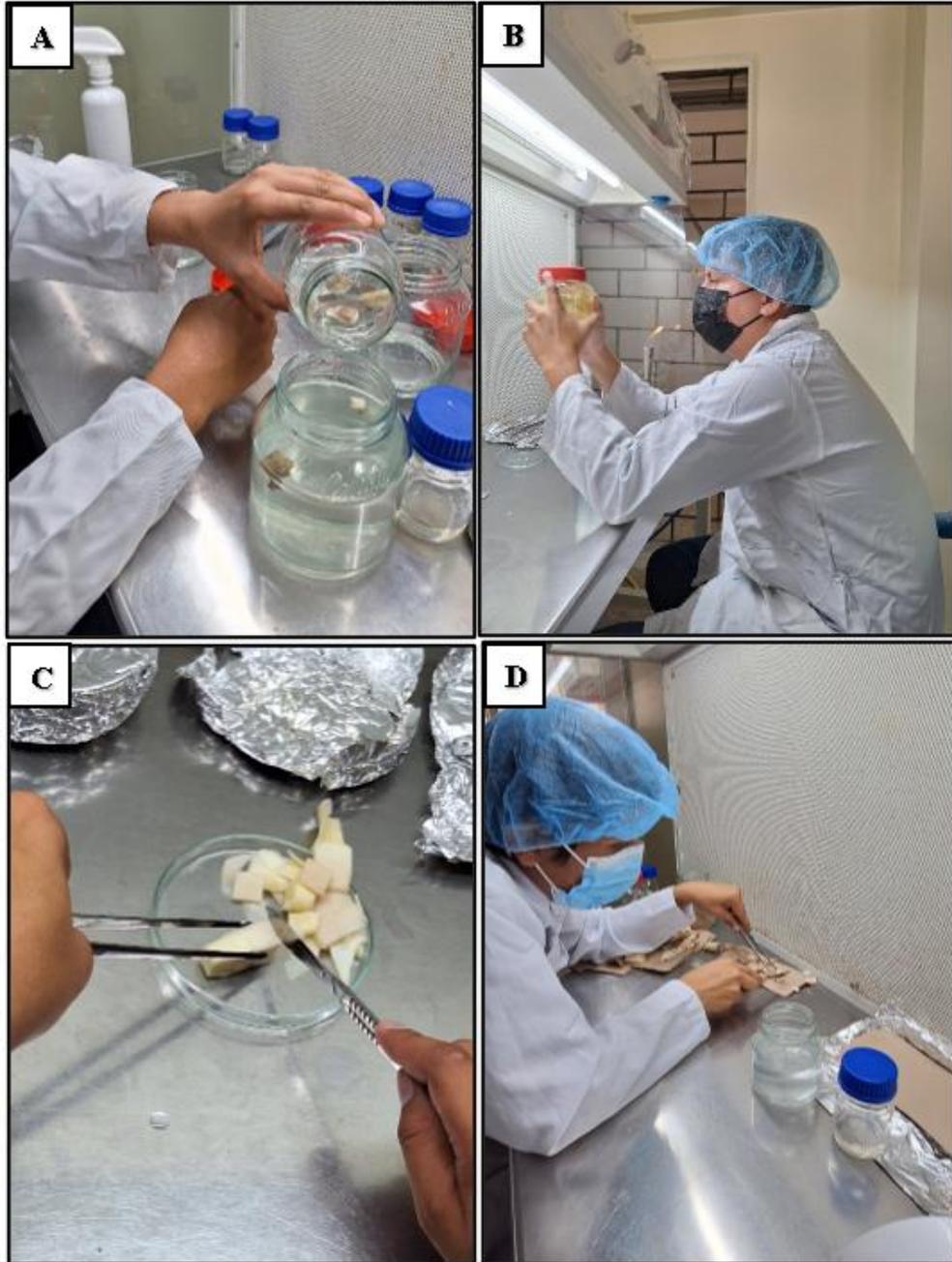
Para este proceso, se utilizó un equipo de baño maría con agitación. El tanque se llenó con 8 litros de agua destilada y se ajustó a una temperatura de 33°C. Los explantes se colocaron sobre una plataforma para evitar que se hundieran, y se mantuvieron en el baño maría durante 15 minutos, asegurando que permanecieran en la posición adecuada durante todo el período especificado.



**Figura 7.** *Aplicación de termoterapia; A) Colocación de explantes en baño María por agitación, B) Aplicación de Termoterapia durante 15 min.*

### **3.6.6. Segunda desinfección del material vegetal in vitro y Siembra**

Tras completar el proceso de fitoterapia en los explantes, se procedió a realizar un último paso de desinfección con hipoclorito de sodio ( $\text{NaClO}$  al 3%) durante 5 minutos. Después de este tratamiento, se efectuó el corte final de los explantes. Este corte se hizo en todas las caras, obteniendo dimensiones de 2,5 cm de largo y 2 cm de ancho. Luego, los explantes se insertaron cuidadosamente en el medio de cultivo preparado, asegurándose de que la base del explante estuviera en contacto directo con el medio para facilitar la absorción de nutrientes. Finalmente, se flameó la tapa del frasco para evitar cualquier contaminación por patógenos.

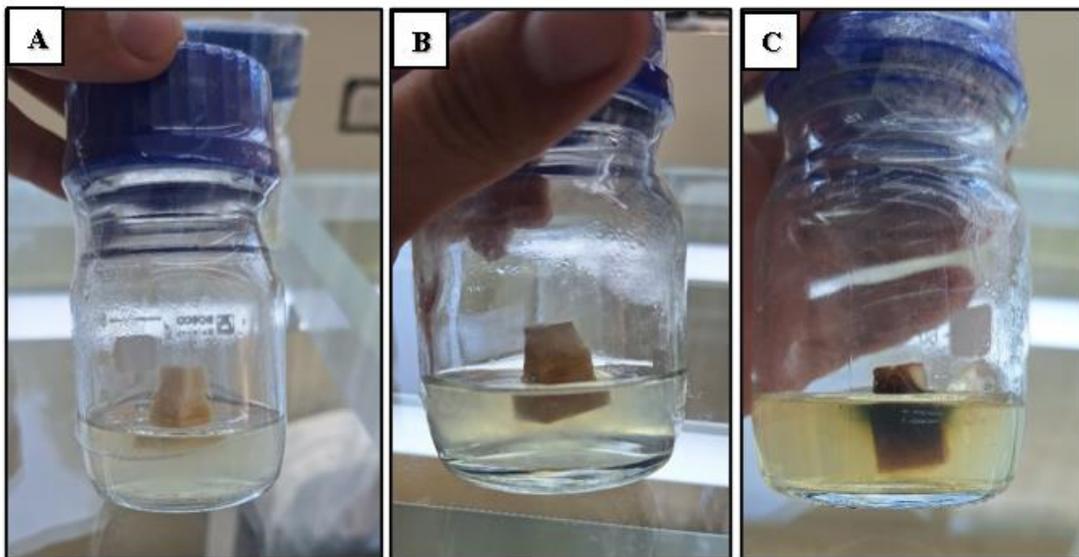


**Figura 8.** Segunda desinfección y siembra del material de estudio. A) Desinfección de los explantes, B) Agitación homogénea de la solución de desinfección en los explantes, C) Corte uniforme, D) Siembra de los explantes.

### 3.6.7. Recolección de datos

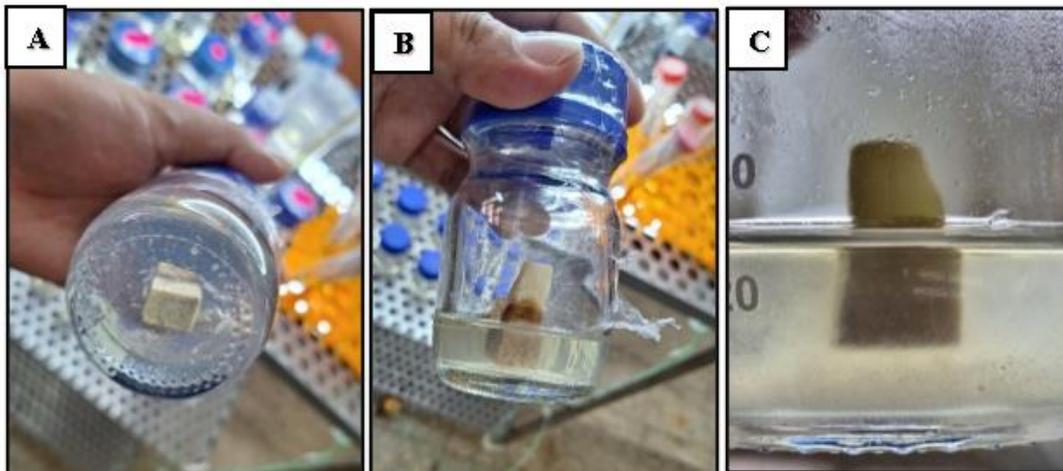
Durante la fase experimental, se recolectaron datos cualitativos de los explantes de plátano sometidos a diversos tratamientos, que incluyeron electroterapia, termoterapia, una combinación de electroterapia y termoterapia, además de un grupo testigo sin tratamiento. Los explantes fueron colocados en un medio de cultivo de establecimiento, y las observaciones y mediciones se llevaron a cabo en tres momentos específicos: a los 3, 10 y 21 días.

**Testigo:** A los 3 días de haber establecido los explantes en el medio de cultivo, se observó que no hubo contaminación por patógenos ni fenolización de los explantes. Al décimo día, la contaminación por hongos se hizo evidente en casi todas las repeticiones y se detectó fenolización en una yema. A los 21 días, el 80 % de las repeticiones presentaron fenolización y hubo un índice muy bajo de yemas activas.



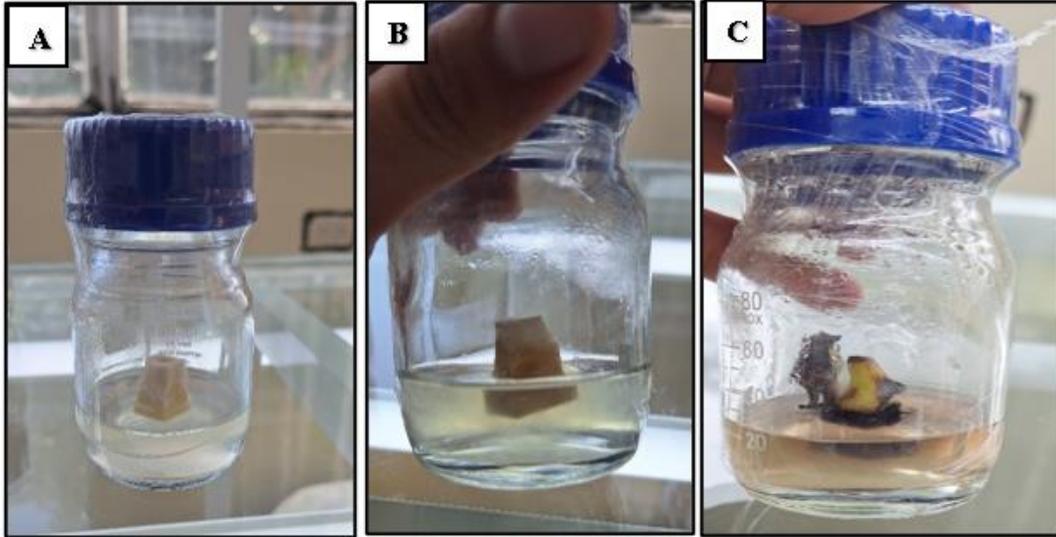
**Figura 9.** Toma de datos del T0 y variables. A) Explante sin contaminación, B) Explante contaminado por hongos, C) Explante por fenolización y contaminación por hongos.

**Termoterapia:** Durante los primeros 3 días de establecimiento, se observó que los explantes no presentaron ninguna anomalía. Al décimo día, se detectó una mínima contaminación por hongos en dos explantes. Finalmente, a los 21 días, la mitad de las unidades experimentales que recibieron solo Termoterapia mostraron yemas activas.



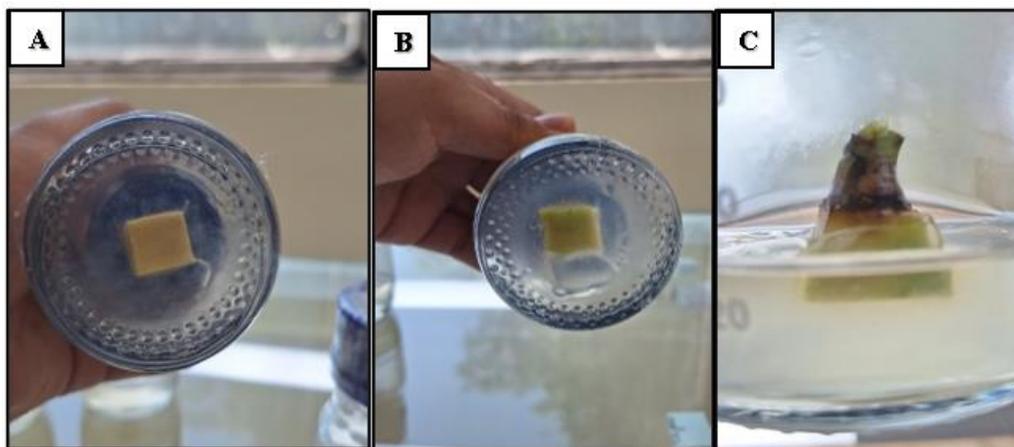
**Figura 10.** Toma de datos de T1 y variables. A) Explantes sin contaminación, B) Explante con una leve oxidación, C) Explante sin contaminación por agentes patógenos pero una leve fenolización.

**Electroterapia:** A los 3 días de haber establecido los explantes, no se observó contaminación ni fenolización. Al décimo día, se detectó contaminación por hongos. Sin embargo, a los 21 días, el número de yemas activas del tratamiento superó al observado en el tratamiento con termoterapia.



**Figura 11.** Toma de datos del T2 y variables. A) Explante sano, B) Explante por contaminación por hongos, C) Explante contaminado por hongos y yema activa.

**Electroterapia y Termoterapia:** Durante los 21 días de establecimiento in vitro, las yemas de los explantes de plátano atravesaron diversas fases de desarrollo. En los primeros 3 días, las yemas no mostraron signos de contaminación ni fenolización. Al décimo día, se detectó una leve contaminación por hongos y una fenolización moderada. Finalmente, a los 21 días, se observó un aumento significativo en el número de yemas activas, especialmente en los explantes sometidos a tratamientos específicos como la electroterapia, en comparación con la termoterapia. Este incremento en la actividad de las yemas indicó una respuesta positiva a los tratamientos aplicados, favoreciendo su desarrollo y crecimiento.



**Figura 12.** Toma de datos de T3 y variables. A) Explantes sano, B) Explante con pigmentación verde, C) Explante con su yema activa y libre de agentes patógenos.

### 3.7. Experimento 2, se evaluó el efecto de la activación de yemas en la multiplicación de vitroplantas de plátano clon Dominico.

Se implementó un diseño completamente al azar (DCA) con un único factor de estudio, la fitoterapia, que incluyó cinco tratamientos, cada uno con una unidad experimental, y se realizaron cuatro repeticiones. Este diseño se gestionó de manera homogénea, controlando factores como la temperatura y la luminosidad.

#### 3.7.1. Factor de estudio y tratamientos

El factor de estudio utilizado fue la fitoterapia en la multiplicación in vitro de explantes de cormos de plátano del clon Dominico, dividido en los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T4.

**Tabla 7.** Tratamientos y especificaciones de cantidades utilizadas.

Tratamientos	Identificación	Dosis(mg/L)
BAP 5,5	T0	5,5
BAP 5,25	T1	5,25
BAP 5	T2	5
BAP 4,75	T3	4,75
BAP 4,25	T4	4,25

### 3.7.2. Modelo matemático

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$ : es la Variable aleatoria que representa la respuesta de la j-ésima unidad experimental asignada al i-ésimo tratamiento.

- $\mu$ : Media general
- $\tau_j$ : Efecto del tratamiento  $i$
- $\varepsilon_{ij}$ : Error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ij}$

### 3.7.3. Características específicas del modelo

- Tratamientos: 5
- Replicas: 4
- Unidades experimentales (EU) por tratamiento: 1
- Total, de unidades experimentales (EU): 20 explantes

El diseño experimental se llevó a cabo en el laboratorio de micropropagación vegetal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias bajo condiciones estériles, con ambiente y luminosidad controlados, seguido de la micropropagación de los explantes en medios de cultivo especializados para la multiplicación de plantas in vitro de plátano clon dominico.

### 3.8. Variables a evaluar.

Las variables dependientes a evaluar fueron de tipo observacional, como se muestra en la tabla.

**Tabla 8.** *Descripción de las variables de estudio.*

<b>Variable</b>	<b>Tipo</b>
Brote de Tipo I	Cualitativo
Brote de Tipo II	Cualitativo
Brote de Tipo III	Cualitativo

### 3.9. Manejo del experimento

#### 3.9.1. Medio de cultivo

El medio de cultivo que se empleo fue el (MS) de Murashige y Skoog descrito en 1962. A continuación, en la tabla 9 se describe la composición del medio de cultivo para la multiplicación in vitro en plátano Clon dominico.

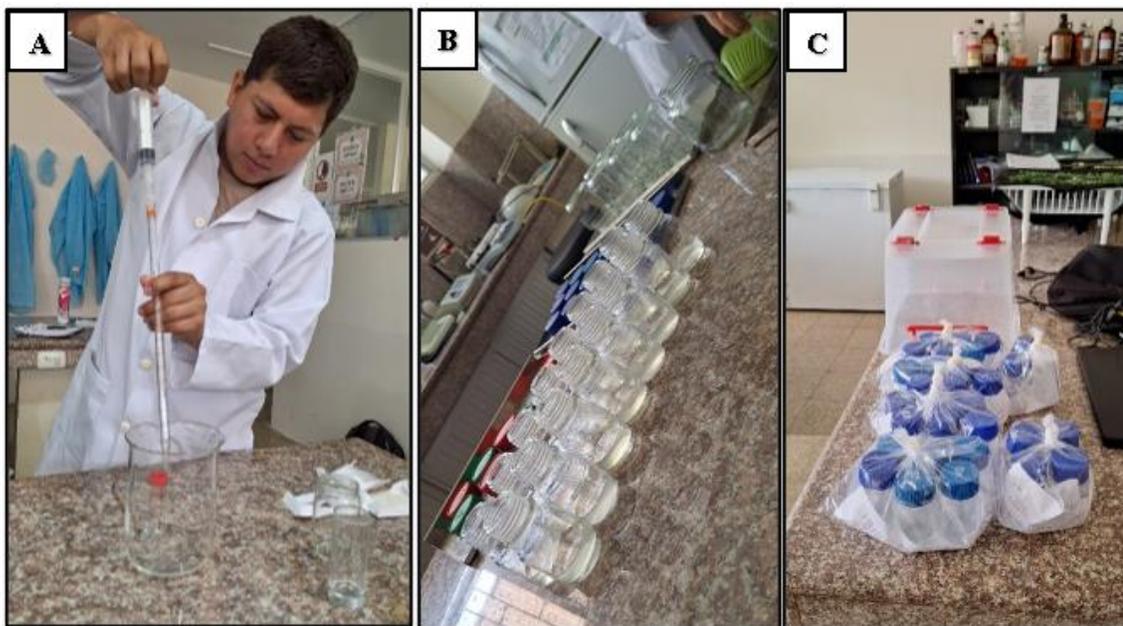
**Tabla 9.** *Descripción de Medio de Cultivo para Multiplicación.*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (mg/l – g/l)</b>
Soluciones Madre: A, B, C, D, E	10 mg/l
Vitaminas	10 mg/l
Mio-inositol	100 mg/l
Ácido cítrico	100 mg/l

Sacarosa	30 g /l
BAP	T0-T4
ANA	0,5 mg/l
Gellan Gun	3 g
pH ajustado a	5,7

*Fuente:* Basail Pérez et al., (2012). ; Roels et al.,( 2005).

La cantidad de medio de cultivo de establecimiento se preparó para 600 ml, el cual fue esterilizado a 121°C (15 psi) durante 25 minutos. Luego, se distribuyó en frascos de siembra con 30 ml cada uno como se observa en la figura. Esta preparación se almacenó en un lugar oscuro para evitar la pérdida de nutrientes del medio debido a la exposición a la luz.



**Figura 13.** *Elaboración de medio de cultivo de multiplicación. A) Disolución de de los componentes en agua destilada estéril a 600 ml, B) Distribución de la solución a 30 ml en frascos estériles, C) sellar para auto clavar y guardar en una cámara de temperatura controlada.*

### 3.9.3. Esterilización de materiales

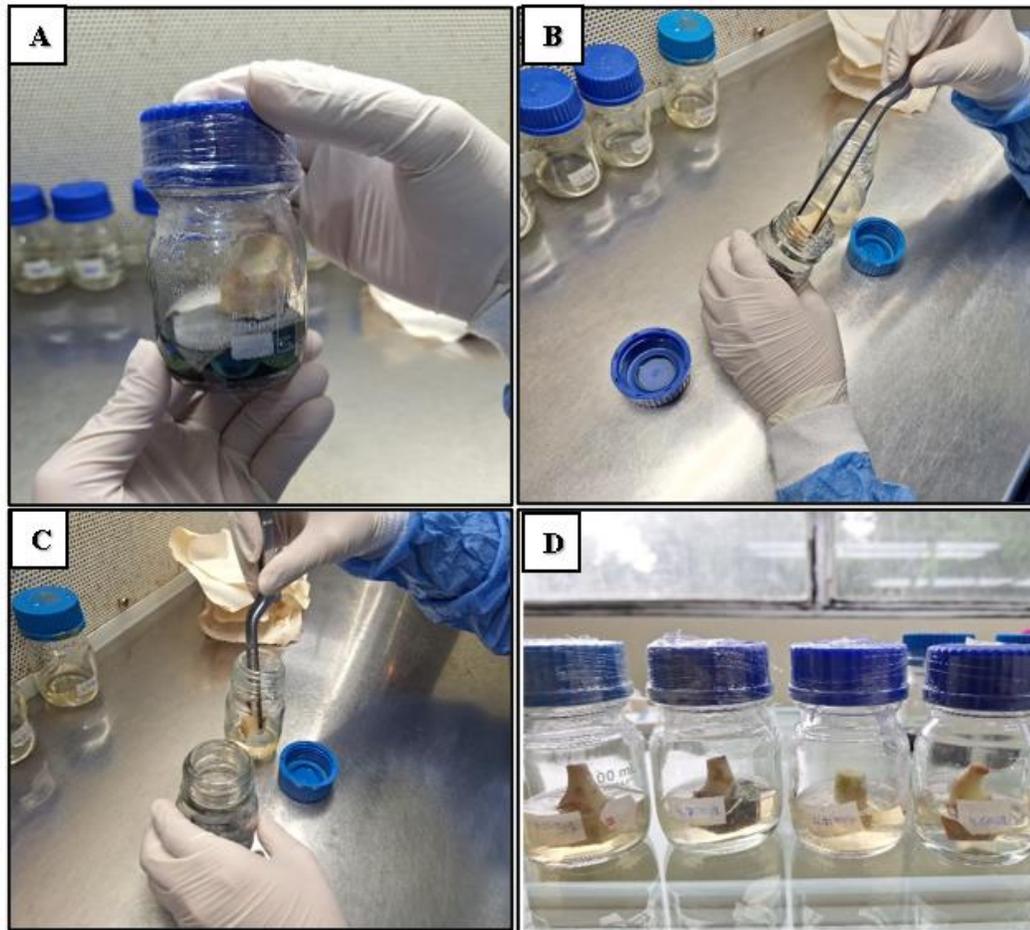
La cámara de flujo laminar y el kit de corte fueron desinfectados, y el kit de corte se esterilizó en autoclave a 121°C durante 25 minutos. Luego, se seleccionaron los explantes previamente establecidos que habían desarrollado brotes o características similares para realizar la multiplicación.



**Figura 14.** *Desinfección de materiales en autoclave a 121°C.*

#### **3.9.4. Siembra de explantes en medio de cultivo de multiplicación**

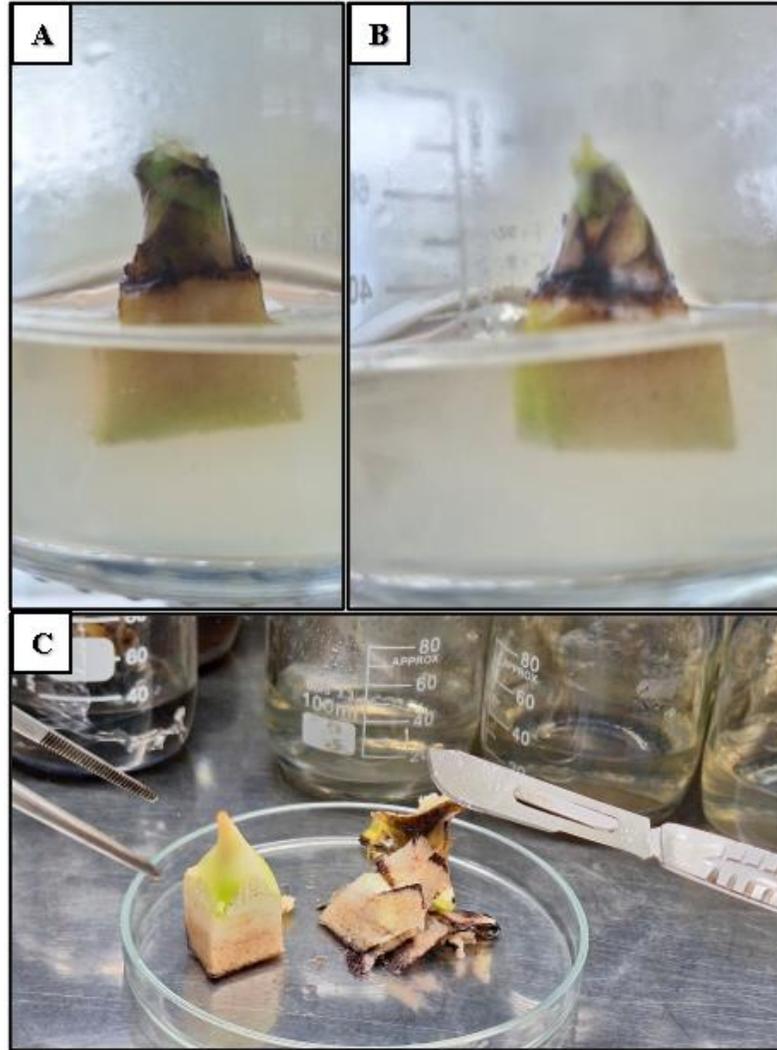
Bajo condiciones estériles, los explantes seleccionados para cada tratamiento fueron retirados de sus frascos originales y luego plantados en frascos de siembra que contenían 30 ml de medio de cultivo de multiplicación, asegurándose de que la base de cada explante quedara sumergida. Los tratamientos fueron ubicados en una cámara de crecimiento bajo condiciones controladas de temperatura, aproximadamente a 25°C, durante un período de 21 días.



**Figura 15.** *Siembra de explantes. A) selección de explantes, B) Transferencia de explante a un medio de cultivo estéril, C) Siembra del explante, D) frascos esterilizados y etiquetados según sus tratamientos.*

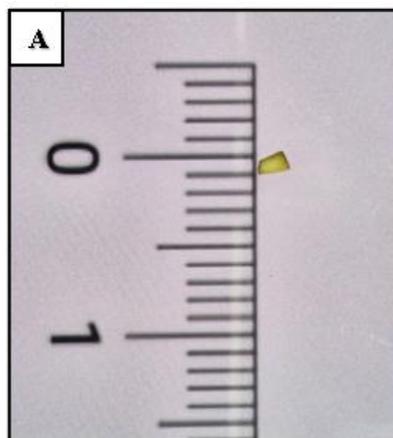
### **3.9.5. Toma de datos**

Para evaluar el tipo de brote, se utilizó el método de Roels et al. (2005), que describe que los brotes de Tipo I tienen un diámetro en la base de la hoja mayor a 3 mm, los brotes de Tipo II tienen un diámetro en la base de la hoja menor a 3 mm, y los brotes de Tipo III no tienen hojas y sus brotes son menores a 3 mm.



**Figura 16.** *Desarrollo inicial de yemas apicales. A) Presencia de yema apical, B) Totipotencia del explante, C) Limpieza del explante para observar la base de la yema apical.*

Siguiendo esta metodología, se obtuvo un brote de tipo III del tratamiento T3 y dos brotes de tipo III del tratamiento T4, como se muestra en la figura.



**Figura 17.** *Tipo de brote III según el método de Roels.*

### **3.8. Procedimiento estadístico**

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software estadístico SPSS versión 22. Para la prueba de hipótesis, Field (2018) estableció un nivel de significancia ( $\alpha$ ), un umbral predeterminado que se utilizó para decidir si se rechazaba la hipótesis nula en un análisis estadístico. El nivel de significancia más comúnmente usado es 0.05, lo que implicaba una probabilidad del 5% de cometer un error tipo I (rechazar la hipótesis nula cuando era verdadera) (Field, 2018).

### **3.9. Descripción estadística de las variables y los tratamientos objeto de estudio**

Los tratamientos fueron asignados aleatoriamente a las unidades experimentales, garantizando que cada explante tuviera la misma probabilidad de recibir cualquier tratamiento y eliminando así posibles sesgos. Para visualizar estos datos, se utilizó un gráfico de barras que mostraba la media y la desviación estándar de la reducción de enfermedades y el crecimiento de las yemas meristemáticas para cada tratamiento. Antes de proceder con el análisis, se verificó el supuesto de normalidad para comprobar si los datos seguían una distribución normal.

### **3.10. Verificación de los supuestos de modelo estadístico utilizado**

#### **3.10.1. Prueba de Shapiro-Wilk**

Esta prueba fue muy eficaz para detectar desviaciones de la normalidad en muestras inferiores a 50 datos. Sin embargo, cuando la muestra superó los 50 datos, se empleó la prueba de Kolmogórov-Smirnov (Shatz, 2023). La hipótesis nula de la prueba establecía que los datos provenían de una distribución normal. Un valor  $p$  menor que el nivel de significancia (generalmente 0.05) indicaba el rechazo de la hipótesis nula, sugiriendo que los residuos no seguían una distribución normal.

#### **3.10.2. Pruebas de homogeneidad de varianza (Levene)**

La prueba de Levene se utilizó ampliamente para evaluar la homogeneidad de varianzas entre diferentes grupos, un paso fundamental antes de realizar análisis de varianza (ANOVA) y otros procedimientos estadísticos. La hipótesis nula de esta prueba establecía que todas las varianzas poblacionales eran iguales. Si la prueba resultaba significativa, se rechazaba esta hipótesis, indicando que al menos una de las varianzas era diferente (Gastwirth et al., (2009).

Las hipótesis planteadas para el análisis de homogeneidad de datos en cada variable fueron:

- **H<sub>0</sub>**: No existe diferencias significativas entre las varianzas de los tratamientos y las técnicas de fitoterapia
- **H<sub>1</sub>**: Existe diferencias significativas entre las varianzas de los tratamientos y las técnicas de fitoterapia.
- **H<sub>0</sub>**: Las varianzas de las diferentes concentraciones de BAP en la inducción de brotes de plátano clon dominico son iguales.

- **H1:** Al menos una de las varianzas de las diferentes concentraciones de BAP en la inducción de brotes de plátano clon dominico es diferente.

### **3.11. Análisis de varianza (ANOVA)**

Es una técnica estadística utilizada para comparar las medias de tres o más grupos independientes y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. La metodología ANOVA se fundamentó en descomponer la variabilidad total observada en los datos en componentes atribuibles a distintas fuentes de variación: entre los grupos y dentro de los grupos (Montgomery, 2019). El objetivo principal consistió en evaluar si las medias de los distintos grupos eran iguales bajo la hipótesis nula ( $H_0$ ) o si al menos una de las medias difería significativamente bajo la hipótesis alternativa ( $H_1$ ).

Las hipótesis planteadas para el análisis de homogeneidad de datos en cada variable fueron:

- **H0:** No hay diferencias significativas entre los efectos de las distintas técnicas de fitoterapia en las variables de estudio de las yemas meristemáticas.
- **H1:** Existen diferencias significativas entre los efectos de al menos una de las técnicas de fitoterapia en alguna de las variables de estudio de las yemas meristemáticas.

#### **3.11.1. Pruebas Post Hoc**

Cuando el análisis de varianza (ANOVA) mostró diferencias significativas entre las medias de los grupos, no especificó cuáles grupos diferían entre sí. Para identificar estas diferencias específicas, se recurrió a pruebas post hoc. Estas pruebas fueron diseñadas para realizar comparaciones múltiples mientras controlaban el error de tipo I, que es la probabilidad de detectar una diferencia significativa por azar. (Field, 2018).

En la investigación y análisis de datos se utilizó la prueba de Tukey HSD (Honest Significant Difference). Según Yoav y Braun (2021), esta prueba fue una herramienta esencial para realizar comparaciones múltiples tras un análisis de varianza (ANOVA). Su objetivo era identificar qué pares de medias de grupos eran significativamente diferentes entre sí, controlando el error de tipo I, que es la probabilidad de detectar una diferencia significativa cuando no existe. Este control se logró ajustando el nivel de significancia para todas las comparaciones posibles.

### **3.11.3. Prueba de Duncan**

También conocida como la prueba de rangos múltiples de Duncan, se utilizó para realizar comparaciones múltiples entre las medias de diversos grupos experimentales. Este método estadístico, frecuentemente empleado en el análisis de varianza (ANOVA), permitió identificar diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados. La elección de este test se basó en su capacidad para controlar la tasa de error tipo I y su adecuada aplicación en estudios con múltiples comparaciones (Montgomery, 2019).

### **3.12. Prueba no paramétrica**

Se utilizó una prueba no paramétrica en análisis estadístico para analizar datos que no requerían suposiciones sobre una distribución específica, como la normalidad. Estas pruebas resultaron especialmente útiles cuando los datos no cumplieron con los supuestos clave de las pruebas paramétricas, como la homogeneidad de varianzas o la normalidad (Diaz et al., 2020). Las pruebas no paramétricas se aplicaron en casos donde los datos eran ordinales, nominales o derivaban de muestras pequeñas.

#### **3.12.1. Prueba Kruskal-Wallis**

La prueba de Kruskal-Wallis fue una prueba no paramétrica utilizada para determinar si existían diferencias significativas entre las medianas de tres o más grupos independientes. Esta prueba se consideraba una extensión de la prueba Mann-Whitney U, que solo podía comparar dos grupos. A diferencia del ANOVA de una vía, la prueba de Kruskal-Wallis no asumía que los datos siguieran una distribución normal, lo que la hacía especialmente útil cuando esta suposición no se cumplía (Chan & Walmsley, 2019).

Las hipótesis planteadas para el análisis de homogeneidad de datos en cada variable fueron:

- **H0:** Las distribuciones de las diferentes técnicas de fitoterapia son iguales en cuanto a su efecto sobre las variables de estudio de las yemas meristemáticas.
- **H1:** Al menos una de las distribuciones de las diferentes técnicas de fitoterapia es diferente en cuanto a su efecto sobre las variables de estudio de las yemas meristemáticas.

### **3.13. Histogramas y Q-Q Plots**

Los Q-Q plots, o gráficos de cuantiles-cuantiles, comparaban los cuantiles de una muestra de datos con los cuantiles de una distribución teórica, generalmente la normal. Este tipo de gráfico resultaba extremadamente útil para evaluar la normalidad de los datos. Cuando los datos seguían una distribución normal, los puntos en un Q-Q plot caían aproximadamente en una línea recta. Desviaciones significativas de esta línea indicaban desviaciones de la normalidad, como sesgos o colas pesadas (Bobbitt, 2024).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. Experimento 1

#### 4.1.1. Respuesta de yemas meristemáticas bajo condiciones in vitro en medio de cultivo para establecimiento

El p-valor obtenido en cada prueba estadística realizada en las diferentes variables de estudio indicó valores mayores y menores a alfa (0,05) en algunos casos, evidenciando que se presentan diferencias significativas entre las técnicas de fitoterapia en la evaluación realizada a las yemas meristemáticas de plátano clon Dominico en condiciones de crecimiento in vitro desde el establecimiento. Se demostró así el efecto de las técnicas de fitoterapia en la reducción de la contaminación por hongos, bacterias, fenolización y en la activación de yemas (Tabla 10).

**Tabla 10.** Resultados del p-valor de la aplicación de fitoterapia en un medio de cultivo de establecimiento para plátano clon Dominico.

Variables	3 días	10 días	21 días
Yemas contaminadas por hongos	0,801NS	0,001**	0,001**
Yemas contaminadas por bacterias	1,000NS	0,545NS	0,545NS
Yemas fenolizadas	1,000NS	0,891NS	0,039*
Yemas activas	1,000NS	1,000NS	0,133NS

*Nota.* Un p-valor  $\leq 0,05$  indican la presencia de diferencias estadísticas significativas entre los tipos de tratamientos en función de las variables objeto de estudio. Los p-valores se presentan con notaciones para indicar la significancia estadística: NS No existe diferencia significativa. \* Diferencia significativa al 95%. \*\* Diferencia significativa al 90%

#### 4.1.2. Respuesta de yemas meristemáticas

##### Yemas contaminadas por hongos

A los 3 días de la aplicación de la fitoterapia, la electroterapia combinada con termoterapia resultó en la ausencia de yemas contaminadas por hongos (0,00) indicando que este tratamiento fue más efectivo en la reducción de la contaminación por hongos en comparación con los otros tratamientos, que tuvieron un valor de (0,08).

A los 10 días la termoterapia y la combinación de electroterapia + termoterapia resultaron en la ausencia de yemas contaminadas por hongos con valor (0,00), lo que indicó que estos tratamientos fueron más efectivos en la reducción de la contaminación por hongos en comparación con la electroterapia sola y el testigo que tuvieron un valor de (1,00).

A los 21 días la combinación de electroterapia y termoterapia resultó en la ausencia de yemas contaminadas por hongos con valor (0,00), lo que indicó que este tratamiento fue el más efectivo en la reducción de la contaminación por hongos en comparación con la electroterapia sola y el grupo testigo, ambos con valor (1,00). La termoterapia sola también mostró una reducción significativa (0,00), pero no tan efectiva como la combinación de tratamientos.

- **Yemas contaminadas por bacterias**

A los 3 días de la aplicación de la fitoterapia ninguno de los tratamientos mostró yemas contaminadas por bacterias, todos con valor (0,00), lo que sugirió que todos los tratamientos fueron igualmente efectivos en la prevención de la contaminación bacteriana.

A los 10 días ninguno de los tratamientos mostró yemas contaminadas por bacterias, todos con valor (0,00), lo que indicó que todos los tratamientos fueron igualmente efectivos en la prevención de la contaminación bacteriana.

A los 21 días ninguno de los tratamientos mostró yemas contaminadas por bacterias, todos se mantuvieron con valores (0,00), lo que sugirió que todos los tratamientos fueron igualmente efectivos en la prevención de la contaminación bacteriana a los 21 días de su establecimiento.

- **Yemas fenolizadas**

A los 3 días de la aplicación de la fitoterapia, y al igual que con la contaminación bacteriana, ninguno de los tratamientos resultó en yemas fenolizadas, mostrando una uniformidad en la efectividad de los tratamientos en prevención de la fenolización.

A los 21 días la electroterapia combinada con termoterapia y el grupo testigo mostró una menor incidencia de yemas fenolizadas (0,08), en comparación con la termoterapia sola (0,17). La electroterapia sola presentó un valor intermedio (0,083).

La electroterapia sola y la combinación de electroterapia y termoterapia presentó valores similares y menores de yemas fenolizadas (0,25), en comparación con la termoterapia sola (0,41) y el grupo testigo (0,75). Esto sugirió que la electroterapia y su combinación con termoterapia fueron más efectivas en prevenir la fenolización de yemas en comparación con la termoterapia sola y el testigo.

- **Yemas activas**

A los 3 días de la aplicación de la fitoterapia, no hubo activación de yemas en ninguno de los tratamientos, lo que indicó que el tiempo de evaluación de los tratamientos fue demasiado corto para observar la activación de yemas o algún tipo de anomalía en las mismas.

A los 10 días no hubo activación de yemas en ninguno de los tratamientos, lo que indicó que el tiempo de evaluación aun fue demasiado corto para observar la activación de yemas o que las condiciones de los tratamientos no fueron suficientes para activar las yemas en este periodo.

La electroterapia sola y la combinación de electroterapia y termoterapia mostraron los valores más altos de yemas activas (0,75), en comparación con la termoterapia sola (0,58) y el grupo testigo (0,16). Esto sugiere que la electroterapia y su combinación con termoterapia fueron más efectivas en la activación de yemas a los 21 días de su establecimiento.

**Tabla 11.** *Comportamiento de las yemas meristemáticas con respecto a las técnicas de fitoterapia in vitro (Electroterapia, Termoterapia, Electroterapia + Termoterapia, Testigo) a los 3, 10 y 21 días.*

<b>3 días</b>				
<b>Tratamientos</b>	<b>Yemas contaminadas por hongos</b>	<b>Yemas contaminadas por bacterias</b>	<b>Yemas fenolizadas</b>	<b>Yemas activas</b>
<b>Electroterapia</b>	0,08a	0,00a	0,00a	0,00a
<b>Termoterapia</b>	0,08a	0,00a	0,00a	0,00a
<b>Electroterapia + Termoterapia</b>	0,00a	0,00a	0,00a	0,00a
<b>Testigo</b>	0,08a	0,00a	0,00a	0,00a
<b>10 días</b>				
<b>Electroterapia</b>	1,00a	0,00a	0,083a	0,00a
<b>Termoterapia</b>	0,00ac	0,00a	0,17a	0,00a
<b>Electroterapia + Termoterapia</b>	0,00abc	0,00a	0,08a	0,00a
<b>Testigo</b>	1,00a	0,00a	0,08a	0,00a
<b>21 días</b>				
<b>Electroterapia</b>	1,00a	0,00a	0,25b	0,75a
<b>Termoterapia</b>	0,00abc	0,00a	0,41ab	0,58a
<b>Electroterapia + Termoterapia</b>	0,00a	0,00a	0,25b	0,75a
<b>Testigo</b>	1,00b	0,00a	0,75a	0,16b

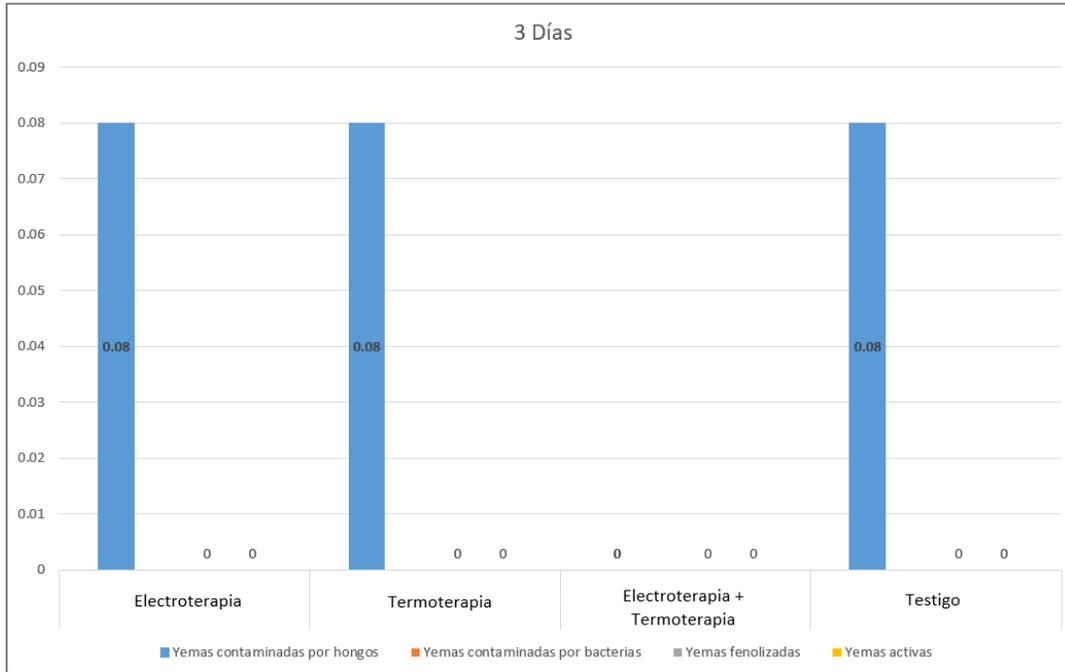
*Nota.* Letras diferentes, en cada tiempo desde su establecimiento, indican diferencias estadísticamente significativas entre las técnicas de fitoterapias aplicadas, en relación a las respuestas de las yemas ( $p\text{-valor} \leq 0,05$ ).

En este análisis estadístico se aplicó la prueba de homogeneidad de varianzas, seguida de una prueba de comparación de rangos múltiples. En los casos en que no se cumpla la homogeneidad de varianzas con un nivel de significancia inferior a (0,05), se utilizó una prueba no paramétrica, con el método de Kruskal-Wallis, para realizar la comparación.

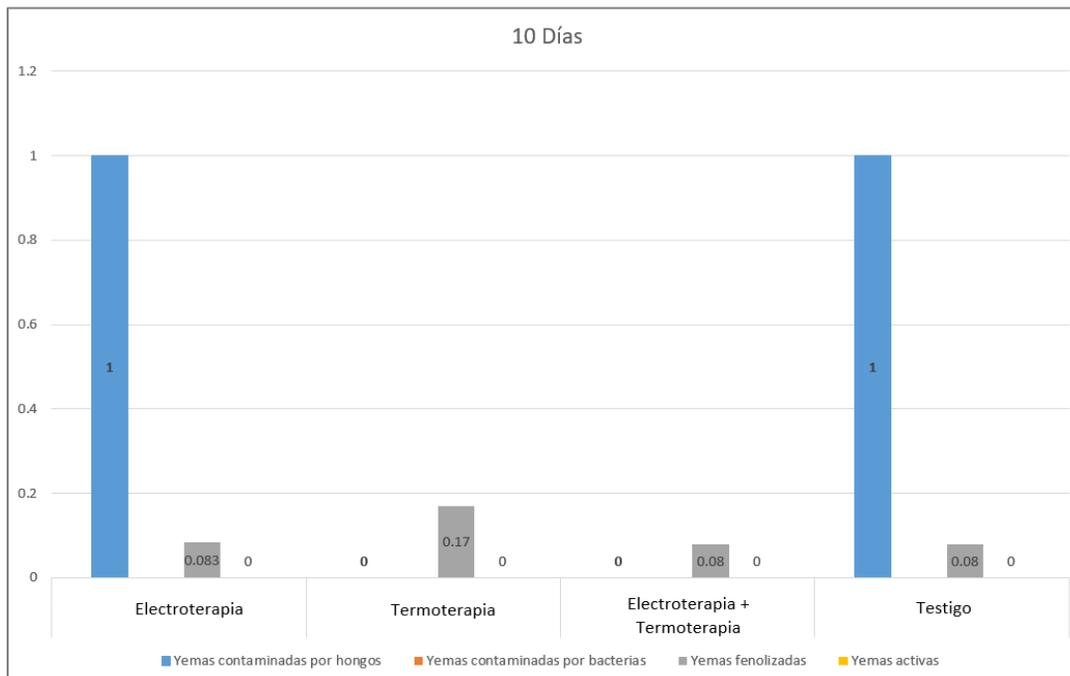
Los resultados de los análisis estadísticos indicaron que la combinación de electroterapia y termoterapia resultó ser más efectiva en reducir la contaminación por hongos a lo largo de los 21 días, mostrando ausencia de hongos en comparación con los otros tratamientos. Evidenciando diferencias significativas en comparación con el grupo testigo y la termoterapia sola. Por lo tanto, la combinación de electroterapia y termoterapia se destaca como el tratamiento más eficaz para mejorar las condiciones de cultivo *in vitro* en esta fase, según resultados obtenidos en el trabajo de (Osorio et al., 2019), concuerdan con a la técnica de termoterapia aplicada en el establecimiento *in vitro* de plátano (*Musa × paradisiaca L.*) variedad "Curaré enano", donde el tratamiento con 33 °C por 15 minutos en baño maría también mostró una alta efectividad en la reducción de la contaminación, logrando un 0% de contaminación en los explantes tratados.

Además, los resultados obtenidos por Mielo (2018), se asemejan a la técnica de electroterapia y termoterapia aplicada en el tomate de árbol (*Solanum betaceum*), donde se observó que la termoterapia a 40°C por 24 horas y la electroterapia con voltajes de hasta 10V durante 15 minutos, fueron eficaces en la supervivencia y regeneración de explantes, lo que refleja la capacidad de estos tratamientos para mejorar la viabilidad y vigor de las plantas tratadas en esta fase. También resultados indicados por (García et al., 2018) sobre las plantas micropropagadas de banano, donde la aplicación de voltajes de hasta 20V durante 20 minutos mostró un incremento significativo en el vigor y crecimiento de los explantes.

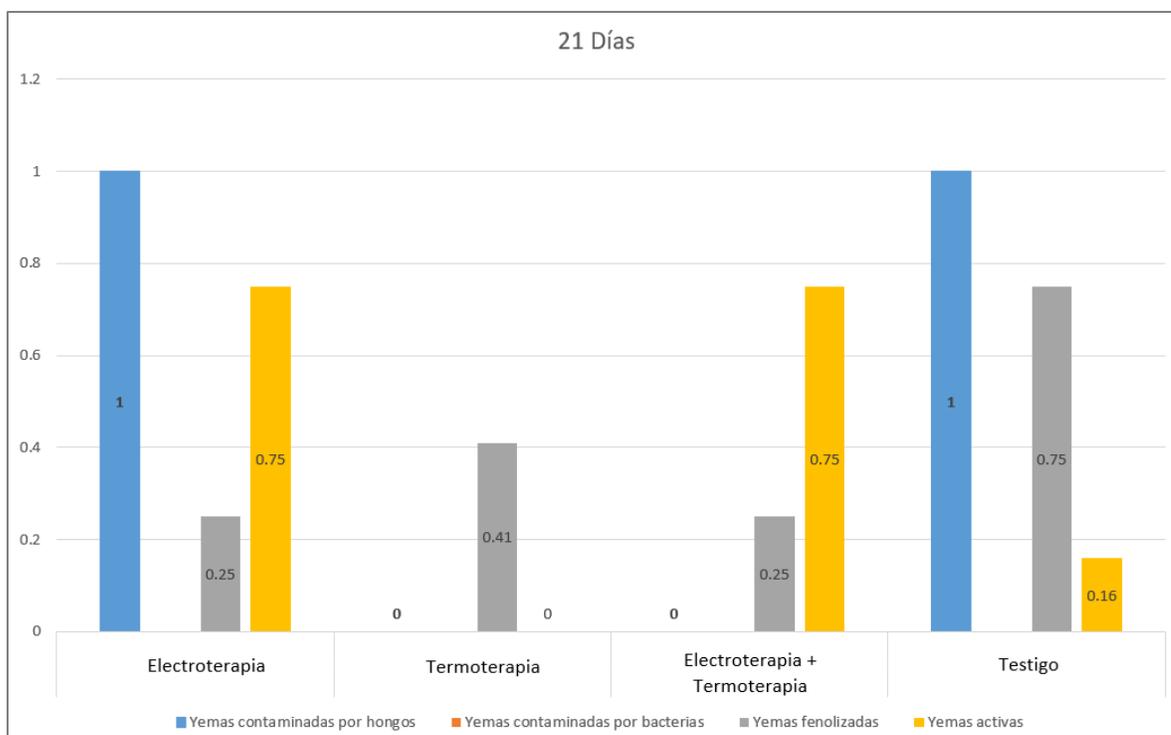
Además, tanto la electroterapia sola como su combinación con termoterapia fueron más efectivas en prevenir la fenolización y en activar yemas a los 21 días, Según Li et al. (2019) en su trabajo demostró que la estimulación eléctrica se utilizó para mejorar la germinación de semillas, el crecimiento de plántulas y la termotolerancia en el caso de maíz. Además, la estimulación eléctrica incrementó la tasa de supervivencia de las plántulas de maíz, mitigó la disminución de la vitalidad tisular y redujo la peroxidación de lípidos de membrana bajo estrés térmico. Similarmente, (Bettoni et al., 2022) observaron que la termoterapia seguida de crioterapia es eficaz en la eliminación de virus y mejora la regeneración de tejidos en plantas, lo que respalda la efectividad de los tratamientos combinados para mejorar la salud general de las plantas.



**Figura 18.** Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 3 días del establecimiento.



**Figura 19.** Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 10 días del establecimiento.



**Figura 20.** Efecto de yemas meristemáticas de T0-T4 a los 21 días del establecimiento.

## 4.2. Experimento 2

### 4.2.1. Respuesta de yemas meristemáticas bajo condiciones in vitro en medio de cultivo para multiplicación.

Para analizar las diferencias entre los tratamientos, se aplicó la prueba de rangos múltiples de Duncan. Los valores p evidenciaron la significancia estadística de las variaciones observadas entre los tratamientos, tal como se detalla en la tabla 12.

**Tabla 12.** Efecto de diferentes concentraciones de BAP en la inducción de brotes de plátano clon dominico in vitro.

Tratamientos	Número de brotes		
	(Tipo I)	(Tipo II)	(Tipo III)
BAP (5,5 mg/l)	0,00a	0,00a	0,00a

BAP (5,25 mg/l)	0,00a	0,00a	0,00a
BAP(5mg/l)	0,00a	0,00a	0,00a
BAP (4,75 mg/l)	0,00a	0,00a	0,00a
BAP (4,25 mg/l)	0,00a	0,00a	0,25a
<b>p-valor</b>	0,00	0,00	0,172

*Nota.* Para evaluar el tipo de brote se utilizó el método de (Roels et al., 2005). Tipo I > 3 mm, Tipo II < 3 mm y Tipo III < 3 mm con pseudotallo sin hojas.

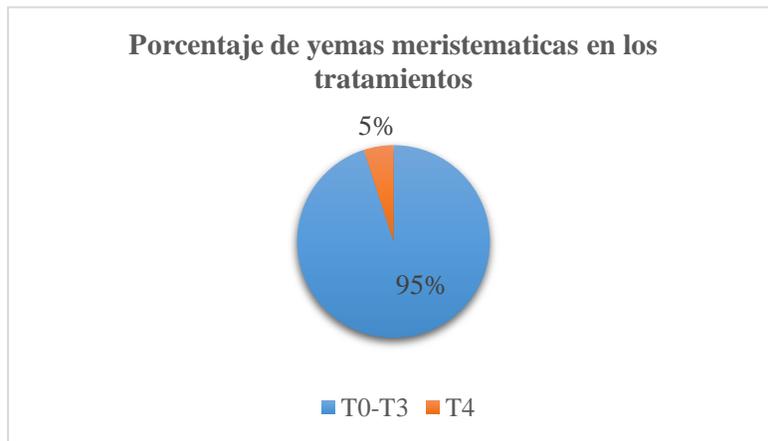
Se observó que no hubo diferencias significativas en la formación de brotes de tipo I y II con dosis crecientes de BAP. Sin embargo, se detectaron diferencias significativas en la formación de brotes de tipo III con dosis decrecientes de BAP, siendo la concentración de 4,25 mg/l la que resultó en un mayor número de brotes de este tipo. En una investigación realizada por Torres (2021), se encontró que concentraciones moderadas de BAP favorecieron la formación de brotes en *Musa paradisiaca*, mientras que concentraciones altas inhiben el crecimiento debido a una acumulación excesiva de citoquininas.

Además, Rios et al., (2013) señalaron que una concentración de 2,5 mg/L fue la más adecuada para la multiplicación y a esta concentración se logró un equilibrio óptimo entre la viabilidad de los explantes y la brotación de yemas, sin observar diferencias significativas en comparación con concentraciones más altas, como 5,0 mg/l, en variables como el número de brotes por explante y el porcentaje de brotes con forma de "coliflor".

#### **4.2.2. Porcentaje de yemas apicales**

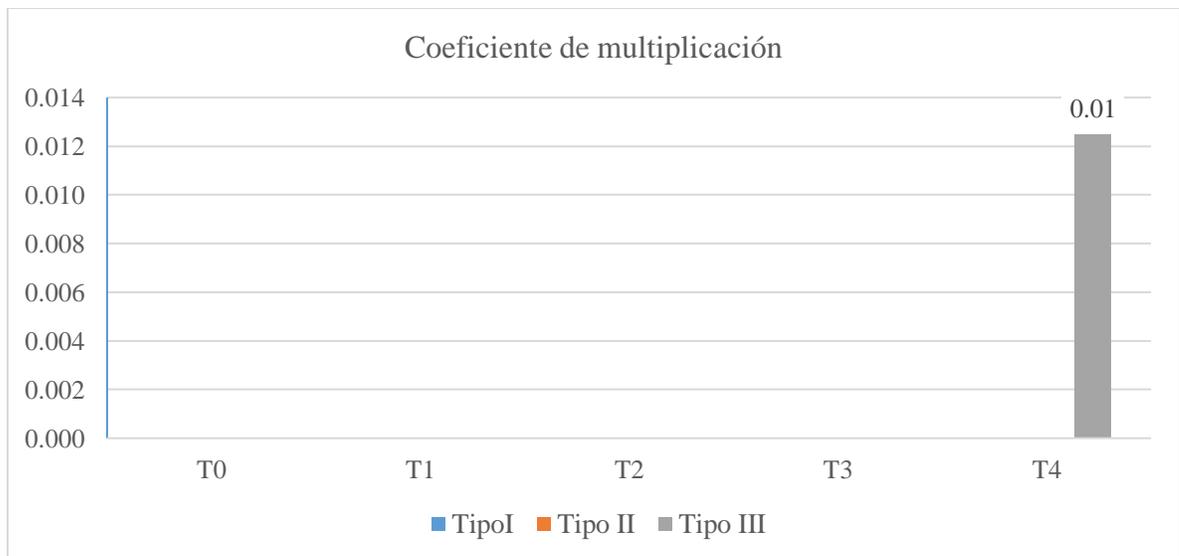
El gráfico demostró que los tratamientos T0 a T3 tuvieron un efecto adverso en la activación de las yemas apicales, alcanzando un 95% de inhibición, mientras que el tratamiento

T4 registró solo un 5%. Esto sugiere que el tiempo fue un factor clave en la aparición de yemas meristemáticas. Recientes estudios de Ngomuo et al., (2020) recomienda que el crecimiento de yemas puede observarse a partir de los 28 días bajo condiciones óptimas de cultivo, lo que depende del tipo de medio y las condiciones específicas del entorno de cultivo, un hallazgo que estuvo en concordancia con los resultados obtenidos en la prueba de Duncan.



**Figura 21.** Porcentaje de activación de yemas meristemáticas.

#### 4.2.3. Coeficiente de multiplicación



**Figura 22.** Coeficiente de multiplicación de T0-T4.

El tratamiento T4 fue el único que mostró brotes de yemas, aunque con un coeficiente de multiplicación muy bajo de 0,01, lo que sugirió que las dosis con menor concentración de BAP favorecían la aparición de brotes. Sin embargo, según Roels y colaboradores (2005), el uso de citoquininas, aunque puede aumentar el coeficiente de multiplicación, también podría inducir variaciones somaclonales no deseadas. Además Muhie y Teshome (2023), mencionan que concentraciones de BAP de 1,5 mg/l y 2,5 mg/l no solo favorecieron una rápida emergencia de brotes, reduciendo el tiempo necesario para su aparición, sino que también facilitaron la multiplicación masiva en sistemas de producción a pequeña y mediana escala.

## **5. Conclusiones**

➤ El análisis estadístico de los efectos de la fitoterapia en vitroplantas de plátano clon Dominico en la provincia de El Oro mostró que la combinación de electroterapia y termoterapia es significativamente más efectiva en la reducción de la contaminación por hongos y en la activación de yemas meristemáticas a los 21 días en comparación con otros tratamientos y el grupo testigo. Esta combinación también demostró ser eficaz en la prevención de la fenolización, lo que sugiere su potencial como un tratamiento preferido para mejorar la calidad y viabilidad de las vitroplantas en el establecimiento in vitro. Estos resultados son consistentes con investigaciones previas, que también destacan la efectividad de estas técnicas en la mejora del vigor y la salud de las plantas tratadas.

➤ No se observaron diferencias significativas en la formación de brotes de Tipo I y II con las concentraciones de BAP evaluadas. Sin embargo, la concentración de 4,25 mg/l resultó ser efectiva para inducir brotes de Tipo III, mientras que concentraciones superiores no tuvieron un impacto significativo en la formación de brotes.

## Referencias

- AGROSAVIA. (2021). La postcosecha y agroindustria del plátano. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.*, 1, 2-10. doi:<http://hdl.handle.net/20.500.12324/17786>
- Alma Angélica Del Villar Martínez, Juan Arturo Ragazzo Sánchez, Pablo Emilio Vanegas Espinoza, & Octavio Paredes López. (2019). Advances in Plant Biotechnology. 112 (3), 345–359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781003166535>
- AlMaarri, K., Massa, R., & AlBiski, F. (2012). Evaluation of some therapies and meristem culture to eliminate Potato Y potyvirus from infected potato plants. *Plant Biotechnology*, 29(3), 237–243. <https://doi.org/10.5511/plantbiotechnology.12.0215a>
- Álvarez, S., López, N., Tapia, M., Leal, A., & Guerrero, A. (2016). Hongos contaminantes en el establecimiento in vitro de ápices de papa. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 83-91. doi:<https://acortar.link/L00A00>
- Aslam, M., & Khan, S. (2020). Enhancement of secondary metabolites in medicinal plants through biotic and abiotic elicitors. *Plant Growth Regulation*, 91(3), 367-380. doi:<https://doi.org/10.1007/s10725-020-00614-8>
- Basail Pérez, M., Medero Vega, V., Otero Gálvez, E., Otero Gálvez, T., López Torres, J., Cabrera Jova, M., . . . Bauta Toledo, M. (2012). Empleo de Sistemas de Inmersión Temporal como alternativa para la multiplicación in vitro del cultivar de plátano vianda ‘INIVITPV06-30’

- (Musa spp., AAB). *Biotecnología Vegetal*, 12, 53-57. Obtenido de <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2012/vol12/no1/6.pdf>
- Bettoni, J. C., Fazio, G., Costa, L. C., Hurtado-Gonzales, O. P., Rwahnih, M. Al, Nedrow, A., & Volk, G. M. (2022). Thermotherapy Followed by Shoot Tip Cryotherapy Eradicates Latent Viruses and Apple Hammerhead Viroid from In Vitro Apple Rootstocks. *Plants*, 11(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/plants11050582>
- Bhardwaj, J., Anand, A., & Nagarajan, S. (2021). Biochemical and physiological implications of electric and magnetic field effects on plants and their agricultural applications. *Current Science*, 120(3), 374-383. doi:<https://doi.org/10.18520/cs/v120/i3/374-383>
- Bobbitt, Z. (19 de 01 de 2024). *La guía completa: Cómo interpretar los gráficos Q-Q*. (B. Zach, Editor) Obtenido de statology: <https://acortar.link/hoke1e>
- Camayo Vázquez, J. A. (2015). ESTADO ACTUAL DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL PLÁTANO Y EL BANANO. 151, 10–17.
- Carrión Paredes, J. A. (2020). Multiplicación in vitro de plátano: Revisión de literatura. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*, 26.
- Carrillo, D., Peña, J., & Hoy, M. (2020). Biological control of the red palm mite, *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Experimental and Applied Acarology*, 80(2), 195-214. doi:<https://doi.org/10.1007/s10493-020-00513-6>
- Castillo, E., & Vargas, M. (2019). Caracterización morfológica y molecular de variedades de plátano en la región andina. *Revista de Biología Tropical*, 67(1), 140-148. doi:<https://doi.org/10.1551/rbt.2019.543>

- Cerda, R., Avelino, J., Gary, C., Tixier, P., Lechevallier, E., & Allinne, C. (2017). Pérdidas de rendimiento primario y secundario causadas por plagas y enfermedades: evaluación y modelación en café. *Journals*, 12(1), 2-17. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169133>
- Chan, Y., & Walmsley, R. (2019). Aprendizaje y Compresión de la prueba de análisis de varianza Kruskal-Wallis de un solo factor para detectar diferencias entre tres o más grupos independientes. *Physical Therapy*, 1755-1761. doi:Physical Therapy
- Coyne, D., Cortada, L., Dalzell, J., Claudius - Cole, A., Haukeland, S., Luambano, N., & Talwana, H. (2018). Los nematodos fitoparásitos y la seguridad alimentaria en el África subsahariana. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 381-403. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045833>
- Coyne, D., Cortada, L., Dalzell, J., Claudius - Cole, A., Huakeland, S., Luambano, N., & Talwana, H. (2018). Plant-parasitic nematodes and food security in sub-Saharan Africa. *Annual Review of Phytopathology*, 56, 381-403. doi:<https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-045833>
- Diaz, L., Rodriguez, E., Estrella, B., & Chamosa, C. (2020). Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. *UAEH*, 9, 78-81. doi:<https://acortar.link/a2uND7>
- Dita, M., Barquero, M., Heck, D., Mizubuit, E., & Staver, C. (2018). Fusarium wilt of banana: Current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. *Frontiers in Plant Science*, 9, 14-68. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>

- Evaluación agronómica del clon Dominicó en diferentes regiones. (2021). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(2), 87-94. doi:<https://doi.org/10.5678/rccch.2021.789>
- FAO. (2021). *Banano. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Obtenido de FAO: <https://www.fao.org/home/en/>
- FAOSTAT. (2022). Cultivos y productos de ganadería. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Fernández, J., & Torres, C. (2023). Impacto de las prácticas de manejo en la morfología del plátano Dominicó. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 61(1), 50-58. doi:<https://doi.org/10.4567/rfm.2023.678>
- Fernández, j., Pérez, L., & Morales, A. (2019). Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de plátano. *Revista de Agricultura Tropical*, 45(3), 213-227. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agritrop.2019.05.006>
- Field, A. (2018). Detección de estadísticas utilizando IBM SPSS Statistics. En A. Field, *Detección de estadísticas utilizando IBM SPSS Statistics* (pág. 1104). Reino Unido: SABIO. doi:<https://acortar.link/ao8XOX>
- Galan, V., Rangel, A., Lopez, J., Hernandez, J. B. P., Sandoval, J., & Rocha, H. S. (2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(4). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018574>
- Gálvez, E., & Elizalde, J. (2021). Multiplicación in vitro de plátano (*Musa × paradisiaca* L.) [Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Departamento]. In Escuela Agrícola Panamericana , Zamorano.

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/150f6bf2-18e5-46d9-879f-53e3d74b70bc/content>

García, B., Ordóñez, F., Konkol, J., Al-Qasim, M., Naser, Z., Abdelwali, M., & Kema, G. (2020). Primer informe de marchitez por *Fusarium* raza tropical 4 en bananos Cavendish causada por *Fusarium odoratissimum* en Iraq. *Plant Disease*, *104*(1), 277. doi:<https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1926-PDN>

García, J. O., Carballal, A. M., Ordonez-Santos, E., & Cedeno, J. F. (2018). Aplicación de la electroterapia para la eliminación del virus del mosaico del pepino (CMV) en plantas micropropagadas de banano (*Musa* spp.). *Bionatura*, *3*(2), 602–606. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.02.7>

Gastwirth, J., Gel, Y., & Miao, W. (2009). Agosto 2009. *Estatista*, 343-360. doi:<https://doi.org/10.1214/09-STS301>

George, E., Hall, M., & De Klerk, G.-J. (2008). *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition*. En E. F. George, *Plant Propagation by Tissue Culture 3rd Edition* (págs. 65-75). Merriott, Somerset, United Kingdom: Springer. doi:<https://acortar.link/FUUxmP>

Ghosh, R., Chakraborty, S., & Roy, S. (2018). Effect of electric field on growth and development of plants and its applications. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, *11*(6), 1-9. doi:<https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181106.4174>

Glocke, P., Collins, G., & Sedgley, M. (2006). La 6-bencilamino purina estimula la organogénesis de los brotes in vitro en *Eucalyptus erythronema*, *E. stricklandii* y sus híbridos interespecíficos. *Science Direct*, 339-344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.05.010>

- Gold, D., Pena, J., & Karamura, E. (2018). Manejo integrado de plagas para el gorgojo del banano, *Cosmopolites sordidus*: Una revisión de las prácticas de control y perspectivas futuras. *Insect Science*, 25(4), 560-577. doi:<https://doi.org/10.1111/1744-7917.12511>
- Gómez , A., & Cerdas, L. (2003). Establecimiento in vitro de *Cryptomeria japonica* (Taxodiaceae). *Revista de Biología Tropical*, 51(3), 567-576. doi:<https://acortar.link/4kOs8g>
- González, F., Arévalo, A., & García, C. (2019). Efectividad de las prácticas culturales en el manejo de plagas del plátano. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(2), 205-213. doi:<https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i2.9477>
- Guerrero Guerrero, E. M., & Guevara Arrieta, J. Y. (2022). Revisión del establecimiento de protocolo de propagación con diferentes hormonas en plantas de la especie (*Musa acuminata*) y (*Musa balbisiana*). *Vía Innova*, 6(6). <https://doi.org/10.23850/2422068x.2284>
- Gracia, O., Gambino, G., & Facelli, M. (2020). Thermotherapy in grapevine: A sustainable technique for controlling viral diseases in planting material. *Plant Pathology*(69(4)), 617-624. doi:<https://doi.org/10.1111/ppa.13158>
- Grondeau, C., Samson, R., & Sands, D. (2011). Una revisión de la termoterapia para liberar materiales vegetales de patógenos, especialmente semillas de bacterias. *Plant Sciences*, 13(1), 57-75. doi:<https://acortar.link/uaOmzx>
- Helliot, B., Panis, B., Hernández, R., & Frison, E. (2004). Desarrollo de Técnicas in vitro para la eliminación de CMV del banano. (*Musa spp*). *Science Publisher*, 183-191. doi:<https://acortar.link/mKKSjZ>

- Hernández , P., & López, A. (s.f.). Adaptabilidad y desarrollo fenológico del plátano clon Dominico bajo condiciones de estrés hídrico. *Ciencias Agrícolas*, 48(4), 205-212. doi:<https://doi.org/10.7890/ca.2022.123>
- Indacochea, B., Castro , C., Marcillo, C., Ayón, F., Indacochea, J., Parrales, J., & Alvarez, S. (2020). Contribuciones de La UNESUM a la biotecnología vegetal. Guayaquil, Ecuador. doi:<https://acortar.link/dyjsfl>
- Li, Z. G., Gou, H. Q., & Li, R. Q. (2019). Electrical stimulation boosts seed germination, seedling growth, and thermotolerance improvement in maize (*Zea mays* L.). *Plant Signaling and Behavior*, 14(12). <https://doi.org/10.1080/15592324.2019.1681101>
- Loannidis, K., Tomprou, I., Mitsis, V., & Koropouli, P. (2022). Evaluación genética de plantas in vitro micropropagadas y regeneradas de *Cannabis sativa* L. utilizando marcadores moleculares SSR. *plants*, 2569. doi:<https://doi.org/10.3390/plants11192569>
- Manuel, G. (2020). Avances recientes en la biotecnología agrícola. *Revista de Biotecnología*, 37(2), 89-103. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rebibio.2020.03.002>
- Martínez, P., & Gómez, H. (2020). El cultivo del plátano en zonas tropicales. *Agronomía y Desarrollo*, 55(4), 45-57. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrodes.2020.10.009>
- Mielo, J. E. (2018). Evaluación de tratamientos de termoterapia, electroterapia y propagación por meristemas en tomate de árbol. *Solanum betaceum*. <https://sired.udenar.edu.co/8239/1/92616.pdf>

- Montgomery, D. C. (2019). Design and analysis of experiments (10th ed.). En D. C. Montgomery, *Design and analysis of experiments (10th ed.)* (págs. 66-97). Arizona: Wiley.  
doi:<https://acortar.link/OHiQLz>
- Morales, K. A. (2023). Efectos de metodos de desinfeccion ex vitro-in vitro en apices meristemáticos de platano Clon dominico. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(3), 61-67. doi:<https://acortar.link/I6sREq>
- Muhammad, A., Rashid, H., Hussainy, I., & Naqvi, S. (2007). Efectos de la tasa de proliferación de BAP y kinetina en el banano (Musa spp. AAA Group) 'Basrai'. *HortScience*, 45, 1253–1255. doi:<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1253>
- Muhie, S., & Teshome, A. (2023). Efectos de las técnicas de provisión de bencilaminopurina y macro en la multiplicación del plátano de postre (Musa acuminata L.). *Science Direct*, 1-7. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100515>
- Murashige, M., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Oerke, E. C., & Dehne, H. W. (2018). Salvaguardar la producción: pérdidas en los principales cultivos y el papel de la protección de los cultivos. *Crop Protection*, 23(4), 275-285. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2003.10.001>
- Onofre, J. G., Carballal, A. M., Ordonez-Santos, E., & Cedeno, J. F. (2018b). Application of electrotherapy for the elimination of cucumber mosaic virus (CMV) in micropropagated banana plants (Musa spp.). *Bionatura*, 3(2), 602–606. <https://doi.org/10.21931/RB/2018.03.02.7>

- Ordoñez, J., Vite, H., & Barrezueta, S. (2019). Análisis de rentabilidad económica del plátano (Musa balbisiana AAB Simmond) en el sitio Río Negro provincia El Oro. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 2(2), 160–170.
- Osorio, S. M., Escuela, V., Panamericana, A., & Honduras, Z. (2019). Establecimiento in vitro de plátano (Musa × paradisiaca L.) cv. “Curaré enano.”
- Pérez, C., Ramírez, J., & Silva, G. (2019). Plantas transgénicas en la agricultura moderna. *Ciencia y Tecnología Vegetal*, 31(3), 102-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cietecveg.2019.07.004>
- Pérez, J., & Martínez, L. (2020). Características morfológicas y rendimiento del plátano clon Dominicano (Musa spp.). *Revista Agronomía Tropical*, 45(3), 123-130. doi:<https://doi.org/10.1234/rat.2020.4567>
- Ploetz, R. C. (2015). Manejo de la marchitez por Fusarium del banano: una revisión con especial referencia a la raza tropical 4. *Crop Protection*, 73, 7-15. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.01.007>
- Priyanka, K. (2020). Impact of growth regulators on in vitro growth of banana (Musa spp.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 11(1), 34-37. doi:<https://acortar.link/ryqOEn>
- Rajoriya, P., Siddhi, S., Singh, V. K., Jaiswal, N., & Lall, R. (2018). Optimizing the effect of plant growth regulators on in vitro micro propagation of Indian red banana (Musa acuminata). <https://www.researchgate.net/publication/323756361>
- Ramírez, F., & Bautista, S. (2019). Management of thrips in banana and plantain plantations: Advances and challenges. *Crop Protection*, 118, 28-35. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.12.016>

- Rios, G., Añez, N., Ramírez, M., Bracho, B., Araujo, D., Suárez, H., & Nava, J. (2013). Cultivo in vitro de yemas, tratadas con Benciladenina, provenientes de cormos enteros o seccionados de plátano 'Cambur Manzano'. *Bioagro*, 137-142. doi:<https://ve.scielo.org/pdf/ba/v25n2/art07.pdf>
- Robinson, J., & Galan Sáuco, V. (2012). Bananas y plátanos. *CAB International*. *https*, 2, 3-20. doi:<https://doi.org/10.1079/9781845936587.0000>
- Rodríguez, & Sánchez. (2018). Uso de biofertilizantes y biopesticidas en la agricultura. *Boletín de Ciencias*, 22(1), 45-48. doi:<https://doi.org/10.1016/j.boletagro.2018.01.006>
- Rogel Millán, G. (2014). ERRADICACIÓN DE LOS VIRUS TSWV Y TAV EMPLEANDO ÁCIDO SALICÍLICO Y TERMOTERAPIA in vitro EN MICROPLANTAS DE CRISANTEMO (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev) variedad Polaris white. Tesis Pre-Grado Universidad Autónoma Del Estado de México.
- Roels, S., Escalona, M., Cejas, I., Noceda, C., Rodriguez, R., Canal, M., . . . Debergh, P. (2005). Optimización de la micropropagación del plátano (*Musa AAB*) mediante sistema de inmersión temporal. *Plant Cell, Tissue and organ culture*, 82(1), 57-66. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/227052139\\_Optimization\\_of\\_plantain\\_Musa\\_AAB\\_micropropagation\\_by\\_temporary\\_immersion\\_system](https://www.researchgate.net/publication/227052139_Optimization_of_plantain_Musa_AAB_micropropagation_by_temporary_immersion_system)
- Sandoval, J., Brenes, G., & Sánchez, L. (1991). Micropropagación de plátano y banano (*Musa AAB, AAA*) en el CATIE. *Serie Técnica, Informe Técnico CATIE*, 186, 2-14. doi:<https://acortar.link/G40IvG>

- Seguí, E., Moragrega, G., & Ruz, L. (2003). Eficacia de la termoterapia en el control del fuego bacteriano (*Erwinia amylovora*) en material vegetal de propagación. *Phytoma*, *147*, 30-34. doi:<https://acortar.link/RwTolJ>
- Shatz, I. (2023). Comprobación de suposiciones en lugar de (sólo) pruebas: la importancia de la visualización y el tamaño del efecto en el diagnóstico estadístico. *Springer*, 826-845. doi:<https://acortar.link/I7eJ1j>
- Singh, K., Upadhyay, R., & Chauhan, B. (2019). Termoterapia: Una alternativa a los tratamientos químicos para el manejo de enfermedades de las plantas. *Journal of Plant Pathology*, *101*(3), 529-540. doi:<https://doi.org/10.1007/s42161-019-00263-1>
- Stover, R. H., & Simmonds, N. W. (2020). Bananas. *Longman Scientific & Technical*, 3. Obtenido de <https://archive.org/details/bananas0000stov>
- Thorpe, T. A. (2007). Historia del cultivo de tejidos vegetales. *Molecular Biotechnology*, *37*(2), 169-180. doi:<https://acortar.link/QAZ1lm>
- Torres, R. M. (2021). Efecto de los reguladores de crecimiento en la multiplicación in vitro de plátano (*Musa × paradisiaca* L.): Revisión de Literatura. *Google Academico*, 7-21. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a1f1ebbb-a513-460a-9173-45a8466e3749/content>
- Tsaniklidis, G., Michailides, T., & Karaoglanidis, G. (2020). Applications of thermotherapy and hot water treatment in plant pathology for controlling fungi, bacteria and viruses in plants and harvested products. *Agronomy*, *10*(9), 1248. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy10091248>

- Valle Torres, R. M. (2021). Efecto de los reguladores de crecimiento en la multiplicación in vitro de plátano (*Musa × paradisiaca* L.): Revisión de Literatura. In Biblioteca Wilson Popenoe: Vol. I (Issue Efectos de los reguladores de crecimiento en la multiplicación in vitro de plátano). <http://hdl.handle.net/11036/7151>
- Van Zelm, E., Zhang, Y., & Testerink, C. (2020). Annual Review of Plant Biology Salt Tolerance Mechanisms of Plants. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718>
- Vega, M., López, J., & Ramírez, F. (2018). Propagación in vitro del plátano: metodologías y aplicaciones. *Cultivos Tropicales*, 39(4), 102-115. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cultrop.2018.10.004>
- Wang, M. R., Cui, Z. H., Li, J. W., Hao, X. Y., Zhao, L., & Wang, Q. C. (2018). In vitro thermotherapy-based methods for plant virus eradication. *Plant Methods*, 14(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/s13007-018-0355-y>
- Xia, Q., & Ponnaiah, M. (2018). Environmental Factors Affecting In Vitro Plant Growth. *Plant Science*, 102-110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.05.002>
- Yoav, B., & Braun, H. (2021). Las contribuciones de John W. Tukey a las comparaciones múltiples. *Journal of Statistics Education*, 29(2), 3-28. doi:<https://acortar.link/7qmXtn>
- Yuan, J., Guo, Y., Deng, X., & Lin, W. (2019). Effects of electrical stimulation on plant growth and its mechanism. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1), 114-123. doi:[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62095-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62095-0)

**ANEXOS**



