



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA PESCA Y**  
**VETERINARIA**  
**CARRERA DE AGROPECUARIA**



**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Trabajo de Integración Curricular, presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo para obtener el título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**TEMA:**

Disminución de la fenolización en la etapa de inducción *in vitro* de explantes de banano (*Musa*, AAA) cv. Williams con diferentes antioxidantes bajo condiciones de laboratorio.

**AUTORA:**

Solange Maholi González Reina

**TUTOR:**

Ing. Walter Oswaldo Reyes Borja, Ph.D.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

**2024**

## Contenido

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	X
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Contextualización de la situación problemática .....	1
1.1.1. Contexto Internacional .....	1
1.1.2. Contexto Nacional.....	1
1.1.3. Contexto Local .....	2
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.4.1. Objetivo general .....	5
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
1.5. HIPÓTESIS .....	5
1.5.1. Hipótesis nula.....	5
1.5.2. Hipótesis alterna .....	5
CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Antecedentes .....	6
2.2. Bases teóricas .....	6
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	17
3.2. Operacionalización de variables.....	17
3.3. Población y muestra .....	18
3.3.1. Población.....	18
3.3.2. Muestra .....	18
3.4. Técnicas e instrumentos de medición .....	18
3.4.1. Técnicas .....	18

<b>3.4.2. Instrumentos .....</b>	<b>19</b>
<b>Procedimiento práctico del trabajo experimental .....</b>	<b>20</b>
<b>3.5. Procesamiento de datos .....</b>	<b>20</b>
<b>3.6. Aspectos éticos .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Resultados .....</b>	<b>25</b>
<b>4.2. Discusión .....</b>	<b>42</b>
<b>CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1. Conclusiones .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2. Recomendaciones .....</b>	<b>45</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>.....</b>	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generalidades del cultivo de banano.....	7
Figura 2: Representación de las Fases Fenológicas de la planta de banano.....	9
Figura 3: Fitohormonas vegetales más comunes en la naturaleza.....	11
Figura 4: Estructura compuesta del fenol.....	12
Figura 5: Etapas de desarrollo y fenolización en explantes de banano <i>in vitro</i> .....	13
Figura 6: Etapas de desarrollo y fenolización de explantes.....	14
Figura 7: Tratamientos de desinfección en cormos de banano.....	15
Figura 8: Comparación de medias de los tratamientos Carbón activado (CA), Agua destilada (T-AD testigo), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido ascórbico (AA), y Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el primer día.....	26
Figura 9: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el primer día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: T. siembra directa, C: carbón activado, D: EDTA, E: T. agua destilada.....	26
Figura 10: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el segundo día.....	27
Figura 11: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el segundo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: T. siembra directa, C: EDTA, D: carbón activado, E: T. agua destilada.....	28
Figura 12: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino	

tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el tercer día ..... 29

Figura 13: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el tercer día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: agua destilada, C: T. siembra directa, D: EDTA, E: ácido ascórbico..... 29

Figura 14: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el cuarto día ..... 30

Figura 15: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el cuarto día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: EDTA, D: ácido ascórbico, E: T. siembra directa ..... 31

Figura 16: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el séptimo día ..... 32

Figura 17: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el séptimo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: EDTA, D: ácido ascórbico, E: T. agua destilada..... 32

Figura 18: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el octavo día..... 33

Figura 19: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: EDTA, C: T. siembra directa, D: carbón activado, E: T. agua destilada..... 34

Figura 20: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el noveno día .....	35
Figura 21: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: T. agua destilada, B: carbón activado, C: T. siembra directa, D: EDTA, E: ácido ascórbico .....	35
Figura 22: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada.....	36
Figura 23: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: carbón activado, C: EDTA, D: T. agua destilada, E: T. siembra directa.....	37
Figura 24: Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada.....	38
Figura 25: Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: T. siembra directa, D: EDTA .....	38
Figura 26: Efecto de los antioxidantes sobre el tiempo de desarrollo y vigor de los explantes de banano (Musa AAA) alcanzados para el día 11 .....	41
Figura 27: Efecto de los antioxidantes sobre el tiempo de desarrollo y vigor de los explantes de banano (Musa AAA) para el día 11; A: Ácido ascórbico, B: EDTA, C: Carbón activado, D: T. agua destilada, D: T. absoluto .....	41

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuadro de Operacionalización de variables.....	17
Tabla 2: tratamientos del estudio: “Efectos en la disminución de la cantidad de fenoles en explantes de banano <i>in vitro</i> bajo condiciones de laboratorio”.....	21
Tabla 3: Escala de medición de fenoles.....	22
Tabla 4: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 1.....	25
Tabla 5: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 2.....	27
Tabla 6: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 3.....	28
Tabla 7: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 4.....	30
Tabla 8: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 7.....	31
Tabla 9: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 8.....	33
Tabla 10: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 9.....	34
Tabla 11: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 10.....	36
Tabla 12: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 11.....	37

Tabla 13: Tasa de supervivencia de los explantes de banano (Musa AAA)  
..... 39

Tabla 14: Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis en  
la variable tiempo de desarrollo y vigor de los explantes.  
..... 40



## RESUMEN

El presente estudio de investigación se fundamenta en mejorar la viabilidad y el desarrollo de los explantes de banano cv. Williams, lo cual es esencial para la propagación de este, esto se traduce en un aumento de la producción de plántulas sanas, reducción de costos y mejora en la calidad del cultivo. El objetivo principal de la investigación fue disminuir la cantidad de fenoles en explantes *in vitro* de banano cv. Williams mediante el uso de diferentes antioxidantes durante la primera fase de inducción en condiciones de laboratorio. Los tratamientos utilizados fueron: T1 (ácido ascórbico), T2 (carbón activado), T3 EDTA (Ácido etilen diamino tetra acético), T4 (Testigo con Agua Destilada) y T5 (Testigo absoluto de siembra directa sin pre-tratamiento). Las variables estudiadas: presencia de fenoles en los explantes, tiempo de desarrollo y vigor de los explantes, tasa de supervivencia de los explantes pre-tratados. La información obtenida de las variables, fue tabulada mediante el análisis de varianza de Kruskal Wallis incluyendo su comparación de medias ( $p < 0.05$ ).

En lo referente a los resultados, los datos analizados mostraron diferencias altamente significativas ( $p < 0,0001$ ) en cuanto a la reducción de fenoles en los explantes de banano, indicando que los tratamientos antioxidantes fueron exitosos en distintas intensidades y rangos; dos tratamientos fueron los que mostraron mayor eficacia, T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), con un porcentaje de fenolización entre 50,42% y 66,46%, por ende el mayor éxito de explantes vinieron de estos tratamientos, mostrando mayor eficacia en comparación a los demás, siendo los más óptimos y a la vez permitieron pasar a la siguiente etapa de multiplicación.

Palabras clave: fenolización, banano cv. Williams, explantes, antioxidantes, *in vitro*, biotecnología.

## ABSTRACT

The present research study is based on improving the viability and development of banana cv. Williams, which is essential for the propagation of this, this promote into an increase in the production of healthy seedlings, cost reduction and improvement in crop quality. The main objective of the research was to reduce the amount of phenols in *in vitro* explants of banana cv. Williams by using different antioxidants during the first phase of induction under laboratory conditions. The treatments used were: T1 (ascorbic acid), T2 (activated carbon), T3 EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid), T4 (Control with Distilled Water) and T5 (Absolute control of direct seeding without pre-treatment). The variables studied: presence of phenols in the explants, development time and vigor of the explants, survival rate of the pre-treated explants. The information obtained from the variables was tabulated by Kruskal Wallis' analysis of variance, including its comparison of means ( $p < 0.05$ ).

Regarding the results, the analyzed data showed highly significant differences ( $p < 0.0001$ ) in terms of phenol reduction in banana explants, indicating that antioxidant treatments were successful in different intensities and ranges; two treatments were the ones that showed greater efficacy, T2 (activated carbon) and T4 (Control with Distilled Water), with a phenolization percentage between 50.42% and 66.46%, therefore the greatest success of explants came from these treatments, showing greater efficacy compared to the others, being the most optimal and at the same time allowed to move on to the next stage of multiplication.

Keywords: phenolization, banana cv. Williams, explants, antioxidants, *in vitro*, biotechnology.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Contextualización de la situación problemática

### 1.1.1. Contexto Internacional

El Banano (*Musa*, AAA) es una fruta tropical de influencia internacional, de gran importancia económica y social, dado que es un alimento esencial y uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, siendo los mayores exportadores Ecuador, Filipinas y Costa Rica, y correspondientemente Estados Unidos, Alemania y Bélgica liderando importaciones, la producción del banano a gran escala contribuye a la reducción de costos facilitando el acceso a precios asequibles a los diferentes mercados internacionales (Castro 2024).

### 1.1.2. Contexto Nacional

Las exportaciones de uno de los productos más importantes en Ecuador, calculada en cajas de 18,14kg, aumentaron significativamente en un 4,57% en el año 2023, en comparación con el año 2022, según datos de la Asociación de Comercialización y Exportación de banano (Acorbanec), Los incrementos en las exportaciones hacia países compradores fue respectivamente el siguiente: La Unión Europea con un 25,15%; Rusia con un 10,62%; Estados Unidos con un 10,98%; y Reino Unido con un 30,64%, el presidente de Acorbanec especificó que el aumento en el mercado se debe a la alta demanda durante esta época del año y la buena producción que había obtenido Ecuador (Zumba 2024).

La micropropagación *in vitro* es una técnica que posibilita la reproducción a gran escala de plantas libres de organismos fitopatógenos, siendo una herramienta clave en el mejoramiento genético, aprovechando las características de la célula vegetal nucleada, se puede desarrollar un nuevo individuo gracias a la totipotencia celular, dando lugar directamente a órganos o embriones somáticos, conocido como organogénesis o embriogénesis directa (Echenique y Mamani 2021).

### 1.1.3. Contexto Local

Para establecer el banano en un medio de cultivo, es esencial utilizar material genético que esté libre de plagas y enfermedades, se especifican que hay varias técnicas de propagación utilizadas en musáceas; sin embargo, el banano y el plátano tienen dificultades para reproducirse sexualmente, lo que hace necesario emplear otras técnicas para su propagación, destacando entre ellas a la micropropagación *in vitro*, dado que de un explante se pueden sacar más plantas gracias a la totipotencia celular (Saltos 2017).

El género *Musa* puede multiplicarse rápidamente a través de técnicas de micropropagación; sin embargo, durante la etapa de establecimiento del cultivo *in vitro* en algunas muestras, es común la presencia de microorganismos, la oxidación fenólica de los tejidos, baja viabilidad y escasa brotación, es por ello que es necesario realizar pretratamientos a los explantes para mejorar el establecimiento de los explantes y aumentar la población con éxito (Ancasi *et al.* 2016).

Los fenoles son producidos por enzimas como las polifenol oxidasas y tirosinasas, las cuales los sintetizan y liberan en el tejido junto con otras proteínas en forma de exudados cuando reciben una señal de herida o corte, esto tiene como propósito formar una barrera protectora contra agentes externos para evitar que puedan ingresar enfermedades causadas por hongos, bacterias, sin embargo, durante la etapa de establecimiento, esto reduce el crecimiento y la viabilidad de los explantes, reduciendo con ello la capacidad de replicar dicho material (Lima *et al.* 2023).

Este trabajo de investigación conlleva a realizar varios tratamientos con antioxidantes de diferentes composiciones para disminuir la incidencia fenólica sobre los explantes de banano y permitir su normal desarrollo para que continúen a la siguiente etapa que es la de estimulación de brotes y continuar de manera normal con los procesos de multiplicación.

## 1.2. Planteamiento del problema

El establecimiento *in vitro* de tejidos vegetales, está en gran medida, limitado por la ocurrencia de oscurecimientos letales en los explantes y en el medio de cultivo, esto constituye uno de los problemas más serios y frecuentes, desde el inicio y durante el mantenimiento de un tejido cultivado *in vitro* (Azofeifa 2009). Con la técnica del cultivo *in vitro* se logra aumentar la cantidad de material vegetal, obteniendo un gran número de plántulas en menor tiempo, a partir de un solo explante (meristemo), consiguiendo que este material esté libre de enfermedades, reduciendo así los costos de producción (Mamani 2022).

Dado lo tardío que es propagar sexualmente el banano, se manejan técnicas de propagación asexual que resultan mejor en calidad, tiempo y costo; sin embargo, en el desarrollo del cultivo *in vitro* de banano, surge el desafío de la fenolización un fenómeno que implica la oxidación de compuestos fenólicos, mediada por la enzima polifenol oxidasa (PPO), generando quinonas, estas son sustancias químicas altamente reactivas que pueden ocasionar daño e incluso la muerte celular debido a su propensión a reaccionar (Sánchez 2019).

El desarrollo de los explantes a menudo se ven afectados por la oxidación causada debido a la expulsión de fenol, un compuesto químico natural que sucede en respuesta a los cortes que se hacen para poder acceder al ápice meristemático contenido en el cormo e introducirlos al medio de cultivo, un problema que sin duda afecta a los explantes que se manejan mediante propagación *in vitro*, esto es porque el nivel de oxidación provoca que el explante en cuestión tome un tipo de coloración café oscuro y posteriormente el tejido se necrose y muera, la probabilidad de que un explante pase la primera fase *in vitro* con éxito es de media a baja, por ende, se debe trabajar en mejorar esta problemática.

### **1.3. Justificación**

El presente estudio, se orienta a la evaluación de antioxidantes bajo un ambiente de laboratorio, fundamental para mejorar el cultivo *in vitro* de banano. La fenolización, provocada por la oxidación de explantes debido a los cortes para acceder a sus tejidos, representa un reto importante para la salud y regeneración de los tejidos, establecer los antioxidantes más efectivos permitirá manejar prácticas que neutralicen los efectos de oxidación, progresando en la eficacia y subsistencia de los explantes de banano.

Desde un punto de vista práctico, el estudio tiene la capacidad de volver eficaz y sostenible la producción de banano, algo de vital importancia para la economía, al optimizar las técnicas de cultivo, no solo favorecerá a los agricultores incrementando la productividad y reduciendo pérdidas, sino que también asegurará la disponibilidad constante de plántulas de banano que posteriormente se sembrarán las mismas que brindarán un alimento sustentable, fortaleciendo la seguridad alimentaria de muchas familias donde este es considerado un alimento esencial. De este modo, los resultados obtenidos dentro de la investigación no solo promoverán un aporte científico a la biotecnología vegetal, sino que generarán impactos positivos dentro de la economía y la asistencia de comunidades dependientes del cultivo de banano.

La importancia de la investigación va más allá de beneficios propios en la producción de banano, la mejora de las prácticas de cultivo y reducción de fenoles en los explantes pueden representar una parte fundamental en la conservación de recursos naturales, al mejorar la producción de banano se reduce la presión sobre los ecosistemas, evitando la expansión de áreas de cultivo y la sobreexplotación de recursos, promoviendo prácticas agrosostenibles, este proyecto ayudará a preservar la diversidad genética del banano, favoreciendo a la conservación medio ambiental y las comunidades dependientes del cultivo.

## **1.4. Objetivos de investigación**

### **1.4.1. Objetivo general**

Disminuir la acción de fenolización frente a los explantes de banano (*Musa AAA*) *in vitro* bajo condiciones de laboratorio.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar los efectos de los antioxidantes del estudio, contemplando su eficacia y efectividad para el control de la fenolización.
- Establecer protocolos de aplicación adecuados de cada antioxidante para reducir los niveles de fenol en los explantes de banano.
- Examinar los resultados obtenidos, valorando la eficiencia de los antioxidantes y seleccionar aquellos que muestren avances en la reducción de fenoles en los explantes de banano beneficiando así a la viabilidad de los mismos.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis nula**

La aplicación de antioxidantes en la etapa de inducción *in vitro*, no muestra efecto significativo en la reducción de fenoles en explantes de banano.

### **1.5.2. Hipótesis alterna**

La aplicación de por lo menos un antioxidante en la etapa de inducción *in vitro*, muestra efecto significativo en la reducción de fenoles en explantes de banano.

## CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Echenique y Mamani (2021), mencionan en su investigación que el porcentaje de oxidación o fenolización mostró efectos altamente significativos entre los distintos medios de cultivos pre-tratados dentro del proceso de establecimiento de los cultivos *in vitro* de banano.

Concepción et al. (2005), demuestran dentro de sus estudios que el 100% de los explantes de guayaba (*Psidium guajava* L.) presentaron niveles de fenolización al hacer pruebas con los antioxidantes ácido ascórbico, L- cisteína y ácido cítrico; sin embargo, no todas mostraron la misma intensidad de fenolización, clasificando al ácido cítrico con una menor intensidad de fenolización, y posteriormente seguidas del ácido ascórbico con una media a mayor intensidad en la presencia de fenoles.

### 2.2. Bases teóricas

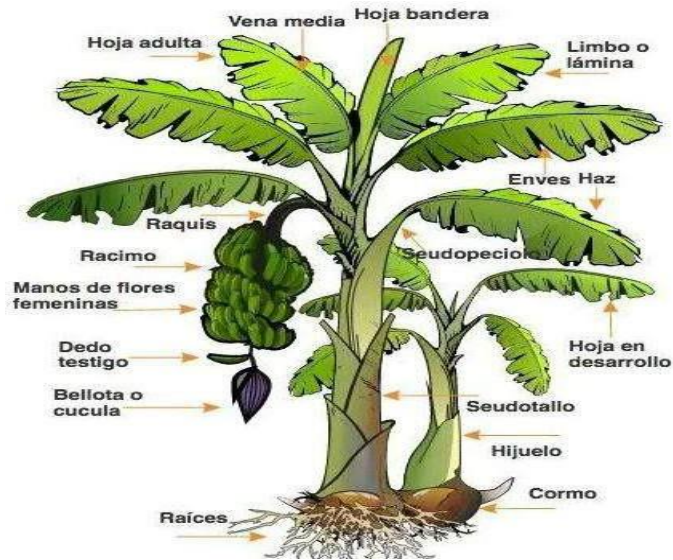
#### Importancia del banano

En Ecuador, la comercialización de banano representa aproximadamente el 30% de los ingresos por exportaciones agrícolas, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, además, este sector contribuye con el 2% del Producto Interno Bruto (PIB) Nacional, según el Ministerio de Comercio Exterior del Ecuador y El Telégrafo. Anualmente, se exportan alrededor de 300 millones de cajas de banano, cada una de 18.14 kg, lo que generó ingresos de USD 3100 millones para el país (Cuzco et al. 2021).



## Generalidades del Banano

En la **Figura 1**, se observa planta de banano señalando cada una de las partes que la componen:



**Figura 1. Partes de una planta de banano.**

**Fuente:** Agrotendencia (2020)

## Clasificación taxonómica

El banano es una planta perteneciente al género *Musa* y se clasifica dentro de la familia *Musaceae*. Esta clasificación taxonómica es fundamental para entender su origen, evolución y las variedades que consumimos en la actualidad (Fey 2024).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Zingiberales

Familia: Musaceae

Género: *Musa*

Especie: *acuminata*

## **Morfología**

La planta de banano es considerada herbácea dispuesta con pseudotallos aéreos originados del corno carnoso, de donde se desarrollan numerosas yemas laterales denominadas hijuelos, estas hojas muestran una partición helicoidal (filotaxia espiral) y sus bases foliares rodean el tallo originándose el pseudotallo, maneja una inflorescencia terminal y crece a través del centro del pseudotallo alcanzando la superficie (Castro 2021).

### **Sistema radicular**

La planta de banano se propaga de forma asexual, mediante el uso de sus hijuelos, mismos que salen de la planta madre, tiene raíces en tonos blanquecinos con diámetros de entre 5 y 8 mm, la longitud que manejan es variable y depende de las condiciones y la nutrición que se le proporciona, pero en general pueden alcanzar hasta los 5 metros (Bajaña 2019).

### **Pseudotallo**

Se constituye de un rizoma grande, almidonado y subterráneo, coronado de yemas que se desarrollan una vez que la planta florece, en tanto que cada chupón alcanza la madurez, la yema terminal se convierte en inflorescencia al ser empujada hacia el exterior por el alargamiento del tallo, hasta que emerge en la parte superior del pseudotallo (Bautista 2021).

### **Hojas**

La hoja se integra como uno de los principales órganos de la planta, esta emerge desde el centro del pseudotallo, como un cilindro enrollado y al principio es denominada hoja bandera, el extremo distal de la vaina floral se alarga y contrae hasta formar el peciolo, dependiendo del cultivar más o menos extendido, este peciolo se convierte en la nervadura central que divide el limbo en dos láminas medias (Cantero 2021).

### **Inflorescencia**

Esta estructura compleja contiene en ella las flores que se transforman en frutos, la inflorescencia se encuentra en el tallo de donde las flores femeninas denominadas pistiladas son las que aparecen primero, el ovario se desarrolla en fruto sin semilla y sin polinización, a medida que la bráctea se va manifestando, las flores femeninas que luego se convertirán en frutos (Duarte 2021).

## Fruto

El fruto se asemeja a una baya alargada, formada a partir del ovario de una flor pistilada, cuando los óvulos abortan y se ponen negros, quedan pequeños puntos negros cuando se abre el fruto, estas vendrían a ser las semillas atrofiadas, el fruto joven tiene canales de látex que se inactivan con la maduración, el contenido de azúcar en el fruto va de 12 a 16% y de almidón entre 5 y 7% (Armas 2021).

## Aspectos fenológicos

Según Vargas *et al.* (2017), el ciclo fenológico se divide en tres grandes etapas, iniciando desde la fase 1 denominada infantil, hasta la fase reproductiva o fase 3, teniendo una duración que oscila en 404 días determinada por la variedad del cultivar y las condiciones de las regiones en las que se ubiquen.

En la **Figura 2**, se observan las etapas fenológicas de la planta de banano, la fase infantil inicia cuando el corno plantado germina y aparecen los hijuelos, a los tres meses los hijuelos alcanzan un tamaño de 50 cm con hojas escuamiformes y pardas, esta fase acaba cuando aparece la primera hoja con lámina foliar, la fase juvenil empieza después de la aparición de la hoja F10, la fase reproductiva se extiende desde la aparición de la hoja Fm (hoja funcional más joven) hasta la cosecha del fruto, con una duración de 209 días hasta la cosecha (Vargas *et al.* 2017).

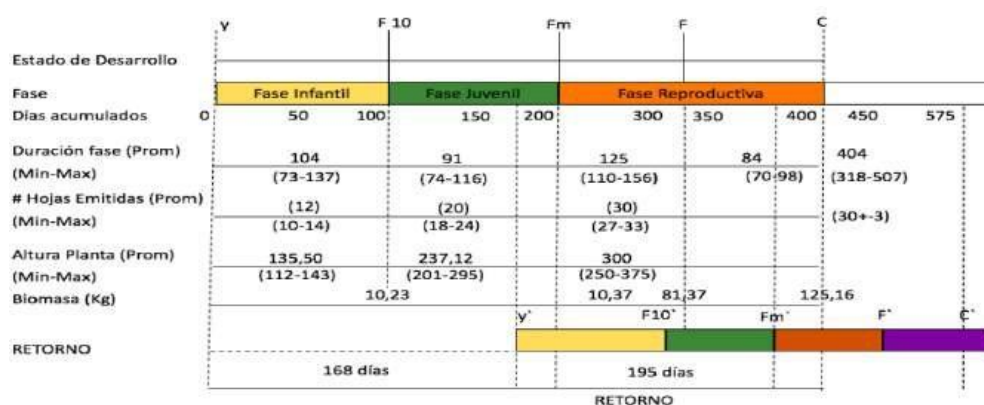


Figura 2. Representación de las fases fenológicas de la planta de banano  
fuente: Vargas *et al.* (2017)

## Requerimientos nutricionales de *Musa* AAA

La planta de banano necesita una gran cantidad de nutrientes para su crecimiento y desarrollo, los nutrientes más esenciales para el cultivo del banano son el nitrógeno y el potasio, la cantidad exacta de nutrientes requerida depende

tanto de la absorción total de nutrientes necesaria para alcanzar un rendimiento específico, como de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, por consiguiente, la absorción total de nutrientes está influenciada por las condiciones ambientales y el estado de la plantación, factores que, en última instancia, determinan el rendimiento esperado en cada ubicación (Gómez 2021).

### **Qué es biotecnología**

La biotecnología es una ciencia que abarca una gran variedad de tecnologías, desde la utilización de células para fabricar compuestos farmacéuticos y sabores alimentarios, hasta la creación de pruebas para detectar enfermedades, esto incluye el uso de enzimas purificadas en diversas industrias, esta disciplina también permite a los científicos investigar cómo interactúan las células de las raíces de las plantas con diferentes bacterias u hongos, y cómo responden las raíces a condiciones de sequía y tratamientos químicos (Enders *et al.* 2024).

La biotecnología dentro del ámbito agronómico proporciona diversas herramientas que pueden mejorar genéticamente los cultivos, ayudando a enfrentar los desafíos futuros, entre estas herramientas se encuentra el cultivo de tejidos, que facilita la selección masiva de individuos necesarios, permitiendo su estudio en condiciones controladas de laboratorio y utilizando menos espacio para esta tarea (Enders *et al.* 2024).

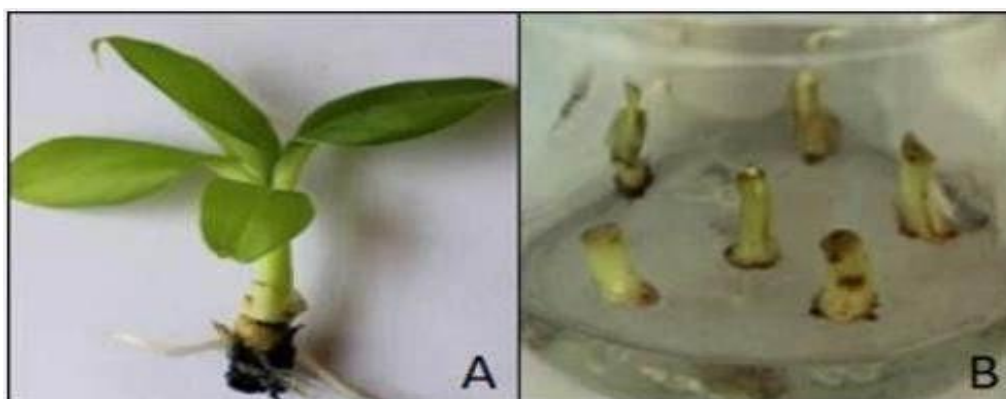
La biotecnología vegetal facilita la transferencia selectiva de una amplia gama de información genética de manera precisa y controlada, utilizando técnicas que permiten desarrollar variedades con características específicas deseadas sin incluir las no deseadas, las nuevas variedades obtenidas protegen a las plantas contra insectos, enfermedades y malas hierbas, además de mejorar la calidad y el valor nutritivo, lo que resulta en una producción abundante y saludable, al tiempo que se protege el medio ambiente (Indacochea *et al.* 2017).

## Importancia de la biotecnología en el cultivo de banano

El banano es un cultivo clave en biotecnología, utilizándose para desarrollar variedades mejoradas mediante mejoramiento genético, conservar su germoplasma en bancos de germoplasma mediante técnicas como la criopreservación y la micropropagación, producir plántulas libres de enfermedades a través de cultivos de tejidos. Estas aplicaciones contribuyen a mejorar la productividad, calidad y resistencia del banano, además de ofrecer nuevas oportunidades en el campo de la medicina y la agricultura (Leiva 2006).

## Multiplicación del banano en medio de cultivo *in vitro*

Un medio de cultivo en laboratorio es una matriz nutritiva creada para facilitar el crecimiento, desarrollo y análisis de microorganismos, células o tejidos en condiciones controladas. Contiene una mezcla de ingredientes específicos, como nutrientes, sales, vitaminas y factores de crecimiento, adaptados a las necesidades metabólicas del organismo objetivo. Los medios pueden ser sólidos, líquidos o semisólidos y pueden ser selectivos o diferenciales, dependiendo de los objetivos del estudio (Gómez 2023).



**Figura 3: Desarrollo de explantes *in vitro*.**

**Fuente:** Moreno *et al.* (2017)

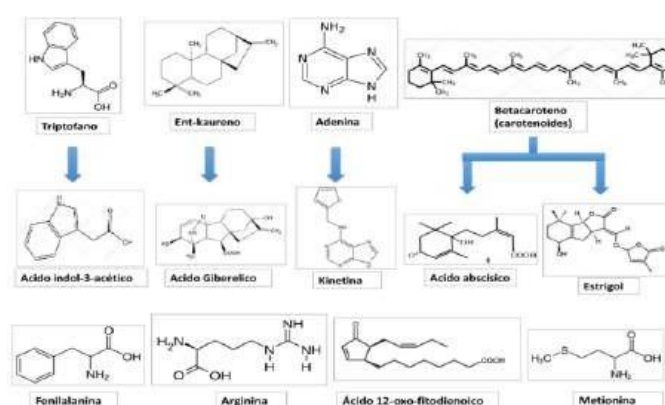
Uno de los medios más utilizados para organogénesis, embriogénesis y callogénesis en la mayoría de cultivares es el Murashige y Skoog (MS), una solución que simula los nutrientes que tendría el suelo en un ambiente controlado, este suele tener cantidades exactas de aminoácidos, macro y micronutrientes, además de fuentes de carbono, demostrando así un buen desarrollo tal y como se muestra en la **Figura 3** (Gómez 2023).

## Componentes de un medio de cultivo

Los componentes de un medio de cultivo generalmente incluyen agua, minerales, compuestos orgánicos y materiales de soporte, un medio de cultivo debe contener las mismas condiciones nutricionales de un suelo, entre ellos se puede mencionar las vitaminas, las hormonas, macro y micronutrientes, la mayoría de estos se engloban en componentes orgánicos e inorgánicos, los componentes orgánicos engloban el BAP (Benzil Amino Purina), agua de coco, carbón activado, sacarosa, phytigel o agar, etc., este último brinda el soporte que necesitamos simulando el suelo (Suarez 2020).

## Principales hormonas que se usan en los medios de cultivo

Los reguladores de crecimiento, tal y como se especifican en la **Figura 4**, pueden clasificarse según su estructura molecular, su actividad en las plantas, sus efectos inhibidores o estimulantes, entre otras categorías, la imagen muestra la clasificación de los reguladores de crecimiento más utilizados actualmente en el crecimiento vegetal y su aplicación, algunas fitohormonas se agrupan en familias, como las auxinas, que incluyen varios compuestos con estructura y actividad similares. En contraste, reguladores como el etileno son sustancias específicas sin otras conocidas que ejerzan una actividad similar (Alcantara *et al.* 2019).



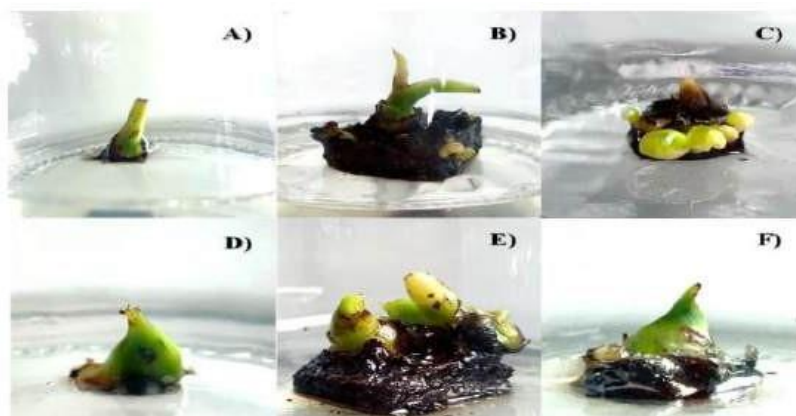
**Figura 4. Fitohormonas vegetales más comunes en la naturaleza.**  
Fuente: Alcantara *et al.* (2019)

## Qué es Oxidación

La oxidación fenólica en el cultivo de tejidos es provocada por la enzima polifenol oxidasa (PPO), la cual se libera o sintetiza cuando los tejidos resultan dañados, en el cultivo de tejidos *in vitro*, la oxidación es uno de los principales problemas del proceso, esta se debe principalmente al efecto abrasivo del agente desinfectante utilizado durante la asepsia del explante, a los cortes que se realizan en el explante, a la composición del medio de cultivo y a las características del frasco de cultivo, como su volumen y calidad (Díaz *et al.* 2021).

## Qué es fenolización

La liberación de fenoles al medio de cultivo, expresadas en la **Figura 5** reaccionan con el oxígeno enfrascado produciendo en el explante coloraciones que van desde el rojizo hasta el café amarillento y oscuro, actúan como inhibidores de crecimiento emitidos por el mismo explante, siendo capaces de causar el rápido envejecimiento, necrosamiento y posterior muerte, se han documentado diferencias en los grados de oxidación entre los cultivares de una misma especie (Velazco 2019).



**Figura 5: Etapas de desarrollo y fenolización en explantes de banano *in vitro*.**  
Fuente: Osorio (2019).

## Fenol

$C_6H_6O$  es la fórmula con la cual se identifica al fenol, los compuestos fenólicos son un grupo muy diverso de metabolitos secundarios que se distinguen por poseer uno o más grupos hidroxilo (-OH), con comportamiento ácido dado que el

oxígeno está fuertemente unido al anillo aromático, como se puede observar en la Figura 6, unida fuertemente al anillo fenilo que permite la disociación de un protón (H+) que puede ser liberado al medio (Viña 2013).

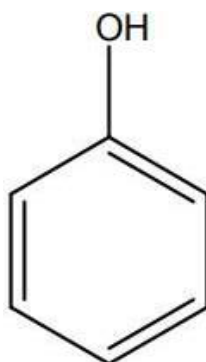


Figura 6. Estructura compuesta del fenol  
Fuente: Viña 2013

### **Protocolos de desinfección en explantes de banano *Musa AAA*.**

Una vez que los hijuelos son extraídos de manera exitosa se procede a eliminar la parte aérea, posteriormente las hojas del pseudotallo fueron eliminadas hasta poder observar los tejidos blancos del cormo, estos tejidos fueron reducidos hasta obtener un pequeño cono con meristema de entre 4-6 cm de longitud, siendo este el material de siembra para los medios de cultivo (Mongelós *et al.* 2020).

Estos mismos se desinfectaron mediante la técnica de inmersión en etanol al 70% durante 30 segundos, luego en hipoclorito de sodio en diferentes concentraciones según los tratamientos durante 5 minutos, consecuentemente se realiza un triple enjuague con agua destilada estéril, este material desinfectado fue sembrado en el medio de cultivo MS (Murashigue y Skoog, 1962) suplementando el carbón activado (3g. L), e incubado en oscuridad durante 7 días (Mongelós *et al.* 2020).

Se colectaron Colinos y se redujeron a un tamaño de 15 cm para poder obtener el meristemo, se empacaron el papel periódico húmedo para depositarlos en una nevera de icopor con gel de enfriamiento para ser transportados al laboratorio, con el fin de evaluar dos tratamientos de desinfección (Arbeláez *et al.* 2016).



Tratamiento 1 (T1):	Tratamiento 2 (T2):
Hipoclorito de sodio (3%) + benzil amino purina (BAP) + ácido ascórbico + tween + agua 15 min	Hipoclorito de sodio (5%) + Benzil amino purina (BAP) + ácido ascórbico + estreptomici-na + tween + agua 10 min

Figura 7. Tratamientos de desinfección en cormos de banano.  
Fuente: (Arbeláez et al. 2016).

Después, se lavaron los colinos con jabón neutro y se procedió a reducir los cormos en tamaños de 3-4 cm, y una vez extraídos los meristemas, una mitad se sumergieron en tratamiento de desinfección (T1), y la otra mitad se sumergieron en tratamientos de desinfección (T2), posteriormente, se realizó el enjuague con agua destilada para eliminar cualquier residuo de desinfectante (Arbeláez *et al.* 2016).

### **Agentes antioxidantes utilizados en explantes de banano *Musa AAA*.**

#### **Tratamiento con ácido per-acético**

Después de ser cortados, los explantes de aproximadamente 7 cm fueron sometidos a un proceso de asepsia minucioso, primero, se sumergieron en una mezcla de 700 ml de hipoclorito de sodio al 2% y 300 ml de agua desionizada durante 20 minutos, luego, se utilizaron cuatro frascos, cada uno conteniendo ocho explantes, para sumergirlos en ácido per-acético al 0,25%, los tratamientos incluyeron un control sin ácido per-acético (P1) y tres concentraciones de ácido per-acético: 10 ml.L-1 (P2), 20 ml.L-1 (P3), y 30 ml.L-1 (P4), al final se enjuaga con agua destilada estéril y se procede a sembrar en los medios de cultivo (Concepción 2015).

#### **Tratamiento con ácido ascórbico**

Los explantes se mantuvieron en cuartos de crecimiento durante 15 días, a 25 ± 3 °C, con 16 horas de luz proporcionada por lámparas fluorescentes, después de ser cortados y desinfectados en una solución de hipoclorito de sodio al 2% por 20 minutos, se sumergieron en ácido ascórbico durante otros 20 minutos, Posteriormente, se lavaron tres veces con agua estéril, los explantes, inicialmente

de 7 cm, fueron cortados a 3 cm, separando la región del pseudotallo, utilizando herramientas esterilizadas y flameadas constantemente (Concepción 2015).

### **Tratamiento con carbón activado**

El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivo de Tejidos de Embrapa Acre, utilizando el cultivar Grand Naine, se recolectaron plántulas tipo cuerno, que fueron limpiadas y reducidas a un tamaño de 5 cm<sup>3</sup>, luego de un lavado inicial, se desinfectaron en una cámara de flujo laminar usando alcohol al 70% e hipoclorito de sodio, seguidos de un triple lavado con agua destilada, los explantes, ahora de 1 cm<sup>3</sup>, se establecieron en frascos de vidrio con medio MS para iniciar la multiplicación, los tratamientos incluyeron combinaciones de carbón activado y N6-BAP en un diseño completamente al azar, con cinco repeticiones por tratamiento (Da Silva *et al.* 2006).

La oxidación en cultivos *in vitro* es menos severa en medios diluidos y puede reducirse utilizando antioxidantes como el ácido cítrico y ascórbico, en el cultivo de tejidos de banano, el ácido cítrico, que actúa como agente quelante, y el ácido ascórbico se añaden para prevenir la oxidación polifenólica, de estos, el ácido ascórbico, a una concentración de 25 mg L<sup>-1</sup>, es más efectivo, el oscurecimiento de los explantes es más notorio en medios sólidos, por lo que un método eficaz para evitarlo es transferir los explantes a un nuevo medio con frecuencia, especialmente durante la fase inicial del establecimiento (Utino 2001).

Los explantes viables, basados en criterios de senescencia, contaminación y oxidación, fueron reinoculados en tubos con medio MS, ahora enriquecido con la fitohormona BAP y antioxidantes como PVP (polivinilpirrolidona) y ácido ascórbico, los tubos se sellaron con una película plástica, y esta fase de multiplicación duró 60 días, se consideraron establecidos aquellos explantes que no mostraban necrosis, oxidación excesiva ni contaminación, los mejores resultados antioxidantes se obtuvieron en los tratamientos 1 y 3, probablemente debido a la efectividad del PVP (polivinilpirrolidona) en comparación con el ácido ascórbico solo (Alves *et al.* 2021).

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Conforme al presente estudio, la modalidad es cuantitativa-cualitativa con base a los datos obtenidos del trabajo experimental en laboratorio, por ello, se especifica que se manejó el Diseño Completamente al Azar (DCA). En este diseño se aplicaron 4 repeticiones con 5 tratamientos, que incluyen al testigo sin antioxidantes y el testigo absoluto correspondiente a siembra directa de los explantes en el medio de cultivo.

### Ubicación del sitio experimental

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo, situada en el Km 7 ½ de la vía Babahoyo – Montalvo. Las coordenadas geográficas del lugar son 79° 32' de Latitud Sur y 1° 49' de Latitud Oeste, con una altitud de 8 metros sobre el nivel del mar.

### 3.2. Operacionalización de variables.

**Tabla 1. Operacionalización de variables.**

	Tipo de variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Tipo de medición	Instrumentos de medición
Variable independiente	Dosis y Tipo de antioxidante	Antioxidantes utilizados en el tratamiento Concentración del antioxidante a utilizar	Evaluar la eficacia de los antioxidantes a usar Determinar la eficiencia de las concentraciones a utilizar	Tipo de antioxidantes (A, B, Etc.) Dosis a aplicar a los explantes	cuantitativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación de datos</li> <li>• Registro experimental</li> <li>• Evidencia fotográfica</li> </ul>
Variable dependiente	Porcentaje de fenolización e Índice de supervivencia	Cantidad de compuestos fenólicos presentes en los explantes	Actividades a realizar para determinar la cantidad de compuestos fenólicos en los explantes	Medición de la concentración de fenoles en los explantes	Porcentaje (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación</li> <li>• Conteo manual</li> <li>• Evidencia fotográfica</li> <li>• Escala de referencia</li> </ul>

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población.

La población estimada con la que se trabajó se menciona de la siguiente manera: se receptaron 300 colinos de banano (Anexo 1), para los cuales se seleccionaron 240 colinos, con esta población se trabajaron los tratamientos antioxidantes en el Laboratorio de Biotecnología.

#### 3.3.2. Muestra.

Dentro del laboratorio, se manejaron 48 muestras por tratamiento, en las 4 repeticiones por antioxidante, más un testigo sin antioxidantes y un testigo absoluto, como se detalla a continuación: 48 muestras con ácido ascórbico, 48 muestras con carbón activado y 48 muestras con EDTA (ácido etilen diamino tetra acético), finalmente los testigos, 48 muestras del testigo sin antioxidantes y el testigo absoluto que están comprendidos por la siembra directa sin ningún pre- tratamiento.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de medición

#### 3.4.1. Técnicas

Las técnicas empleadas dentro de la metodología se detallan a continuación:

**Pre-tratamiento:** los explantes utilizados en las muestras se trataron con soluciones antioxidantes antes de pasar al medio de cultivo.

**Centrifugado:** el pre-tratamiento se los lleva a centrifugado, colocando las soluciones esterilizadas de antioxidantes en tubos de ensayo que contuvieron en su interior algodón y encima de este, el explante de banano, sellados asépticamente (Anexo 8).

**Reproducción *in vitro*:** se utilizaron los ápices meristemáticos de los cormos de banano, en este caso, los explantes ya tratados pasaron al medio de cultivo (Anexo 13), y desde ese momento, observamos su comportamiento dentro de la etapa inductiva.

### 3.4.2. Instrumentos

- Autoclave
- Balanza de precisión
- Cámara de flujo laminar
- Centrifuga
- Medidor de pH
- Plato Caliente-Agitador
- Destilador de agua

#### **Materiales**

- Algodón
- Atomizador
- Bandejas de metal o de plástico
- Bisturíes
- Cuchillo
- Frascos de 4 oz
- Guantes
- Marcadores indelebles
- Mascarillas y gorros para el cabello
- Bata de laboratorio
- Mecheros
- Papel aluminio
- Papel kraft
- Pinzas metálicas
- Pipetas y probetas
- Vasos de precipitación

#### **Insumos o reactivos**

- Alcohol al 70%
- Alcohol al 90%
- Hipoclorito de sodio
- Medio de cultivo MS (Murashige-Skoog)
- Ácido ascórbico

- Carbón activado
- EDTA (ácido etilen diamino tetra acético)

### **Procedimiento práctico del trabajo experimental**

Una vez se reciben los hijuelos de banano (Anexo 1), se procede a realizar la reducción del cormo hasta quedar el tejido blanco de modo que podamos acceder al tejido meristemático (Anexo 2), luego de este procedimiento en campo, los cormos son llevados a laboratorio, donde se lleva a cabo el protocolo de desinfección indicados en el Anexo 4 y 5, estos cormos fueron desinfectados con hipoclorito de sodio de 5-10 minutos para luego enjuagarse con agua destilada y pasar a la cámara de flujo laminar (Anexo 9) para el siguiente paso.

Una vez en tengamos todos los materiales en la cámara de flujo laminar, el siguiente paso realizado fue reducir el cormo hasta llegar al meristemo, es decir reducirlo hasta 3-4 cm de longitud (Anexo 12) y colocarlos en los tubos de ensayo con la solución antioxidante correspondiente a cada tratamiento, después, pasaron a centrifugación a 100 revoluciones por minuto durante 5 minutos (Anexo 8), una vez terminado el centrifugado, se retiraron los explantes y se llevaron de vuelta a la cámara de flujo laminar donde se los paso al medio de cultivo (MS) (Anexo 13), posteriormente se procedió a evaluar cada uno de los tratamientos realizados en lapsos de 24 horas durante 11 días (Anexo 6), tal y como se muestra a continuación en procesamiento de datos.

### **3.5. Procesamiento de datos**

#### **Tratamientos**

Se evaluaron tratamientos, compuestos por antioxidantes, mismos que se distribuyen en dosis respectivamente, y testigos como comparativos para el trabajo experimental, tal como se observa en la **Tabla 2** a continuación.

**Tabla 2. Tratamientos a manejarse dentro del estudio: “Efectos en la disminución de la cantidad de fenoles en explantes de banano in vitro bajo condiciones de laboratorio”**

<b>Tratamiento</b>	<b>Antioxidante</b>	<b>Dosis</b>
<b>T1</b>	Ácido ascórbico	100 mg/L
<b>T2</b>	Carbón activado	6,0 g/L
<b>T3</b>	Ácido etilen diamino tetra acético EDTA	6,0 g/L
<b>T4</b>	Testigo	Tratamiento con agua destilada estéril
<b>T5</b>	Testigo absoluto	Testigo sin pre-tratamiento

## **Datos evaluados**

### **Presencia de fenoles en los explantes**

Para realizar el pre-tratamiento de los explantes de banano, se colocaron las dosis correspondientes de cada uno de los antioxidantes especificados en la **Tabla 2**, diluidos en agua destilada esterilizada dentro de los tubos de ensayo con algodón, posteriormente con los explantes, sellados asépticamente, estos se centrifugaron a 100 rpm por 5 minutos (Anexo 8), en donde con la fuerza y velocidad se indujo a vaciar los jugos celulares del tejido y estos a su vez reemplazados por la solución antioxidante, una vez terminado este proceso, los explantes fueron retirados del tubo de ensayo y se sembraron al medio de cultivo (MS) (Anexo 13).

Tras aplicar los tratamientos antioxidantes a los explantes, se procedió a determinar la presencia de fenoles en los ápices meristemáticos, las evaluaciones se llevaron a cabo de manera continua cada 24 horas a partir del día después de la siembra en el medio, esto con el fin de medir el nivel de fenolización en los explantes, para ello se empleó una escala cualitativa adaptada de la utilizada por Concepción *et al.* (2005), mostrada en la **Tabla 3** a continuación.

**Tabla 3. Escala de medición de fenoles.**

Valor de la escala	Descripción	Porcentaje (%)
1	Poco fenolizado	Cuando el 10-40 % del volumen del explante presenta señales de fenolización leves.
2	Medianamente fenolizado	Para explantes con el 40-70 % del volumen fenolizado y con presencia de un anillo de color marrón en el medio alrededor del explante.
3	Muy fenolizado	Explantes donde el 100 % de su volumen se encontraba fenolizado, ya necrosado y además se observan aureolas o anillos de color oscuro muy intenso en el medio.

Fuente: Concepción *et al.* (2005).

### **Tiempo de desarrollo y vigor de los explantes tratados con antioxidantes.**

Una vez aplicados los antioxidantes a los 3 tratamientos, los dos restantes fueron controles sometidos al mismo proceso que los demás, pero sin tratamiento antioxidante, de este modo se obtuvo diferentes perspectivas, y así se valoró esta variable.

En esta variable los explantes de banano fueron tratados con diferentes antioxidantes, se utilizó una escala de 1 a 4 para medir el nivel de ensanchamiento, posteriormente, se evaluó durante 11 días, siendo el último día el que se tomó como punto de evaluación, ya que después de transcurrido dicho tiempo, se evaluó si los explantes lograron su desarrollo.

Se midió el tiempo que tardan los explantes en comenzar su desarrollo, así como su vigor, esto se estimó según el grado de ensanchamiento y crecimiento que alcanzaron los explantes, asignándoles los siguientes valores:

1. Explante sin crecimiento o ensanchamiento.
2. Explante iniciando ensanchamiento.
3. Explante con ensanchamiento medio.
4. Explante muy ensanchado.

Comunicación personal: Reyes, W. Junio 02, 2024.



## **Tasa de supervivencia**

La tasa de supervivencia de los explantes tratados con antioxidantes fue un dato crucial para este estudio, se realizó un seguimiento minucioso del desarrollo de los explantes bajo diversos tratamientos antioxidantes, incluyendo el grupo de control sin tratamiento, para gestionar estos datos en este contexto; y así, determinamos el porcentaje de supervivencia, La tasa de supervivencia para cada tratamiento se calculó utilizando la fórmula:

$$(\%) = (\text{Número de sobrevivientes} / \text{Número total de explantes}) \times 100.$$

Una vez que los explantes fueron tratados y sembrados en el medio de cultivo, se evaluó mediante la observación directa, su desarrollo y se identificó entre ellos, el nivel de fenoles expresados, en desarrollo de los explantes y el porcentaje explantes que sobrevivieron durante el proceso.

### **3.6. Aspectos éticos**

En el contexto de la investigación científica, el plagio consiste en utilizar ideas o contenidos ajenos como si fueran propios. Es plagio, tanto si obedece a un acto deliberado como a un error. La práctica de aspectos éticos, se garantiza de conformidad en lo establecido en el Código de Ética de la UTB.

Para la aprobación de la UIC, se generará un reporte del software anti-plagio, para garantizar la aplicación de aspectos éticos, con los que el estudiante demostrará honestidad académica, principalmente al momento de redactar su trabajo de investigación. Los docentes actuarán de conformidad a lo establecido en el Código de Ética de la UTB, y demostrarán honestidad académica, principalmente al momento de orientar a sus estudiantes en el desarrollo de la UIC.

Artículo 25.- Criterios de Similitud en la Unidad de Integración Curricular. – En la aplicación del Software anti-plagio se deberá respetar los siguientes criterios:

Porcentaje de 0 al 15%: Muy baja similitud (TEXTO APROBADO)

Porcentaje de 16 al 20%: Baja similitud (Se comunica al autor para corrección)

Porcentaje de 21 al 40%: Alta similitud (Se comunica al autor para revisión con el tutor y corrección).

Porcentaje Mayor del 40%: Muy Alta Similitud (TEXTO REPROBADO).

## CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

#### Fenolización periódica de los explantes de banano.

##### Fenolización Día 1.

En la **Tabla 4**, se observan los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), en la variable de Fenolización del día 1. El resultado indica que existe alta significancia estadística ( $<0,0001$ ) entre los tratamientos.

**Tabla 4. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 1.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 1	AA	48	18,33	6,3	20	49,42	$<0,0001$
Día 1	CA	48	12,29	4,25	10		
Día 1	EDTA	48	21,04	6,27	20		
Día 1	T-AD	48	13,54	4,83	10		
Día 1	TA-SD	48	17,5	5,65	20		

Como se observa en la **Figura 8**, en donde se presenta la comparación de medias de los tratamientos, se aprecia que el Carbón activado (CA) y el Agua destilada (T-AD testigo) estimularon la menor fenolización, obteniendo valores de 12,29% y 13,54%, respectivamente y ambos no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); en contraste con el Ácido etilen diamino tetra acético.

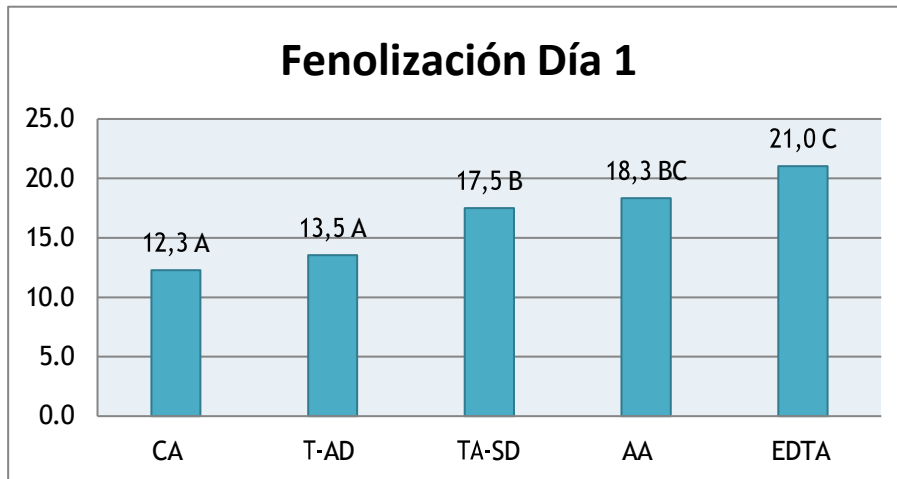


Figura 8. Comparación de medias de los tratamientos Carbón activado (CA), Agua destilada (T-AD testigo), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido ascórbico (AA), y Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el primer día.

En la **Figura 9**, se observa al día 1, el efecto del carbón activado y el agua destilada en comparación con el efecto del EDTA, el ácido ascórbico sobre la fenolización de los explantes de banano.

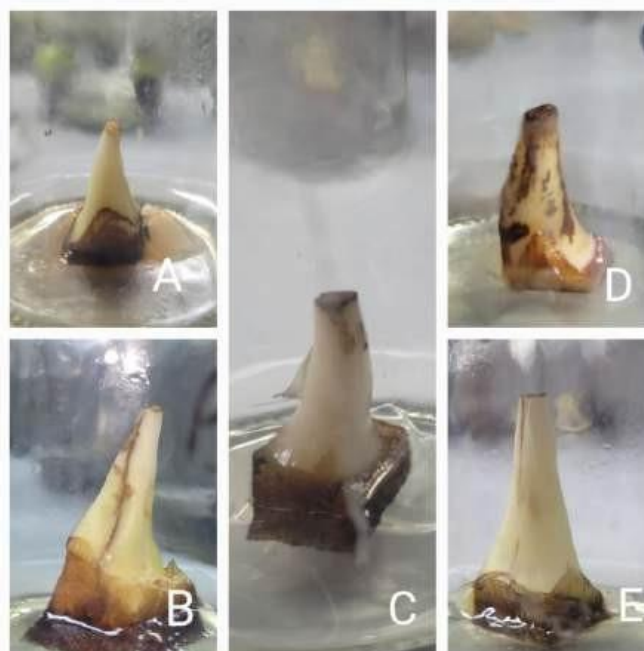


Figura 9. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el primer día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: T. siembra directa, C: carbón activado, D: EDTA, E: T. agua destilada.

## Fenolización Día 2.

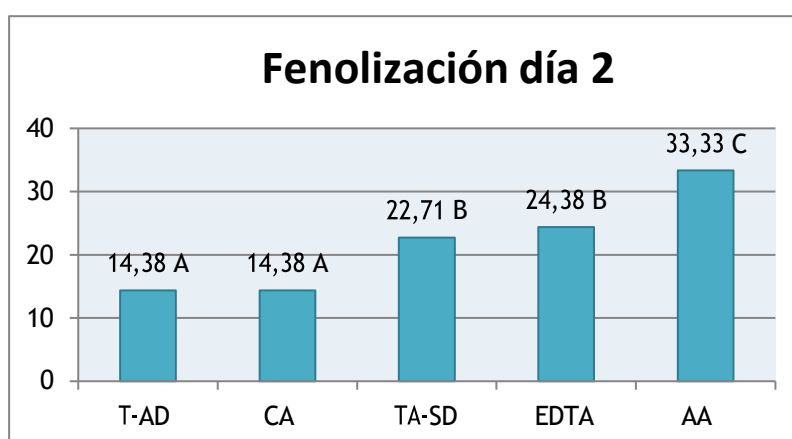
En cuanto a los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), como se observan en la **Tabla 5** de la variable de Fenolización del día 2. El resultado indica que existe alta significancia estadística ( $<0,0001$ )

entre los tratamientos.

**Tabla 5. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 2.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 2	AA	48	33,33	11,73	30	114,14	<0,0001
Día 2	CA	48	14,38	5,01	10		
Día 2	EDTA	48	24,38	5,01	20		
Día 2	T-AD	48	14,38	5,01	10		
Día 2	TA-SD	48	22,71	6,1	20		

En la **Figura 10**, se observa la comparación de medias de los tratamientos, donde se aprecia que el Agua destilada (T-AD testigo) y Carbón activado (CA) mostraron menor fenolización, obteniendo valores de 14,38% y 14,38%, correlativamente, por ende, ambos no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); a diferencia del Ácido Ascórbico.



**Figura 10. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el segundo día.**

En la **Figura 11**, se observa al día 2, el efecto del agua destilada con el carbón activado en comparación con el efecto sobre el ácido ascórbico y el EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.

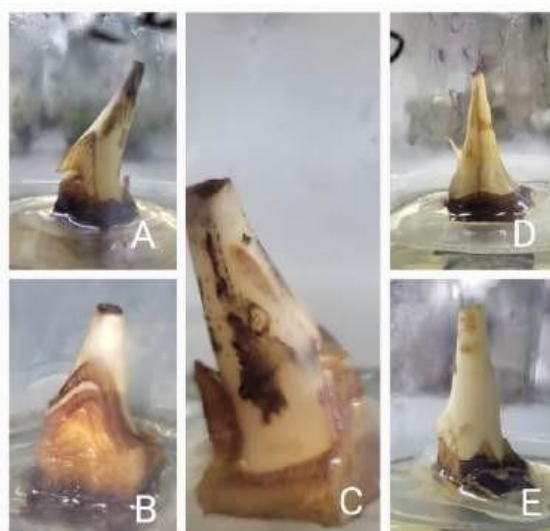


Figura 11. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el segundo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: T. siembra directa, C: EDTA, D: carbón activado, E: T. agua destilada.

### Fenolización Día 3.

Con respecto a los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), se observa en la **Tabla 6** la variable de Fenolización del día 3. El resultado indica que existe alta significancia estadística ( $<0,0001$ ) entre los tratamientos.

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 3.

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 3	AA	48	41,25	13,15	40	157,72	$<0,0001$
Día 3	CA	48	15,83	4,98	20		
Día 3	EDTA	48	31,67	6,3	30		
Día 3	T-AD	48	15	5,05	15		
Día 3	TA-SD	48	26,25	5,31	30		

Observando la **Figura 12**, encontramos la comparación de medias de los tratamientos, donde se distingue que el Agua destilada (T-AD testigo) y Carbón activado (CA) manejaron un menor porcentaje de fenolización, obteniendo valores de 15% y 15.83%, mostrando que ambos no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); contrariamente con el Ácido Ascórbico.

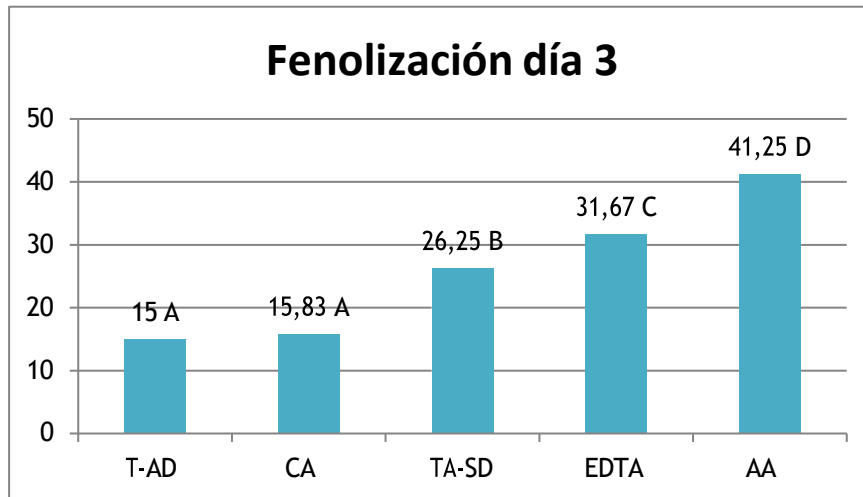


Figura 12. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el tercer día.

En la **Figura 13**, al día 3, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en contraste con el efecto del ácido ascórbico y el EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.

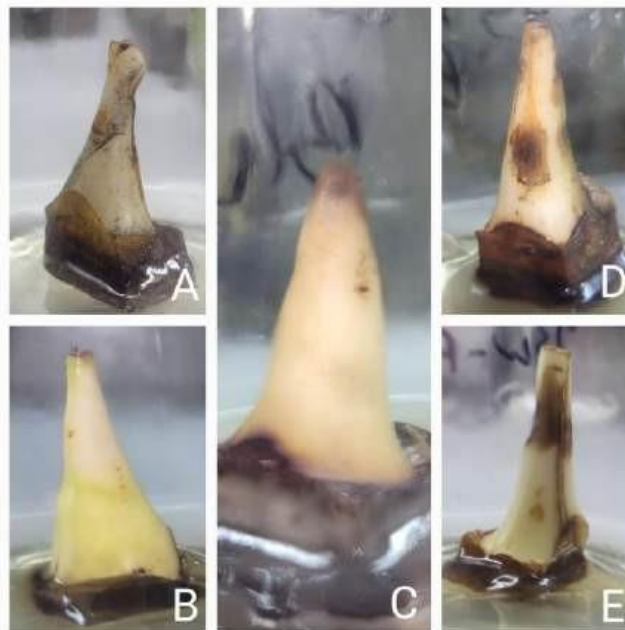


Figura 13. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el tercer día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: agua destilada, C: T. siembra directa, D: EDTA, E: ácido ascórbico.

#### Fenolización Día 4.

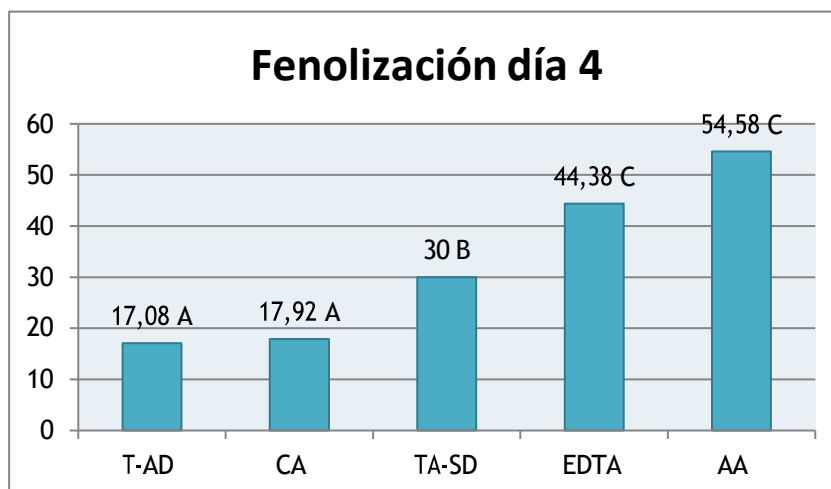
Referente a los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), en la **Tabla 7** se puede apreciar la variable de Fenolización del

día 4, el resultado indica que existe alta significancia estadística ( $<0,0001$ ) entre los tratamientos.

**Tabla 7. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 4.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 4	AA	48	54,58	13,68	55	197,06	$<0,0001$
Día 4	CA	48	17,92	4,1	20		
Día 4	EDTA	48	44,38	5,42	40		
Día 4	T-AD	48	17,08	4,59	20		
Día 4	TA-SD	48	30	5,05	30		

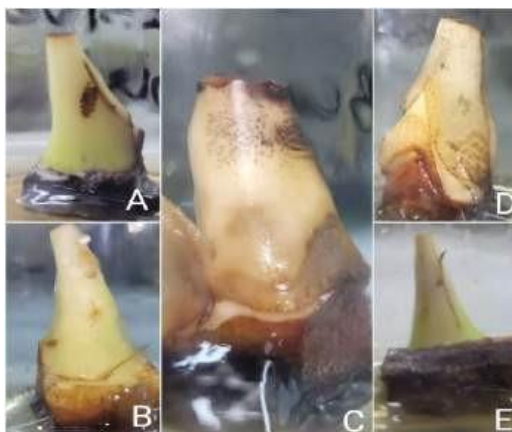
En base a la **Figura 14**, donde se muestra la comparación de medias de los tratamientos, notamos que el Agua destilada (T-AD testigo) y Carbón activado (CA) presentaron menor fenolización en los explantes, manejando valores de 17,08% y 17,92%, indicando que ambos no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ); contrariamente con el Ácido Ascórbico, que muestra mayor nivel de fenolización.



**Figura 14. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el cuarto día.**

En la **Figura 15**, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en comparación con el efecto sobre el ácido ascórbico y el EDTA y la siembra directa como testigo absoluto sobre la fenolización de los explantes de banano.





**Figura 15.** Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el cuarto día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: EDTA, D: ácido ascórbico, E: T. siembra directa.

### Fenolización Día 7.

Según los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), la **Tabla 8** muestra la variable de Fenolización en el día 7, los resultados indican una alta significancia estadística ( $p < 0,0001$ ) entre los diferentes tratamientos.

**Tabla 8.** Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 7.

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 7	AA	48	60	10,52	60	197,22	<0,0001
Día 7	CA	48	25,21	5,05	30		
Día 7	EDTA	48	59,17	10,48	60		
Día 7	T-AD	48	25,63	5,01	30		
Día 7	TA-SD	48	41,25	4,89	40		

De acuerdo con la **Figura 16** que presenta la comparación de las medias de los tratamientos, observamos que el Carbón activado (CA) y Agua destilada (T- AD testigo) mostraron una menor fenolización en los explantes, con valores de 25,21% y 25,63%, respectivamente, indicando que no hay una diferencia significativa entre ellos ( $p > 0,05$ ), en cambio, el Ácido Ascórbico presentó un mayor nivel de fenolización.

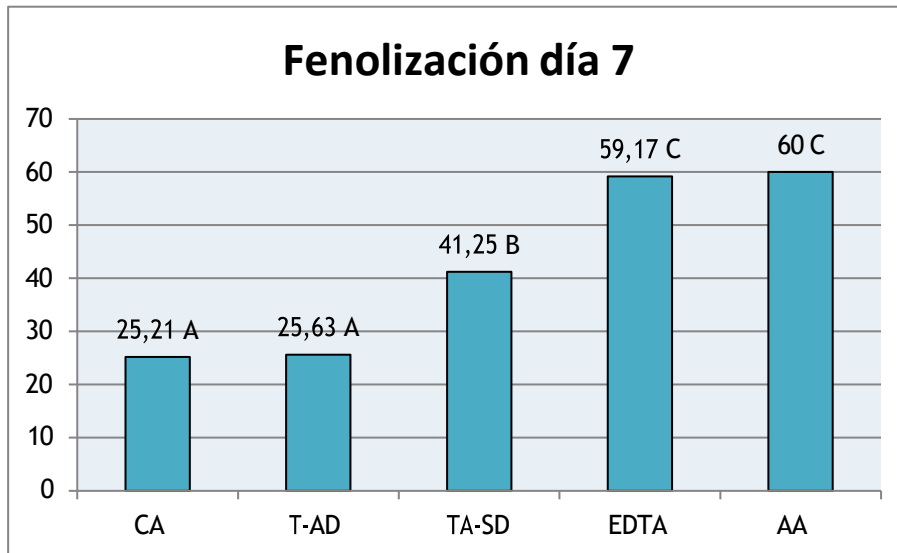


Figura 16. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el séptimo día.

En la **Figura 17**, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada por el contrario con el efecto sobre el ácido ascórbico y el EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.



Figura 17. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el séptimo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: EDTA, D: ácido ascórbico, E: T. agua destilada.

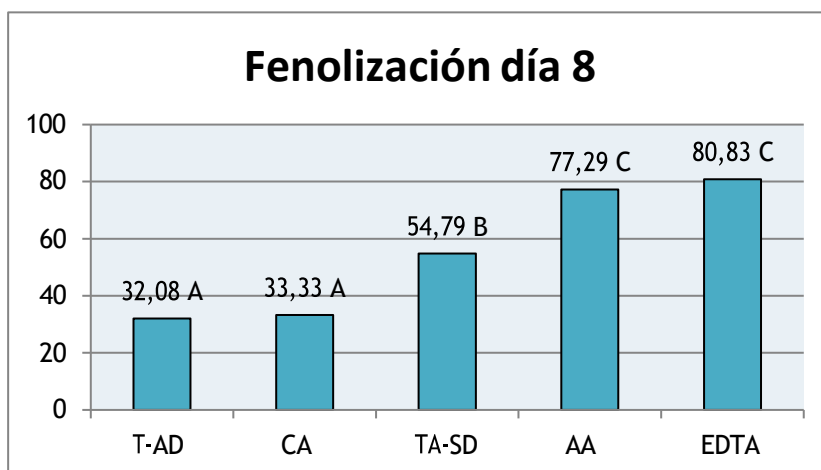
### Fenolización Día 8.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), la **Tabla 9** muestra los datos sobre la fenolización en el día 8, estos resultados revelan una alta significancia estadística ( $p = <0,0001$ ) entre los distintos tratamientos.

**Tabla 9. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 8.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 8	AA	48	77,29	10,26	75	189,62	<0,0001
Día 8	CA	48	33,33	6,94	30		
Día 8	EDTA	48	80,83	10,69	80		
Día 8	T-AD	48	32,08	7,71	30		
Día 8	TA-SD	48	54,79	12,55	50		

Según la **Figura 18**, que compara las medias de los diferentes tratamientos, notamos que el Agua destilada (T-AD testigo) y Carbón activado (CA) tuvieron niveles más bajos de fenolización en los explantes, con valores de 32,08% y 33,33%, respectivamente, esto sugiere que no hay una diferencia significativa entre estos dos tratamientos ( $p > 0,05$ ), sin embargo, el EDTA mostró un nivel de fenolización considerablemente mayor.



**Figura 18. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el octavo día.**

En la **Figura 19**, al día 8, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en cambio y contraste con el efecto causado en el ácido ascórbico y el EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.

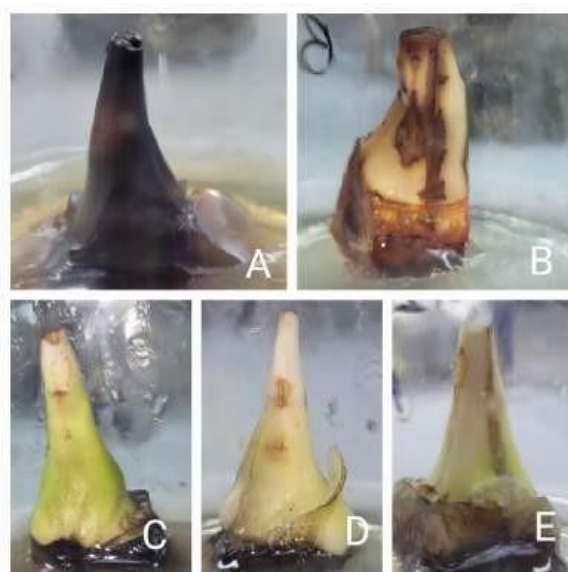


Figura 19. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: EDTA, C: T. siembra directa, D: carbón activado, E: T. agua destilada.

### Fenolización Día 9.

Conforme a los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), la Tabla 10 presenta los datos sobre la fenolización en el día 9, estos resultados demuestran una alta significancia estadística ( $p < 0,0001$ ) entre los diferentes tratamientos.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 9.

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 9	AA	48	90,21	6,68	90	194,29	<0,0001
Día 9	CA	48	38,96	7,78	40		
Día 9	EDTA	48	96,88	4,68	100		
Día 9	T-AD	48	53,75	11,78	50		
Día 9	TA-SD	48	60,42	12,37	60		

Según la **Figura 20**, que compara las medias de los diferentes tratamientos, observamos que el Carbón activado (CA) y el Agua destilada (T-AD testigo) mostraron niveles más bajos de fenolización en los explantes, con valores de 38,96% y 53,75%, respectivamente, esto indica que no hay una diferencia significativa entre estos dos tratamientos ( $p > 0,05$ ), pero el EDTA presentó un nivel de fenolización notablemente mayor.

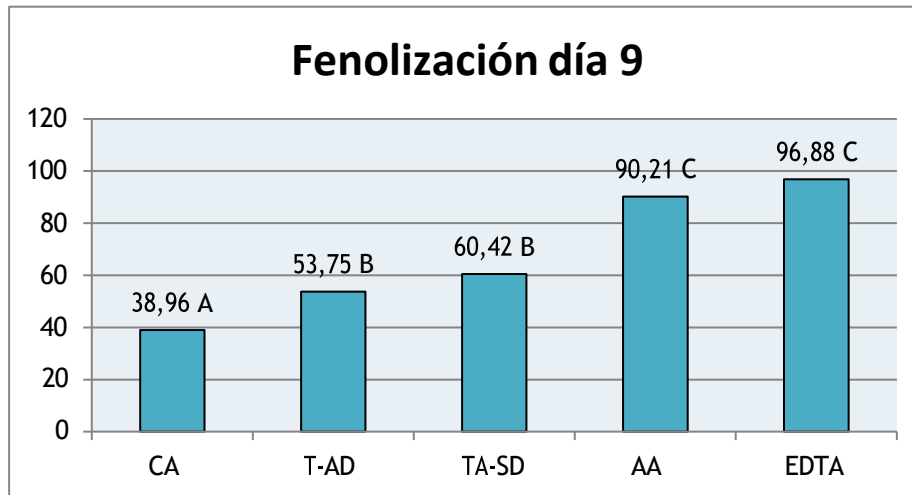


Figura 20. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada en el noveno día.

En la **Figura 21**, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en comparación con el efecto obtenido sobre el ácido ascórbico y el EDTA, además del testigo absoluto sobre la fenolización de los explantes de banano.

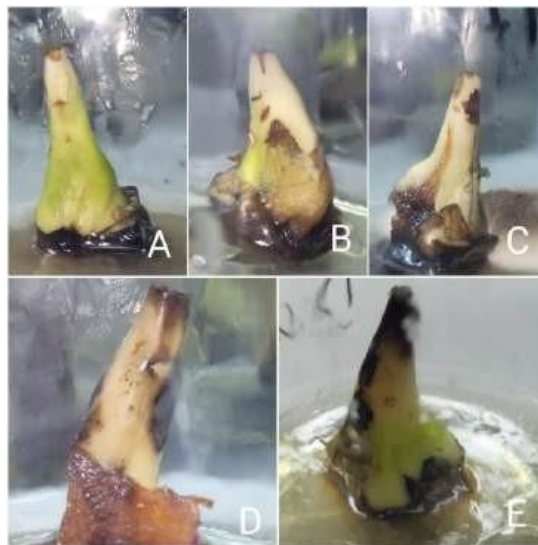


Figura 21. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: T. agua destilada, B: carbón activado, C: T. siembra directa, D: EDTA, E: ácido ascórbico.

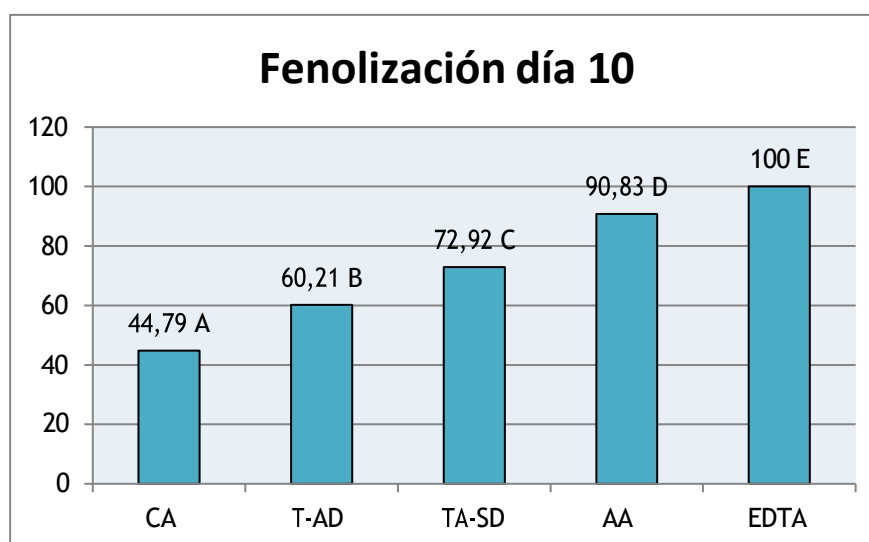
### Fenolización Día 10.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), la **Tabla 11** muestra los datos sobre la fenolización en el día 10, los resultados indican una alta significancia estadística ( $p < 0,0001$ ) entre los distintos tratamientos.

**Tabla 11. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 10.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 10	AA	48	90,83	7,1	90	190,56	<0,0001
Día 10	CA	48	44,79	9,89	40		
Día 10	EDTA	48	100	0	100		
Día 10	T-AD	48	60,21	16,04	60		
Día 10	TA-SD	48	72,92	8,49	70		

Según la **Figura 22**, que compara las medias de los diferentes tratamientos, se observa que el Carbón activado (CA) y el Agua destilada (T-AD testigo) tuvieron niveles más bajos de fenolización en los explantes, con valores de 44,79% y 60,21%, respectivamente. Esto sugiere que no hay una diferencia significativa entre estos dos tratamientos ( $p > 0,05$ ), no obstante, el EDTA mostró un nivel de fenolización relevantemente mayor.



**Figura 22. Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada**

En la **Figura 23**, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en comparación con el efecto del EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.

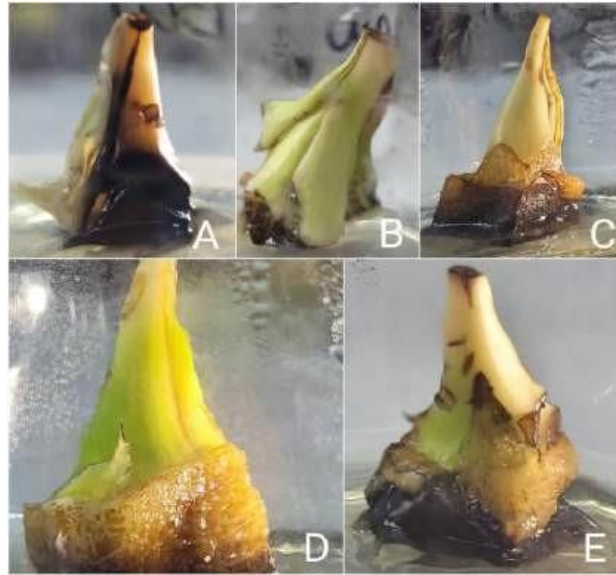


Figura 23. Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: ácido ascórbico, B: carbón activado, C: EDTA, D: T. agua destilada, E: T. siembra directa.

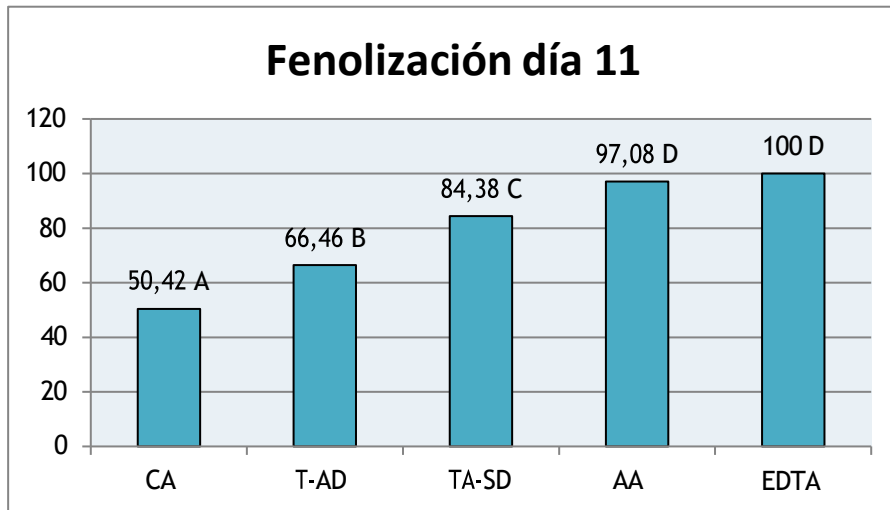
### Fenolización Día 11.

Según los resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis ( $p > 0,05$ ), la **Tabla 12** presenta los datos sobre la fenolización en el día 11. Estos resultados revelan una alta significancia estadística ( $p < 0,0001$ ) entre los diferentes tratamientos.

Tabla 12. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal y Wallis de la variable de Fenolización del día 11.

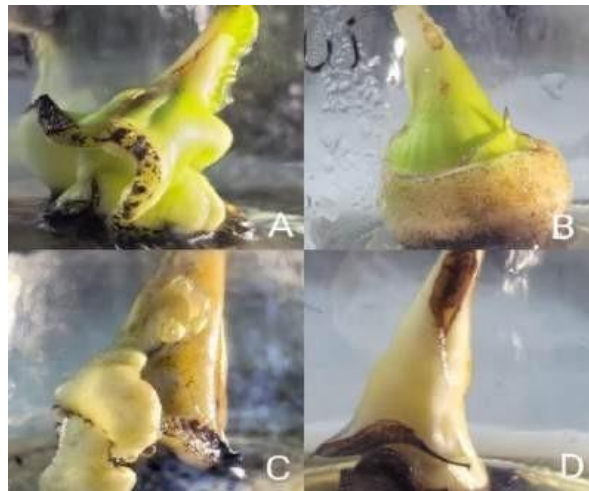
Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 11	AA	48	97,08	4,59	100	183	<0,0001
Día 11	CA	48	50,42	10,1	50		
Día 11	EDTA	48	100	0	100		
Día 11	T-AD	48	66,46	17,56	60		
Día 11	TA-SD	48	84,38	5,42	80		

De acuerdo con la **Figura 24**, que compara las medias de los distintos tratamientos, se observa que el Carbón activado (CA) y el Agua destilada (T-AD testigo) mostraron niveles más bajos de fenolización en los explantes, con valores de 50,42% y 66,48%, respectivamente. Esto indica que no hay una diferencia significativa entre estos dos tratamientos ( $p > 0,05$ ). A pesar de ello, el EDTA presentó un nivel de fenolización notablemente mayor.



**Figura 24.** Comparación de medias de los tratamientos Agua destilada (T-AD testigo), Carbón activado (CA), Testigo absoluto (TA-SD), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) y Ácido ascórbico (AA) en fenolización de los explantes de banano presentada

En la **Figura 25**, se observa el efecto del carbón activado y el agua destilada en comparación con el efecto del EDTA sobre la fenolización de los explantes de banano.



**Figura 25.** Efecto del carbón activado y del agua destilada sobre la fenolización de los explantes de banano en el octavo día después de la siembra en el medio de cultivo, A: carbón activado, B: T. agua destilada, C: T. siembra directa, D: EDTA.



### Tasa de supervivencia

En la **Tabla 13** se observa los resultados obtenidos, revelando diferencias notables en cuanto a los porcentajes de supervivencia de los explantes de banano sometidos a distintos tratamientos antioxidantes, entre los tratamientos evaluados periódicamente durante 11 días en el rango de 26 de Junio hasta el 9 de Julio, el Carbón Activado mostró la mayor eficacia, con la cifra del 93,8%, lo que demuestra que este tratamiento fue exitoso para el cumplimiento del objetivo principal.

**Tabla 13. Tasa de supervivencia de los explantes de banano (*Musa AAA*).**

tratamiento	Número de explantes	Sobrevivientes	No sobrevivientes	Tasa de supervivencia (%)
Ácido Ascórbico	48	18	30	37,5 %
Carbón Activado	48	45	8	93,8 %
Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA)	48	10	38	20,8 %
Testigo con Agua destilada	48	36	22	75,0 %
Testigo Absoluto	48	16	32	33,3 %

Los tratamientos con Ácido Ascórbico y Ácido Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA) manejaron porcentajes del 37,5% y 20,8%, respectivamente, estos resultados, aunque sean óptimos en lo cabe resaltar, son significativamente menores en comparación con el Carbón Activado, lo que indica que estos antioxidantes, aunque sean efectivos hasta cierto punto, no pueden asegurar la supervivencia de los explantes contra la oxidación fenólica como lo hace el Carbón Activado.

Esta respuesta podría deberse a la forma en que estos compuestos interactúan en los tejidos meristemáticos de los explantes y su capacidad para neutralizar los

compuestos fenólicos, así como evitar la aparición de algún agente bacteriano que contamine el medio.

En comparación con todos los grupos de tratamiento, incluyendo tanto el testigo con agua destilada como el testigo absoluto equivalente a la siembra directa, denotaron porcentajes de 75% y 33,3%, esto señala que incluso sin el uso de los antioxidantes, los explantes tratados con agua destilada mostraron una tasa de supervivencia relativamente alta, lo que indica que esterilizar el agua destilada y enjuagar los explantes hace un efecto de lavado de los jugos celulares emitidos durante el corte, lo que puede mejorar la supervivencia a la oxidación en condiciones controladas.

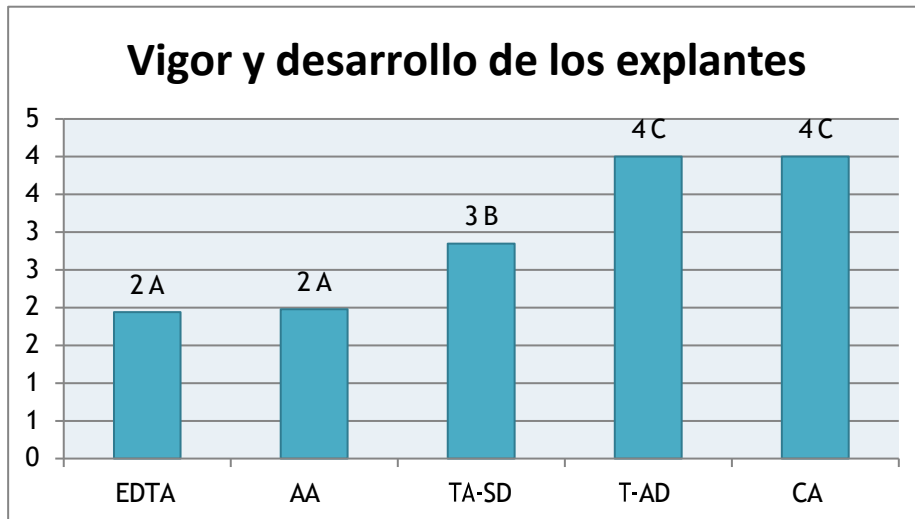
### **Tiempo de desarrollo y vigor de los explantes tratados con antioxidantes.**

Las diferencias observadas entre los tratamientos fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.0001$ ), lo que corrobora que algunos antioxidantes específicos son más efectivos en promover el ensanchamiento y desarrollo del tejido de los explantes durante la primera etapa de micropropagación *in vitro*.

**Tabla 14. Resultados del análisis de varianza no paramétrica de Kruskal Wallis en la variable tiempo de desarrollo y vigor de los explantes.**

Variable	Tratamientos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Día 11	AA	48	2	0,14	2	191,64	<0,0001
Día 11	CA	48	4	0	4		
Día 11	EDTA	48	2	0,32	2		
Día 11	T-AD	48	4	0	4		
Día 11	TA-SD	48	3	0,46	3		

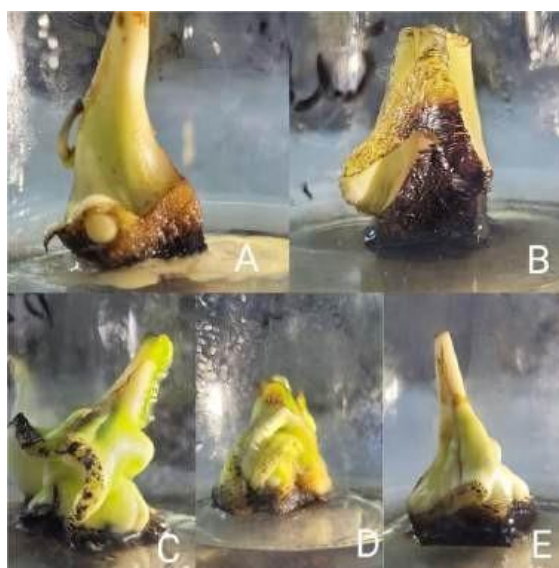
En la **Figura 26** se observó que los explantes tratados con carbón activado y el tratamiento testigo con agua destilada (T-AD) alcanzaron un nivel de 4, indicando que los explantes estaban muy ensanchados para el día 11, esto muestra que los antioxidantes al disminuir fenolización, el explante adquiere buen crecimiento y desarrollo de los explantes. El tratamiento testigo absoluto correspondiente a la siembra directa (TA-SD) resultó llegar hasta el nivel de 3, reflejando un ensanchamiento medio, denotando que sin el tratamiento los explantes toman más tiempo en desarrollar.



**Figura 26.** Efecto de los antioxidantes sobre el tiempo de desarrollo y vigor de los explantes de banano (*Musa AAA*) alcanzados para el día 11

Así mismo, los explantes tratados con ácido ascórbico y EDTA presentaron un nivel de ensanchamiento de 2, lo que indica que se mantuvieron iniciando el ensanchamiento, sugiriendo que debido a que los antioxidantes tuvieron un efecto moderado, dieron paso a un inicio del proceso de crecimiento sin provocar un ensanchamiento dado el estado de fenolización presentado en comparación con los demás tratamientos.

En la **Figura 27** se observar como los explantes mantuvieron su desarrollo hasta el día 11, denotando las diferencias entre los tratamientos realizados.



**Figura 27.** Efecto de los antioxidantes sobre el tiempo de desarrollo y vigor de los explantes de banano (*Musa AAA*) para el día 11; A: Ácido ascórbico, B: EDTA, C: Carbón activado, D: T. agua destilada, E: T. absoluto.

## 4.2. Discusión

En base a los resultados obtenidos de los días evaluados, respecto al porcentaje de supervivencia de los explantes usados en la investigación, en este caso, tejidos meristemáticos del banano cv. Williams, muestran que de los explantes pre-tratados, carbón activado y testigo con agua destilada son los que mejor eficiencia tuvieron en comparación a ácido ascórbico y EDTA, siendo el testigo absoluto el punto medio entre los tratamientos mencionados.

De acuerdo con Recal (2007) explica que si bien la contaminación es un factor crucial en la investigación, esta, más que matar al explante, lo que en realidad hace es impedir el proceso de micropropagación de los mismo, por ende aunque la tasa de supervivencia fue excepcionalmente buena, el índice de contaminación fue medianamente alto, sobre todo en los tratamientos con ácido ascórbico y EDTA, lo que representa un factor que imposibilita la propagación de estos explantes.

De acuerdo con el análisis de varianza de Kruskal y Walis realizados y los resultados obtenidos con respecto a la presencia de fenoles en los explantes tratados, en la primera evaluación después de la siembra con las respectivas dosis, no hubo presencia de fenoles en los tratamientos T1 (ácido ascórbico), T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), en la segunda evaluación, el control de los fenoles en los tratamientos T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), tuvieron los más bajos niveles de fenolización en los explantes y la mayor tasa de sobrevivencia dada la baja contaminación que existió en el medio.

En la tercera y cuarta evaluación, el control de fenoles en los tratamientos T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), mostraron los niveles más bajos de fenolización, así mismo, no hubo presencia de contaminación, por ende la sobrevivencia fue alta, en la séptima y octava evaluación, la presencia de fenoles en los explantes fue medianamente baja en los tratamientos T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), mostrando los niveles más altos de sobrevivencia.

Posteriormente, en la novena y décima evaluación, la presencia de fenoles no aumentó significativamente para T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), demostrando altos niveles de sobrevivencia y nula presencia de contaminación en los mismos, en la evaluación final antes de pasar a etapa de multiplicación, la presencia de fenoles en los explantes T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), fue medianamente alta, aunque no se limitó el desarrollo de los explantes, que se encontraron aptos para pasar a repique y luego a multiplicación.

Se pudo determinar que los explantes de banano cv. Williams, mostraron un bajo nivel de fenolización, obteniendo alta significancia entre los tratamientos, concordando con lo dicho por Echenique y Mamani (2021), quienes mencionan en su investigación que el porcentaje de oxidación por efecto de fenolización mostraron efectos altamente significativos entre los distintos medios de cultivos pre-tratados dentro del proceso de establecimiento de los cultivos *in vitro* de banano.

No todos los tratamientos fueron en igual medida exitosos, T1 (ácido ascórbico) y T3 EDTA (Ácido etilen diamino tetra acético), respectivamente con ácido ascórbico y EDTA no mostraron mayor eficacia en cuanto a disminución de los niveles de fenolización, de acuerdo con Concepción et al. (2005), indican dentro de sus estudios que el 100% de los explantes de guayaba presentaron niveles de fenolización al hacer pruebas con los antioxidantes ácido ascórbico, L- cisteína y ácido cítrico; sin embargo, no todas mostraron la misma intensidad de fenolización, clasificando al ácido cítrico con una menor intensidad de fenolización, y posteriormente seguidas del ácido ascórbico con una mayor intensidad en la presencia de fenoles.

## CAPÍTULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Conforme a los resultados obtenidos se concluye que la disminución de fenolización en los explantes de banano (*Musa AAA*) *in vitro*, bajo condiciones de laboratorio fue exitosa en los tratamientos, mostrando alta significancia estadística entre los tratamientos realizados en la presente investigación.

De los tratamientos utilizados, T1 (ácido ascórbico), T2 (carbón activado), T3 EDTA (Ácido etilen diamino tetra acético), T4 (Testigo con Agua Destilada) y T5 (Testigo absoluto de siembra directa sin pre-tratamiento), dos tratamientos fueron los que mostraron mayor eficacia, T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), con un porcentaje de fenolización entre 50,42% y 66,46%, por ende el mayor éxito de explantes vinieron de estos tratamientos, cumpliendo con los objetivos específicos propuestos en la investigación, mostrando mayor eficacia T2 y T4 en comparación a los demás.

En base a los tratamientos utilizados, se demostró que las dosis establecidas de los antioxidantes para esta investigación fueron aptas para los tratamientos, si bien no todos los tratamientos reaccionaron con la misma intensidad, el desarrollo de los explantes que fueron exitosos fue óptimo para pasar a la etapa de multiplicación, los protocolos de aplicación mostraron en gran medida ser eficientes dentro del proceso experimental cumpliendo así con el objetivo general de la investigación.

Es evidente que de acuerdo con los datos obtenidos, en base al tercer objetivo dispuesto en la investigación los tratamientos mostraron efectos en cuanto a la reducción de fenoles en los explantes *in vitro*, T2 (carbón activado) y T4 (Testigo con Agua Destilada), en gran medida mostraron mayor índice de eficacia al disminuir la cantidad de fenoles expulsados del explante, mejorando la viabilidad de estos, desarrollándose en condiciones óptimas para pasar a la siguiente etapa de multiplicación.

## 5.2. Recomendaciones

Se recomienda probar diferentes concentraciones de antioxidantes y explorar otros agentes que reduzcan la fenolización en los explantes de banano, además, sería útil evaluar la durabilidad de los efectos a largo plazo y considerar factores como la iluminación y el tipo de medio usado para los explantes que puedan mejorar los resultados.

Los tratamientos que mostraron menor intensidad de eficacia en cuanto a la reducción de niveles pueden ser reemplazados por otros antioxidantes que se puedan encontrar o a su vez manejar diferentes dosis a las establecidas en esta investigación que puedan generar un resultado distinto.

Dada la contaminación de los explantes de banano que existió en ciertos tratamientos, no es recomendable manejar protocolos prolongados en tiempo, por lo que el establecimiento de los cultivos *in vitro* debería realizarse en el menor tiempo posible.

Se recomienda continuar con la investigación en condiciones de laboratorio para completar las cuatro etapas ya que así se podrá contemplar a mayor escala explantes totalmente desarrollados, realizando evaluaciones periódicas hasta llevarlas a aclimatación en campo.

## REFERENCIAS

- Agrotendencia. 2020. Agrotendencia: Cultivo de plátano, manejo y plagas (en línea). Consultado 10 jun. 2024. Disponible en: <https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivos/frutales/platano-cultivo-y-manejoagronomico/>
- Alcantara, J; Acero, J; Alcántara, J; Sánchez, R. 2019. Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. (En línea). NOVA, 17(32), 109-129. Consulta 10 jun. 2024. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Ancasi, R; Montero, J; Ferreira, N; Muñoz, I. 2016. Determinación un mejor medio de cultivo en la fase de establecimiento para la propagación *in vitro* de plátano (*Musa paradisiaca* L.). (En línea). Revista Selva Andina Research Society 7(2): 104-111. Consultado el 21 may. 2024. Disponible en [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2\\_a08.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a08.pdf)
- Armas, J. 2021. Acompañamiento en el manejo agronómico y la ejecución de labores culturales del cultivo de banano (*Musa AAA* Simmonds) del grupo empresarial BANAEXPORT.(En línea). Tesis Ing. Agro. Antioquia, Colombia, Facultad de ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/54c44e64-11c9-41ef-8c95-cc4c9c99aa83/content>
- Azofeifa, A. 2009. Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes cultivados *in vitro*. Revisión Bibliográfica. (En línea). Revista Agronomía Mesoamericana 20(1): 153-175. Consultado 21 may. 2024. Disponible en [https://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v20n01\\_153.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n01_153.pdf)
- Bajaña, G. 2019. Evaluación de trampas etológicas para el control de *Cosmopolites sordidus* en la plantación de banano (*Musa AAA*) Cantón Pueblo Viejo. (En línea). Tesis ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en



<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/7255/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000091.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Bautista, A. 2021. Efectos del desguasque y aplicaciones de sales potásicas, en las poblaciones de cochinilla harinosa *Pseudococcus* sp., en el cultivo de banano (*Musa* AAA simmonds), en la finca estampa. Municipio de Turbo, Antioquia. (En línea). Tesis Ing. Agro. Antioquia, Colombia, Facultad de ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/c5c66491-136c-4ddd-9711-8234a8d9f8be/content>
- Cantero, M. 2021. Evaluación fisiológica del cultivo de banano (*Musa* AAA) bajo aplicación de promesol ca+ y su incidencia en los rendimientos, en la zona de Urabá. (En línea). Tesis Ing. Agro. Antioquia, Colombia, Facultad de ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/dc15bfad-f31c-4f8f-84a8-09c725b7cc64/content>
- Castro, F. 2021. Evaluación de labores de manejo de la fruta que realiza “plantaciones Churidó S.A.S.” en banano (*Musa* AAA Simmonds) tipo exportación, en Apartadó, Antioquia. (En línea). Tesis Ing. Agro. Antioquia, Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo rural. Consultado 26 jul. 2024. Disponible en <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/a507dc2f-ac1f-4fd8-8586-fe6678c6dd49/content>
- Castro, W. 2024. Evaluación de biocontroladores en el manejo de *Cosmopolites sordidus* y *Metamasius hemipterus* en el cultivo de banano de la finca “La Chinita” en la zona de Baba. (En línea). Tesis ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 20 may. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/16166>
- Concepción, O; Nápoles; Pérez, L; Aurora T; Peralta, N; Hernández, M; Trujillo, R. 2005. Efecto de tres antioxidantes en el cultivo *in vitro* de ápices de guayaba (*Psidium guajava* L.): Relación entre el origen del explante y el contenido de compuestos fenólicos. (En línea). Cultivos Tropicales. 26(1),

- 33-39. Consultado 2 Jun. 2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215916005>
- Cuzco, V; Luna, E; Carvajal, R; Rodolfo, A. 2021. Análisis de tendencia de la exportación de banano (*Musa AAA*) en el Ecuador, periodo 1995-2020. (En línea). Revista Científica Agroecosistemas, 9(2), 99-106. Consultado 20 may. 2024. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/475/452>
- Díaz, M; Rodas, J; González, L; Vera, M. 2021. Control de la oxidación fenólica de segmentos nodales de *Handroanthus heptaphyllus* en condiciones *in vitro*. (En línea). CEDAMAZ Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia, 11(1), 1-5. Consultado 10 jun.2024. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/download/1029/775/3152>
- Duarte, I. 2021. Evaluación de la técnica herculizado para la descompactación de suelos en el cultivo de banano (*Musa AAA*), cantón Baba. (En línea). Tesis Ing. Agro. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/DUARTE%20L%C3%93PEZ%20SIDRO%20SANTIAGO.pdf>
- Echenique, M; Mamani, M. 2021. Determinación del medio de cultivo para el establecimiento *in vitro* de banano (*Musa acuminata*) en la Estación Experimental Sapecho. (En línea). Revista Apthapi 7(3): 2247-2254. Consultado 21 may. 2024. Disponible en <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/112/103>
- Fey, K. 2024. Huella hídrica en el proceso productivo de banano (*Musa AAA*) en la hacienda Cameonce del cantón Naranjal, Guayas. Tesis Ing. Agr. Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. 72p. (En línea). Consultado 11 Jun. 2024. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/FEY%20GARCIA%20KAREN%20LIZ.pdf>
- Gómez, R. 2021. Análisis multicriterio para determinar la fertilización del cultivo de banano (*Musa acuminata AAA*) en la hacienda La Chepa. Tesis Ing. Agr.

Guayaquil, Ecuador, Universidad Agraria del Ecuador. 90p. (En línea)  
Consultado 11 Jun. 2024. Disponible en:  
<https://cia.uaqrraria.edu.ec/Archivos/GOMEZ%20MOROCHO%20RONNY%20ANDRES.pdf>

Gómez, T. 2023. Introducción *in vitro* de *Corryocactus ayacuchoensis* “puchjuli” con compuestos orgánicos, 6 bencilaminopurina y ácido naftalenacético, Ayacucho 2021. Tesis Bióloga. Ayacucho, Perú, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. 90p. (En línea). Consultado 10 Jun. 2024. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/5345>

Indacochea, B; Castro, C; Marcillo, C; Ayón, F; Parrales, J; García, M. 2017. Contribuciones de la UNESUM (Universidad Estatal del Sur de Manabí) a la Biotecnología Vegetal. Grupo Compás, Cámara Ecuatoriana del Libro. (En línea). Manabí, Ecuador. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2063/1/Contribuciones%20UNESUM%20a%20la%20Biotecnologia%20Vegetal.pdf>

Leiva, M. 2006. Mejoramiento genético tradicional y empleo de técnicas biotecnológicas en la búsqueda de resistencia frente a los principales patógenos fúngicos de *Musa* spp. (En línea) Revista Biotecnología Vegetal 6(3) 131-147. Consultado 11 Jun. 2024. Disponible en: <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/414/713#:~:text=Los%20resultados%20de%20la%20mejora,resistentes%20a%20la%20Sigatoka%20negra.>

Lima, K; Moreno, A; Rodríguez, I. 2023. Efectos de métodos de desinfección ex vitro-in vitro en ápices meristemáticos de plátano clon Dominico. (En línea) Revista Científica Agroecosistemas, 11(3), 61–67. Consultado 22 may 2024. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/647>

Mamani, M. 2022. Evaluación de métodos de desinfección y medios de cultivo en las fases de introducción y establecimiento in vitro del cultivo de banano (*Musa* sp. AAA), variedad Gran Naine en la Estación Experimental Sapecho. (En línea). Tesis Ing. La paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 87p. Consultado 21 may. 2024. Disponible en <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/29077/T-3016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Moreno, L; Reyes, M; Rodríguez, M; Kosky, G; Roque, B; Chong, B. 2017. Respuesta de cultivares de *Musa* spp. al estrés hídrico *in vitro* inducido con polietilenglicol 6000. (En línea). Revista Colombiana de biotecnología, 19(2), 75-85. Consultado el 10 jun. 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n2.60405>
- Osorio, S. 2019. Establecimiento *in vitro* de plátano (*Musa x paradisiaca* L.) cv. "Curaré enano". (En línea). Tesis Ing. Zamorano, Honduras, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b68ab4f0-bb4b-4c0b-be0b-08cda07936a6/content>
- Recalde, C. 2007. Establecimiento del cultivo *in vitro* y aclimatación en invernadero de *Nepeta hederacea* variegata. tesis licenciatura. Universidad Politécnica Militar. Ecuador. p. 92.
- Saltos, W. 2017. Potencial de propagación *in vitro* de 20 musáceas (*Musa* AA, AAA, AAAB, AAB, ABB) vía organogénesis directa. (En línea). Tesis Ing. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 21 may. 2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/3303/TE-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000049.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez, G. 2019. Comparativo de productos antifenolizantes en el cultivo de plántulas *in vitro* de Banano *Musa acuminata* var. Cavendish en Trujillo, La Libertad. Tesis Ing. Trujillo, Perú, Universidad Nacional de Trujillo. 48p.
- Suarez, I. 2020. Cultivo de tejidos vegetales. (En línea). Fondo Editorial Universidad de Córdova, 6(1), 77-305. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/5eacebea-f261-4e7b-8ca8-67f37ba9d7fb/content>
- Vargas, A; Watler, W; Morales, M; Vignola, R. 2017. Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano en Costa Rica. Ficha técnica. (En línea). PEPLAR, 56. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8205.pdf>
- Velazco, A. 2019. Efecto del tamaño del explante sobre la tasa de multiplicación de plantas *in vitro* de cultivares de plátano. (En línea). Tesis Ing. Agro. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en

<https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/a787ce07-cacf-416e-84c6-1c0cec3b65af/content>

- Vézina, A; Baena, M. 2020. Morfología de la planta de banano. (En línea). ProMUSA (Improving the Understanding of banana) Consultado 10 jun. 2024. Disponible en: <https://www.promusa.org/Morfolog%C3%ADa+de+la+planta+del+banano>
- Viña, S. 2013. Compuestos Fenólicos. (En línea). CONICET, 11(4), 1-60. Consultado 26 Jul. 2024. Disponible en [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/112803/CONICET\\_Digital\\_Nro.e259c68c-8b9e-472f-a1d4-0281856594ea\\_Q.pdf](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/112803/CONICET_Digital_Nro.e259c68c-8b9e-472f-a1d4-0281856594ea_Q.pdf)
- Zumba, L. 2024. El banano terminó el 2023 con un 4.5% más de ventas. Diario Expreso. (En línea, blog). Guayaquil, Ecuador. Consultado 21 may. 2024. Disponible en <https://n9.cl/mxwa2>
- Mongelós, Y; Mussi, C; Duarte, N; Díaz, M. 2020. Protocolo de desinfección para establecimiento *in vitro* de meristema apical de banano *Musa* spp. CEDAMAZ Revista del Centro de Estudio y Desarrollo de la Amazonia, 10(2), 47–50. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/815>
- Arbeláez, L; Montoya, J; Saavedra, S. 2016. Evaluación de protocolos para el establecimiento y desinfección *in vitro* de meristemas de plátano *Musa* spp. Vitae 23(1), 1-6. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://www.proquest.com/openview/a13dc47d98b3250c19ee0113be113084/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1806352>
- Concepción, L. 2015. Efecto de Antioxidantes y Descontaminantes en el Establecimiento de Explantes de Banano (*Musa* spp) *in vitro*. UNICIÊNCIAS, (S. I.), 16(1), 9-16. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://uniciencias.pgsskroton.com.br/article/view/529>
- Da Silva, F; Scherwinski, J; Alves, M; Peres, J. 2006. Efeito da interação entre carvão ativado e N6-benzilaminopurina na propagação *in vitro* de

bananeira, cv. Grand Naine (AAA). Revista Brasileira de Fruticultura, 28 (2), 280-283. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbf/a/4pW89Xbny5HbSC98MzfnWdy/>

Utino, S; Fernández, I; Chaves, L. 2001. Crescimento e oxidação de explantes de bananeira prata (*Musa* AAB) in vitro: iv. Concentrações de sais, ácidos ascórbicos e frequência de subcultivos. Revista Brasileira de Fruticultura, 23(2), 409-412. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://www.scielo.br/j/rbf/a/ij8yJKBSFbrxJcm4pFYCpQz/>

Alves, C; Felipe, É; Costa, R; Medeiros, A; Filardi, M. 2021. Estudo da qualidade de luz, antifúngicos e antioxidantes na micropropagação de *Musa* sp. CV prata anã. IX Seminário de Iniciação Científica do IFMG, 1-9. Consultado 22 Ago. 2024. Disponible en <https://n9.ci/4ftelc>

## ANEXOS



**Anexo 1: Llegada de los colines de banano cv. Williams.**



**Anexo 2: Reducción de los cormos de banano.**



**Anexo 3: Cormos recolectados.**



**Anexo 4 : Cormos de banano cv. Williams.**





**Anexo 5: Cormos desinfectados con cloro.**



**Anexo 6: Toma de datos en laboratorio.**



Anexo 7: instrumentación usada durante el proceso



Anexo 8: Centrifuga.



Anexo 9: Cámara de flujo laminar.



**Anexo 10: Autoclave**



**Anexo 11: Reactivos de laboratorio.**



**Anexo 12: Proceso de obtención del explante para aplicar a las soluciones antioxidantes.**



**Anexo 13: Centrifugación e inserción de los explantes al medio**

