



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 de explantes *in vitro* de Plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete con diferentes antioxidantes en la etapa de inducción bajo condiciones de laboratorio.

AUTORA:

Julissa Melibeth Solórzano Ponce

TUTOR:

Ing. Agr. Walter Oswaldo Reyes Borja, PhD.

Babahoyo - Los Ríos - Ecuador

2024

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | IV |
| INDICE DE TABLAS..... | VI |
| RESUMEN..... | VII |
| ABSTRACT..... | VIII |
| 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..... | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 2 |
| 1.3. Justificación..... | 3 |
| 1.4. Objetivos de investigación | 4 |
| 1.4.1. Objetivo general | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.5. Hipótesis..... | 4 |
| CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Bases teóricas | 5 |
| 2.2.1 Generalidades del plátano..... | 5 |
| 2.2.2. Taxonomía del plátano | 6 |
| 2.2.3. Importancia del cultivo de plátano | 6 |
| 2.2.4. Impacto Agronómico y económico del plátano..... | 8 |
| 2.2.5. ¿Qué son los explantes?..... | 9 |
| 2.2.6. ¿Qué son los cultivos <i>In vitro</i> ? | 9 |
| 2.2.7. Importancia de los cultivos <i>In vitro</i> | 10 |
| 2.2.8. Etapa de inducción en cultivos de plátano <i>in vitro</i> | 11 |
| 2.2.9. Qué es fenolización? | 11 |
| 2.2.10. ¿Qué es un medio de cultivo?..... | 12 |
| 2.2.11. Medio de cultivo Murashige-Skoog | 13 |
| 2.2.12. ¿Qué es Antioxidante? | 13 |
| CAPÍTULO III. METODOLOGÍA..... | 15 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 Operacionalización de variables | 15 |
| 3.3. Población y muestra | 16 |
| 3.3.1. Población | 16 |
| 3.3.2. Muestra..... | 16 |
| 3.4 Técnicas e instrumento de medición | 16 |
| 3.4.1. Técnicas | 16 |
| 3.4.2. Instrumentos | 17 |
| 3.5. Procesamiento de datos | 18 |
| 3.6. Aspectos éticos | 20 |
| CAPÍTULO IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN. | 21 |
| 4.1. Resultados | 21 |
| 4.1.1 Presencia de fenoles en los explantes..... | 21 |
| 4.1.2 Ensanchamiento de los explantes tratados con antioxidantes versus control sin tratamiento | 39 |
| 4.1.3. Tasa de supervivencia..... | 40 |
| 4.2. Discusión..... | 41 |
| CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 43 |
| 5.1. Conclusiones | 43 |
| 5.2. Recomendaciones | 43 |
| REFERENCIAS | 45 |
| ANEXOS..... | 52 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Importancia del cultivo de plátano | 8 |
| Figura 2. Cultivo <i>In vitro</i> de Plátano..... | 10 |
| Figura 3. Fenolización en el cultivo <i>in vitro</i> de plátano | 12 |
| Figura 4. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbono activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 1 | 22 |
| Figura 5. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscórbito, B) Carbono Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada | 23 |
| Figura 6. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbono activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 2..... | 24 |
| Figura 7. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscórbito, B) Carbono Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 25 |
| Figura 8. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbono activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 3..... | 26 |
| Figura 9. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscórbito, B) Carbono Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 27 |
| Figura 10. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbono activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 4 | 28 |
| Figura 11. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscórbito, B) Carbono Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 29 |
| Figura 12. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbono activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 5..... | 30 |

| | |
|---|----|
| Figura 13. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscorbico, B) Carbon Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 31 |
| Figura 14. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbon activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 6 | 32 |
| Figura 15. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscorbico, B) Carbon Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 33 |
| Figura 16. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbon activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 7 | 34 |
| Figura 17. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscorbico, B) Carbon Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 35 |
| Figura 18. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbon activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 8..... | 36 |
| Figura 19. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscorbico, B) Carbon Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 37 |
| Figura 20. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbon activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 9 | 38 |
| Figura 21. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Abscorbico, B) Carbon Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada..... | 39 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1: Cuadro de variables independiente y dependientes | 15 |
| Tabla 2: Tratamientos a usar dentro del estudio: “Disminución de la fenolización de explantes in vitro de Plátano (<i>Musa AAB</i>) con diferentes antioxidantes en la etapa de inducción bajo condiciones de laboratorio” | 18 |
| Tabla 3. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 1 mediante la prueba de Kruskal-Wallis | 21 |
| Tabla 4. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 2 mediante la prueba de Kruskal-Wallis | 23 |
| Tabla 5. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 3 mediante la prueba de Kruskal-Wallis | 26 |
| Tabla 6. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 4 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 28 |
| Tabla 7. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 5 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 30 |
| Tabla 8. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 6 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 32 |
| Tabla 9. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 7 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 34 |
| Tabla 10. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 8 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 36 |
| Tabla 11. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 9 mediante la prueba de Kruskal-Wallis..... | 38 |
| Tabla 12. Ensanchamiento de los explantes tratados con antioxidantes versus control tratamiento..... | sin 40 |
| Tabla 13. Porcentaje de la Tasa de supervivencia de los diferentes tratamientos..... | 41 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación radica en mejorar la viabilidad y el desarrollo de los explantes, lo cual es crucial para la propagación eficiente del plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete, aumentando la producción de plántulas sanas, reduciendo costos y mejorando la calidad del cultivo. El principal propósito de la investigación es determinar la disminución de la fenolización de explantes *in vitro* de Plátano (*Musa AAB*) con diferentes antioxidantes en la etapa de inducción bajo condiciones de laboratorio. El estudio de las variables propuestas es: evaluar la fenolización con diferentes antioxidantes, establecer el efecto de estos sobre el desarrollo de los explantes, identificar la concentración óptima de cada antioxidante y analizar la tasa de supervivencia de los explantes centrifugados. El proceso a evaluar consiste en aplicar varios antioxidantes a los explantes en diferentes concentraciones, monitorear su desarrollo y fenolización; y analizar los datos para identificar las condiciones óptimas que minimicen la fenolización y maximicen la supervivencia de los explantes.

Los resultados del estudio indican que el Ácido Ascórbico (AA) es el antioxidante más efectivo para reducir la fenolización en explantes de plátano en todas las etapas del experimento, manteniendo consistentemente las medias más bajas de fenoles a lo largo de los nueve días. En contraste, el Carbón Activado (CA) y el testigo absoluto con siembra directa (TA-SD) mostraron ser los tratamientos menos efectivos, con niveles de fenolización significativamente más altos.

Estos hallazgos sugieren que el uso de Ácido Ascórbico como antioxidante podría ser una estrategia viable para minimizar los efectos negativos de la fenolización en cultivos *in vitro* de plátano, lo que puede mejorar las tasas de éxito en la micropropagación de este cultivo. Sin embargo, la efectividad de otros antioxidantes como EDTA y T-AD, aunque mejor que la de CA y TA-SD, no alcanzó los niveles de inhibición logrados por el AA. Por lo tanto, se recomienda la implementación del Ácido Ascórbico en protocolos de micropropagación de plátano, especialmente en las etapas iniciales del cultivo.

Palabras clave: Antioxidantes, explantes, fenolización, plátano (*Musa AAB*), tasa de supervivencia.

ABSTRACT

The present research work lies in improving the viability and development of explants, which is crucial for the efficient propagation of banana (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete, increasing the production of healthy seedlings, reducing costs and improving crop quality. The main purpose of the research is to determine the decrease in phenolization of *in vitro* explants of Banana (*Musa AAB*) with different antioxidants in the induction stage under laboratory conditions. The study of the proposed variables is: to evaluate phenolization with different antioxidants, to establish the effect of these on the development of the explants, to identify the optimal concentration of each antioxidant and to analyze the survival rate of the centrifuged explants. The process to be evaluated consists of applying several antioxidants to the explants in different concentrations, monitoring their development and phenolization; and analyze the data to identify optimal conditions that minimize phenolization and maximize explant survival.

The results of the study indicate that Ascorbic Acid (AA) is the most effective antioxidant for reducing phenolization in banana explants at all stages of the experiment, consistently maintaining the lowest phenol means throughout the nine days. In contrast, Activated Charcoal (AC) and absolute control with direct seeding (TA-SD) were shown to be the least effective treatments, with significantly higher phenolization levels.

These findings suggest that the use of Ascorbic Acid as an antioxidant could be a viable strategy to minimize the negative effects of phenolization in banana *in vitro* cultures, which may improve success rates in micropropagation of this culture. However, the effectiveness of other antioxidants such as EDTA and T-AD, although better than that of CA and TA-SD, did not reach the levels of inhibition achieved by AA. Therefore, the implementation of Ascorbic Acid in banana micropropagation protocols is recommended, especially in the initial stages of cultivation.

Keywords: Antioxidants, explants, phenolization, plantain (*Musa AAB*), survival rate.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Contextualización de la situación problemática

1.1.1. Contexto Internacional

El plátano (*Musa AAB*), es considerado como uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, ocupando así el cuarto lugar en relevancia después del arroz, el trigo y el maíz, se cultiva ampliamente tanto en las regiones tropicales como en las zonas templadas y es valorado por su sabor, su valor nutritivo y su disponibilidad durante todo el año, compone una fuente crucial de alimentos en las áreas rurales de la mayoría de los países tropicales y subtropicales (Castellón *et al.* 2017).

1.1.2. Contexto Nacional

El plátano es de gran importancia socioeconómica en Ecuador, ya que es un elemento esencial en la dieta diaria de la población rural y forma una parte fundamental de la oferta alimentaria para todos los ecuatorianos, se considera un pilar tanto para la economía como para la seguridad alimentaria del país (Álvarez y Macías 2023). El plátano es reconocido como un producto ecuatoriano y uno de los alimentos básicos en la dieta de la población, especialmente en Manabí, esta provincia lidera la producción nacional (Álvarez *et al.* 2020).

1.1.3. Contexto Local

En la provincia de Los Ríos, la producción anual de plátano representa un 35,79% de la producción nacional de este cultivo y la principal zona de producción de esta musácea es conocida como el triángulo platanero, que abarca las provincias de Manabí, Santo Domingo y Los Ríos, con 52 612, 14 249 y 13 376 hectáreas, respectivamente (Paz y Pesantez 2013).

El cultivo *in vitro* de células y tejidos ofrece una alternativa valiosa para la producción de compuestos activos provenientes de plantas, entre las principales ventajas del cultivo *in vitro* en comparación con el cultivo convencional de plantas, se destacan la capacidad de obtener metabolitos secundarios útiles bajo condiciones controladas, sin depender de factores ambientales bióticos como la

interacción con patógenos, ni de factores abióticos como la sequía, la luz ultravioleta y las temperaturas extremas (Pérez y Jiménez 2011).

La fenolización se refiere a la oxidación de compuestos fenólicos que son liberados por las células dañadas durante el corte y las extremidades cortadas se oscurecen rápidamente, los productos de esta oxidación son tóxicos para el resto del explante y se difunden en el medio de cultivo llegando así a oscurecerlo (Aguirre *et al.* 2016).

Un antioxidante es una sustancia que, incluso en bajas concentraciones, retrasa, previene o incluso anula significativamente la oxidación de otra sustancia por la acción de los radicales libres, al neutralizar los radicales libres, los antioxidantes evitan el deterioro de otras sustancias esenciales para el correcto funcionamiento bioquímico del organismo y entre estas sustancias antioxidantes se encuentran los compuestos fenólicos (Abarca y Vera 2019).

1.2. Planteamiento del problema

La oxidación de compuestos fenólicos en cultivos *in vitro* es catalizada por la enzima polifenol oxidasa (PPO), la cual produce quinonas, compuestos químicos altamente reactivos que pueden llegar a causar daño celular e incluso la muerte. Monzón-Ostorga (2005) señala que los compuestos fenólicos son exudados por las heridas del tejido hacia el medio, donde son atrapados por el gelificante y se acumulan, formando un área negra alrededor del explante y provocando la inhibición del crecimiento (Azofeifa 2009).

Uno de los principales problemas biológicos en el cultivo de meristemos de plátano durante las primeras etapas es la oxidación, este fenómeno provoca el oscurecimiento de los ápices meristemáticos y del medio de cultivo, debido a la presencia de radicales libres en el entorno y a la liberación de fenoles por parte de los ápices, que se vuelven tóxicos para sí mismos (Reyes 2001). La mayor pérdida de ápices meristemáticos o explantes se debe a la presencia de fenoles y a su inactividad durante cada proceso de desinfección (Lima *et al.* 2023).

La fenolización en los explantes *in vitro* de plátano (*Musa* AAB) representa un desafío crucial que compromete la viabilidad y regeneración de las plantas durante

la etapa de inducción. La oxidación de compuestos fenólicos, que se liberan debido al daño celular durante el corte, provoca el oscurecimiento del tejido y del medio de cultivo, resultando tóxico para el explante. Este fenómeno limita la eficiencia de la micropropagación, disminuyendo la tasa de multiplicación y la calidad de las plántulas producidas.

1.3. Justificación

La investigación propuesta, que se enfoca en la evaluación de distintos antioxidantes para la disminución de la fenolización, la cual se vuelve esencial para mejorar el cultivo *in vitro* de explantes de plátano. La fenolización, originada por la oxidación de compuestos fenólicos en los explantes, representa un gran desafío considerable que impacta la salud y capacidad regenerativa del tejido. Al identificar antioxidantes más efectivos permitirá implementar prácticas que contrarresten estos efectos negativos, mejorando así la calidad y supervivencia de los explantes.

Desde una perspectiva práctica, este estudio tiene el potencial de hacer que la producción de plátano sea más sostenible y eficiente, lo cual es crucial para numerosas economías locales. Al mejorar las técnicas de cultivo, no solo se beneficiará a los agricultores al aumentar la producción de plantas y poder reducir las pérdidas, sino que también se garantizará un suministro constante y saludable de plantas de plátanos, que una vez cultivados, pueden llegar así a fortalecer la seguridad alimentaria en regiones tropicales y subtropicales donde este alimento es muy esencial. Por lo tanto, los resultados de esta investigación no solo impulsarán el avance científico en la biotecnología vegetal, sino que también tendrán un impacto directo positivo en la economía y el bienestar de las comunidades que dependen del cultivo de plátano.

La relevancia de esta investigación va más allá de los beneficios inmediatos para la producción de plátanos. La optimización de las prácticas de cultivo *in vitro* y la reducción de la fenolización pueden tener implicaciones significativas en términos de conservación de recursos naturales y biodiversidad. Al mejorar la eficiencia de la producción de plátanos, se reduce la presión sobre los ecosistemas naturales al disminuir la necesidad de expandir las áreas de cultivo y evitar la sobreexplotación de los recursos. Además, al fomentar prácticas agrícolas más sostenibles, este

estudio puede contribuir a la preservación de la diversidad genética de las variedades de plátanos y promover un uso más responsable de los recursos naturales, lo que beneficia tanto al medio ambiente como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos.

1.4. Objetivos de investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la disminución de la fenolización de explantes *in vitro* de Plátano (*Musa AAB*) con diferentes antioxidantes en la etapa de inducción bajo condiciones de laboratorio.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la fenolización y tasa de supervivencia en explantes de plátano en la etapa de inducción.
- Identificar los antioxidantes para minimizar la fenolización de los explantes de plátano.
- Establecer el efecto de los antioxidantes sobre el desarrollo de los explantes en la etapa de inducción.

1.5. Hipótesis

H0: Los diferentes antioxidantes utilizados en la etapa de inducción no disminuyen la fenolización de explantes *in vitro* de plátano.

H1: Los diferentes antioxidantes utilizados en la etapa de inducción al menos 1 tratamiento disminuye la fenolización de explantes *in vitro* de plátano.

CAPÍTULO II.- MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

La multiplicación *in vitro*, junto con una cuidadosa selección del material en el campo, posibilita conseguir una mayor cantidad de plantas con condiciones fitosanitarias óptimas, la oxidación de los explantes y la contaminación durante la fase inicial del cultivo son las principales razones de pérdida de material vegetal, pero estas pueden controlarse efectivamente mediante una adecuada desinfección y la reducción de la oxidación utilizando carbón activado u otros antioxidantes (Echenique y Mamani 2021).

La adición de antioxidantes, aminoácidos y absorbentes a los medios de cultivo es una estrategia que generalmente es empleada para controlar la fenolización en tejidos vegetales cultivados *in vitro*, durante el período de estudio, se observó que el ácido cítrico (a una concentración de 150 ppm), el ácido ascórbico (a 150 ppm) y la L-cisteína (a 10 ppm) demostraron individualmente su capacidad para controlar la fenolización, mostrando índices bajos de este fenómeno. En cuanto a las combinaciones de estos componentes, se encontró que la mezcla de ácido cítrico, ácido ascórbico y L-cisteína exhibió el índice de fenolización más bajo y la menor concentración de fenoles (0,044 mg/mL), expresados como unidades de ácido gálico equivalente (Botero y López 2015).

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Generalidades del plátano

El plátano es una de las primeras especies en ser propagadas vegetativamente, es decir, a partir de tejidos vegetales que mantienen su capacidad de multiplicación y diferenciación celular. Esto permite formar nuevos tallos y raíces a partir de cúmulos celulares presentes en diversos órganos. El plátano tiene su origen en Asia meridional es una especie que llegó a Canarias en el siglo XV y desde allí fue llevado a América en el año 1516. El cultivo comercial se inicia en Canarias a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, es uno de los cultivos con mayor estimación en Latinoamérica y el Caribe (Alcívar y Cela 2021).

El plátano es una planta monocotiledónea que pertenece a la familia de las musáceas, a pesar de su apariencia arbórea, en realidad es una planta herbácea perenne de gran tamaño, su sistema radicular es superficial y está compuesto por raíces secundarias en forma de cabellera, las cuales actúan como soporte y anclaje para la parte aérea de la planta, el tallo del plátano es en realidad un rizoma que crece dentro del suelo, y produce raíces cortas y brotes llamados colinos o puyones, a través de los cuales se reproduce la planta (Murcia 2014).

El plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) tiene una variedad de usos culinarios, como la preparación de sopas, harinas, fritos y precocidos, durante la postcosecha, las características fisicoquímicas son fundamentales para determinar el estado de madurez adecuado para obtener una pasta destinada a la producción de pasabocas, para poder identificar este estado de madurez, se tomaron muestras a intervalos diarios desde el momento de la cosecha hasta el séptimo día para su análisis (Quinceno *et al.* 2014).

2.2.2. Taxonomía del plátano

Landázuri (2024) explica que, la clasificación del plátano hartón se detalla de la siguiente forma:

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Liliopsida
- **Orden:** Zingiberales
- **Familia:** Musaceae
- **Género:** Musa
- **Especie:** *Musa acuminata* x *M. balbisiana*
- **Grupo:** AAB (Triploide)
- **Nombre común:** Plátano hartón

2.2.3. Importancia del cultivo de plátano

El plátano, que pertenece al género *Musa* y a la familia de las musáceas, es una planta frutal de enorme relevancia alimentaria, económica y cultural. Es ampliamente cultivada en las zonas tropicales de todo el mundo, en términos de

consumo, el plátano se sitúa como el cuarto alimento más consumido a nivel mundial, precedido únicamente por el arroz, el trigo y el maíz (Ancasi *et al.* 2016).

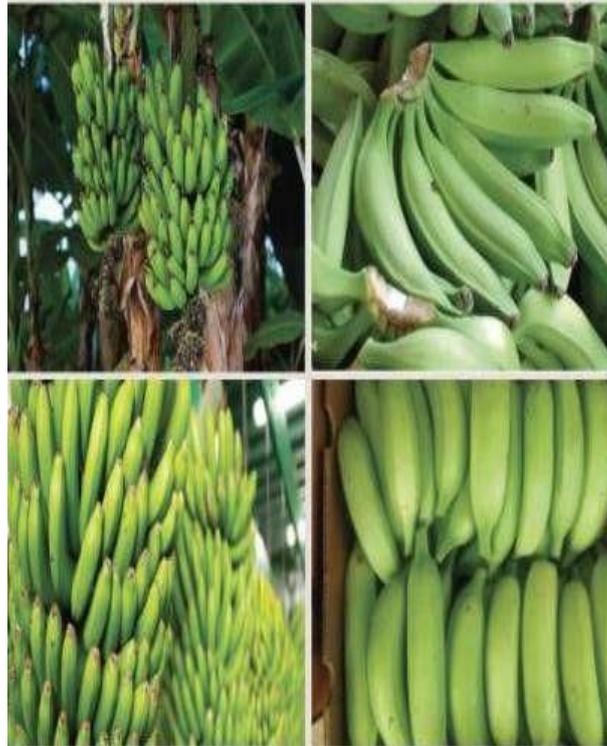
El cultivo de plátano en Ecuador ha representado históricamente un sector tradicional en la economía campesina, brindando sustento a pequeños productores. Se caracteriza por su amplia dispersión geográfica y su notable relevancia socioeconómica, ya que desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en la generación de empleo en la región (Silva *et al.* 2021).

En Ecuador, el cultivo de plátano no solo es una fuente de empleo en diversas regiones del país, sino que también se ha convertido en un rubro de exportación

significativo. Dada la relevancia de este cultivo, es fundamental proporcionar a los agricultores herramientas confiables para gestionarlo de manera efectiva y rentable, además de su impacto en la socioeconomía y la seguridad alimentaria, el cultivo del plátano fortalece el empleo tanto directo (a través de la mano de obra fija) como indirecto (mediante la mano de obra ocasional y el valor agregado de productos (Cedeño *et al.* 2022).

En la **Figura 1**, se pueden observar racimos del plátano y resulta esencial porque ofrece una identificación visual precisa de la variedad y el estado del fruto, lo cual es fundamental para una correcta clasificación y evaluación detallada de su calidad. Esta visualización no solo permite examinar las características externas del plátano, sino que también facilita el descubrimiento de posibles defectos, indicios de enfermedades y el nivel de maduración. Estos aspectos son cruciales para asegurar que el fruto cumpla con los estándares de calidad necesarios para su consumo o procesamiento, y para aplicar las estrategias adecuadas en su manejo y cultivo.

Figura 1. Importancia del cultivo de plátano.



Fuente: Landázuri (2024)

2.2.4. Impacto Agronómico y económico del plátano.

El cultivo de plátano es crucial para la economía de los agricultores en la zona de estudio. En el país, hay un total de 144 981 hectáreas dedicadas al plátano; de estas, 86 712 hectáreas se cultivan en monocultivo, mientras que 58 269 hectáreas están combinadas con otros cultivos como cacao, café y maracuyá (Veliz y Bravo 2016).

Uno de los factores más concluyentes para el éxito comercial del plátano es la selección y adquisición de semillas o material vegetal en cantidad suficiente, con alta calidad fisiológica (vigor) y libre de plagas y enfermedades, lo cual implica una ampliación considerable en el costo inicial de la cosecha. El cultivo de banano contribuye significativamente a la economía y la seguridad alimentaria del país mediante la creación de empleos estables. Aunque no es el sector más importante, ha ganado relevancia en los últimos años debido al crecimiento significativo de sus exportaciones, lo que ha traído prosperidad a los pequeños productores (Meza y Alava 2024).

2.2.5. ¿Qué son los explantes?

El explante es una parte de un tejido u órgano que se aísla de una planta. La elección de un explante adecuado es el primer paso para establecer cultivos *in vitro*, esta selección se realiza en función del objetivo del estudio y la especie vegetal involucrada, si la elección del explante no limita el cultivo de tejidos en términos de generación de callos o brotes, se selecciona en base a la disponibilidad, facilidad de manipulación, homogeneidad y rápida respuesta *in vitro*. Los explantes pueden obtenerse de plantas germinadas en invernadero, en campo o *in vitro* bajo condiciones asépticas (Gamarra 2014).

El explante es el órgano, tejido o segmento de tejido vegetal que se utiliza para iniciar el cultivo. Teóricamente, puede emplearse cualquier parte de la planta que contenga células vivas, como los ápices de raíces o tallos, primordios de hojas, partes inmaduras de flores, frutos inmaduros, órganos aislados, embriones maduros o inmaduros, segmentos de tallo o hojas, ovarios, óvulos, anteras y polen (Sharry 2018).

2.2.6. ¿Qué son los cultivos *In vitro*?

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales es una técnica que facilita la propagación clonal de especies que se reproducen vegetativamente o de variedades destinadas a protocolos de transformación genética, este método permite incrementar rápidamente el número de individuos, siendo crucial en la producción industrial de plántulas. Además, posibilita el establecimiento de un banco de germoplasma para propósitos de conservación (Indacochea 2017).

La biotecnología clásica comenzó con el desarrollo y la aplicación del cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, destinado a producir plantas libres de enfermedades sistémicas. En el caso del plátano, este proceso generalmente se realiza utilizando meristemas apicales. Esto se debe a que las células meristemáticas se multiplican más rápidamente que la velocidad de translocación de virus, lo que permite obtener plantas libres de ciertas enfermedades sistémicas (Osorio 2019).

En la **Figura 2**, se presenta de manera detallada la metodología utilizada en el manejo del cultivo *in vitro* de plátano. La imagen revela el ambiente controlado en el que se cultivan las plantas, subrayando aspectos esenciales como el tipo de medio de cultivo, ya sea sólido o líquido, junto con su color y los nutrientes o aditivos específicos que se incorporan para estimular el crecimiento. Además, se observa el tipo de recipiente empleado, como frascos de vidrio o placas de Petri, y su disposición dentro del entorno de cultivo, que está meticulosamente diseñado para mantener las condiciones ideales de temperatura, humedad y luz.



Figura 2: Cultivo *In vitro* de Plátano.

Fuente: FPS (2018)

2.2.7. Importancia de los cultivos *In vitro*.

Los cultivos vegetales *in vitro* proporcionan a la investigación una variedad de herramientas y técnicas que fortalecen estudios en diversos campos como la agricultura, la salud, la biología y la genética. Estos cultivos contribuyen al conocimiento de la morfología y el comportamiento bioquímico de las plantas, así como a la utilidad potencial de sus compuestos en los ámbitos farmacológico y médico. En las últimas décadas, han adquirido un papel importante como un nuevo

enfoque en la investigación de tratamientos contra diversas enfermedades (Alcántara *et al.* 2017).

Los sistemas de cultivo *in vitro* son fundamentales en el ámbito de la biotecnología vegetal. Se ha observado que diversos factores, incluida la luz, influyen en el desarrollo de los tejidos en condiciones de cultivo *in vitro*. Este método constituye una herramienta valiosa para la propagación y conservación del acervo genético, la obtención de plantas axénicas y estructuras des diferenciadas, así como para la transformación genética de plantas (Ruiz *et al.*2022).

2.2.8. Etapa de inducción en cultivos de plátano *in vitro*.

En la micropropagación de distintas variedades de plátano, la concentración óptima de BAP puede variar considerablemente, logrando mejores resultados en la inducción de yemas y formación de brotes. Esta variabilidad se debe a las diferencias genéticas entre las especies, lo cual influye en la respuesta a las hormonas y sus concentraciones en el medio de cultivo. Por tanto, la regeneración de brotes será variable (Carrión 2020).

La investigación sobre la inducción de callos y la regeneración de especies vegetales en condiciones *in vitro* ha evolucionado considerablemente a lo largo de los años, impulsada por la creciente demanda en el campo de la biotecnología aplicada. Actualmente, la industria se concentra en técnicas de micropropagación *in vitro* para la multiplicación a gran escala de plantas de variedades élite superiores o con características específicas deseables (Ruiz *et al.* 2022).

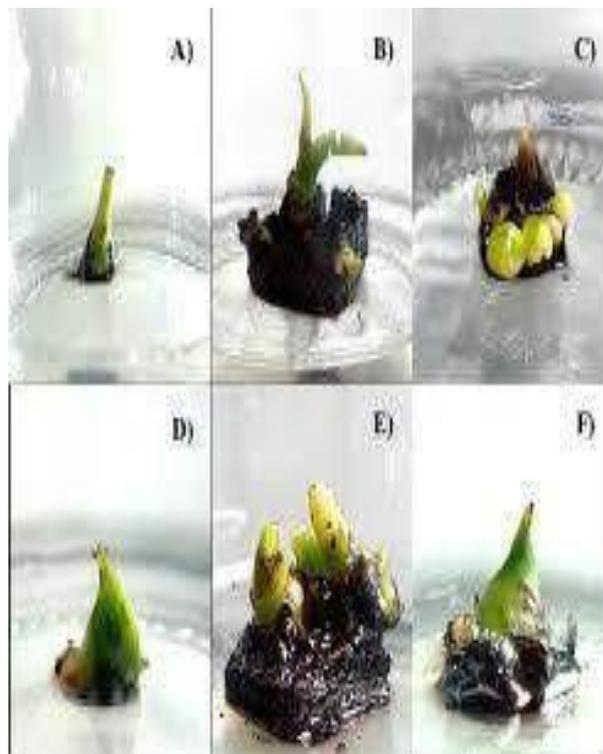
2.2.9 Qué es fenolización?

El control de la fenolización es fundamental para el éxito en los procedimientos de cultivo de tejidos de caña de azúcar. Una vez que las reacciones de oxidación de fenoles se activan en los tejidos dañados por la manipulación, este proceso se vuelve irreversible, lo que resulta en una pérdida significativa de la calidad de los explantes y compromete la posterior regeneración de las plantas (Valdez *et al.* 2002).

La oxidación puede estar relacionada con compuestos fenólicos, los cuales son responsables del ennegrecimiento debido a las enzimas oxidoreductasas que se liberan durante el proceso de obtención de los explantes mediante el corte del tejido (Medina *et al.* 2015).

En la **Figura 3**, se inspecciona la presencia de fenolización en el cultivo de plátano, proporcionando una visión detallada del grado de oxidación observado. La imagen revela que hay una mínima oxidación en los explantes, lo que sugiere que la fenolización, un proceso que puede afectar negativamente el desarrollo de las plantas al producir compuestos fenólicos, está presente en niveles bajos.

Figura 3: Fenolización en el cultivo *in vitro* de musáceas.



Fuente: Osorio (2019)

2.2.10. ¿Qué es un medio de cultivo?

Un medio de cultivo debe contener los nutrientes y factores de crecimiento necesarios y debe estar libre de cualquier microorganismo contaminante. Uno de los métodos más importantes para la identificación de microorganismos implica observar su crecimiento en sustancias alimenticias artificiales preparadas en laboratorio. El material alimenticio en el que los microorganismos crecen se

denomina medio de cultivo, y el crecimiento de los microorganismos en este medio se llama cultivo. Se han desarrollado más de 10 000 tipos diferentes de medios de cultivo (Casado 2012).

Para desarrollar un medio de cultivo adecuado, es esencial seleccionar cuidadosamente los componentes a utilizar. Esto incluye elegir el tipo y la concentración de varios nutrientes, tales como la fuente de Carbono, la fuente de energía, el nitrógeno, el fósforo, los factores de crecimiento, entre otros. Además, es crucial considerar condiciones específicas como la concentración de oxígeno, la temperatura y el pH (Gómez y Betel 2006).

2.2.11. Medio de cultivo Murashige-Skoog

El medio Murashige-Skoog (MS) cumple con los requerimientos nutricionales necesarios para la mayoría de las especies vegetales y ha sido ampliamente utilizado en la preparación de mezclas comerciales, como los formulados por el Centro Nacional de Biopreparados de Cuba (BioCen) (Rodríguez *et al.* 2004).

El Medio Murashige & Skoog (MS), o MS0, fue desarrollado por los científicos Toshio Murashige y Folke K. Skoog en 1962 durante sus investigaciones sobre nuevos reguladores del desarrollo vegetal. Desde entonces, se ha convertido en el medio más ampliamente utilizado en el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales. Uno de los medios más utilizados es el de Murashige & Skoog (M&S), que consiste en una mezcla compleja de sales con la adición de vitaminas, a la cual se le añade sacarosa y agar. Debido a su concentración, a menudo se emplea diluido al 50% (Polo 2019).

2.2.12. ¿Qué es Antioxidante?

Los antioxidantes son moléculas que pueden prevenir o retrasar la oxidación de moléculas biológicas, como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. Son cruciales para evitar la acción de los radicales libres en el organismo, reduciendo los procesos oxidativos, retardando el envejecimiento y previniendo diversas enfermedades (Rioja *et al.* 2018).

Los antioxidantes son sustancias que tienen la capacidad de prevenir o ralentizar la oxidación al "atrapar" radicales libres; además, pueden estabilizar hidroperóxidos o neutralizar el oxígeno singlete (Luna y Delgado 2014).

Los antioxidantes son un conjunto vital de compuestos con propiedades preventivas en la medicina y también se utilizan como aditivos en alimentos para evitar la degradación de nutrientes que se oxidan fácilmente (Matkowski 2008).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

De acuerdo con las características de este estudio, la modalidad será cuantitativa con datos basados de laboratorio, se realizó mediante un enfoque de investigación experimental en un entorno de laboratorio. El trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Babahoyo. Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con 5 tratamientos y 4 repeticiones para cada uno.

3.2 Operacionalización de variables.

Tabla 1: Variables independiente y dependientes

| Tipo de variable | | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Tipo de medición | Instrumentos de medición |
|----------------------|---|---|--|---|------------------|-------------------------------------|
| Independiente | Diferentes antioxidantes y concentraciones a utilizar | Se refiere a los distintos compuestos con propiedades antioxidantes y las cantidades específicas en las que se utilizarán en el estudio | variación en los tipos de antioxidantes empleados y las distintas concentraciones de estos aplicadas en el medio de cultivo. | Tipos de antioxidantes: Ácido ascórbico EDTA Carbón activado | Cuantitativa | Fotografía Registro de datos |

| | | | | | | |
|--------------------|---|--|---|---|--------------|--|
| Dependiente | Se medirá el nivel de fenolización observado en los explantes <i>in vitro</i> . | Intensidad de coloración Cantidad de compuestos fenólicos | Grado de coloración visible en los explantes, evaluado mediante una escala de colores estándar. | Se medirá el nivel de fenolización observado en los explantes <i>in vitro</i> . | cuantitativa | Escala de colores estándar, fotografía digital |
| | | | | | | |

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población. – A partir de una población de 300 colinos, se utilizaron 160 colinos de plátanos.

3.3.2. Muestra. - Se usaron 32 muestras equivalentes a los 5 tratamientos y las 4 repeticiones de cada uno con los diferentes antioxidantes y se dividió de la siguiente manera 32 muestras con el ácido ascórbico, 32 muestras con carbón activado, 32 muestras con EDTA, 32 muestras para el testigo que en este caso fue con agua destilada y 32 muestras para la testigo absoluta que es solo de siembra directa.

3.4 Técnicas e instrumento de medición

3.4.1. Técnicas

Se llevó a cabo el trabajo experimental, se utilizaron los métodos inductivo, deductivo y experimental. A continuación, se detalla cómo cada uno de estos métodos se integra en el estudio:

Método Experimental: Se empleó para examinar la efectividad de diversos antioxidantes en la disminución de la fenolización en los explantes de plátano cultivados *in vitro*.

Método Deductivo: Los resultados obtenidos de los tratamientos con antioxidantes se contrastarían con los resultados de un grupo de control que no recibe la aplicación de ningún antioxidante.

Método Inductivo: Se utilizó para registrar y analizar los impactos específicos de cada tratamiento con antioxidantes en los explantes de plátano.

3.4.2. Instrumentos

Equipos:

- Cámara de flujo laminar
- Autoclave
- Balanza analítica
- Destilador de Agua
- Medidor de pH
- Centrifuga
- Plato Calentador orbital

Materiales:

- Alcohol 70 y 90%
- Aluminio
- Antioxidantes
- Atomizador
- Bisturí
- Cloro
- Cuchillo
- Frascos
- Guantes
- Mandil
- Mascarillas
- Mechero
- Medio de Cultivo (MS)
- Papel Esterilizado
- Papel Kraft
- Pipeta

- Pinzas metálicas
- Tubo de ensayo
- Algodón

3.5. Procesamiento de datos

3.5.1 Tratamientos

Los tratamientos y dosis de los antioxidantes se mencionan en la Tabla 2.

Tabla 2: Tratamientos utilizados en el estudio: “Disminución de la fenolización de explantes *in vitro* de Plátano (*Musa AAB*) con diferentes antioxidantes en la etapa de inducción bajo condiciones de laboratorio”.

| Tratamiento | Antioxidante | Dosis |
|-------------|---|-------------------------|
| T1 | Ácido ascórbico | 200 mg/L |
| T2 | Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) | 10 g/L |
| T3 | Carbón Activado | 10 g/L |
| T4 | Testigo | Testigo Agua destilada |
| T5 | Testigo absoluto | Testigo siembra directa |

3.3.1. Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con 5 tratamientos y 4 repeticiones para cada uno, 160 explantes.

3.3.2. Datos evaluados

Presencia de fenoles en los explantes

Los hijuelos de plátano cv. Hartón fueron reducidos hasta alcanzar los ápices meristemáticos. En la cámara de flujo laminar, los ápices fueron sometidos a los diferentes antioxidantes y dosis. Posteriormente en un tubo de ensayo conteniendo el antioxidante esterilizado, con un trozo de algodón en la parte inferior, se sumergió los explantes, se selló asépticamente y se sembraron en el frasco que contenía 20 mL de medio de cultivo MS.

Luego de someter los explantes de plátano a los tratamientos de antioxidantes, se determinó la presencia de fenoles sobre ápices meristemáticos. Las evaluaciones se realizaron durante 9 días de iniciado el cultivo, hasta la terminación de la etapa de inducción. Para evaluar el nivel de fenolización de los explantes, se utilizó la siguiente escala cualitativa, que se adaptó a partir de la escala utilizada (Concepción *et al.* 2005).

Cuadro 1: Escala de nivel de fenolización (Concepción *et al.* 2005).

| Valor de la escala | Descripción | Porcentaje (%) |
|--------------------|-------------------------|---|
| 1 | Poco fenolizado | Cuando el 10-40 % del volumen del explante presente señales de fenolización aisladas. |
| 2 | Medianamente fenolizado | Para explantes con el 40-70 % del volumen fenolizado y presencia de un halo de color pardo en el medio alrededor del explante |
| 3 | Muy fenolizado | Para los explantes donde el 100 % de su volumen se hayan fenolizado o necrosado y además se observen con halo de color negruzco muy intenso en el medio |

Ensanchamiento de los explantes tratados con antioxidantes versus control sin tratamiento.

Se evaluó el tiempo en que los explantes inician su desarrollo al igual que su vigor. El vigor se evaluó de acuerdo al nivel de ensanchamiento y crecimiento que obtengan los explantes, dándoles 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 *in vitro* de plátano tratados con antioxidantes representa un dato fundamental para este estudio, se llevó a cabo un seguimiento detallado del desarrollo de los explantes bajo diferentes tratamientos antioxidantes, incluso en el grupo de control sin tratamiento, para manejar esos datos en este punto también; por lo tanto, se determinó el porcentaje de supervivencia con la siguiente fórmula:

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

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

4.1.1 Presencia de fenoles en los explantes

Fenolización en explantes de plátano día 1

En la Tabla 3, se presentan los resultados de la evaluación de 5 tratamientos de antioxidantes al primer día. Cada tratamiento fue aplicado a 32 muestras y se puede distinguir que el valor H de la prueba de Kruskal-Wallis es 14,27 y el valor p es 0.0005, indicando que hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y esto sugiere que los diferentes tratamientos que se usó tienen efectos distintos sobre la variable medida, con variaciones significativas en los resultados obtenidos.

Tabla 3. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|------|----------|-------|--------|
| Día 1 | AA | 32 | 10,94 | 2,96 | 10 | 14,27 | 0,0005 |
| Día 1 | CA | 32 | 15,94 | 4,99 | 20 | | |
| Día 1 | EDTA | 32 | 13,75 | 4,92 | 10 | | |
| Día 1 | T-AD | 32 | 13,75 | 4,92 | 10 | | |
| Día 1 | TA-SD | 32 | 15,31 | 5,07 | 20 | | |

en plátano al Día 1 mediante la prueba de Kruskal-Wallis

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

La **Figura 4**, representa las medias de la fenolización en explantes durante el primer día del experimento bajo diferentes tratamientos antioxidantes. Se aprecia una variación en los niveles de fenolización, donde un tratamiento presenta la media más baja que en este caso es de Ácido ascórbico (AA), mientras que otro alcanza la media más alta que en este caso es carbón activado (CA). Esto indica que ciertos antioxidantes tienen un efecto más fuerte en la inhibición de la fenolización en la etapa de inducción.

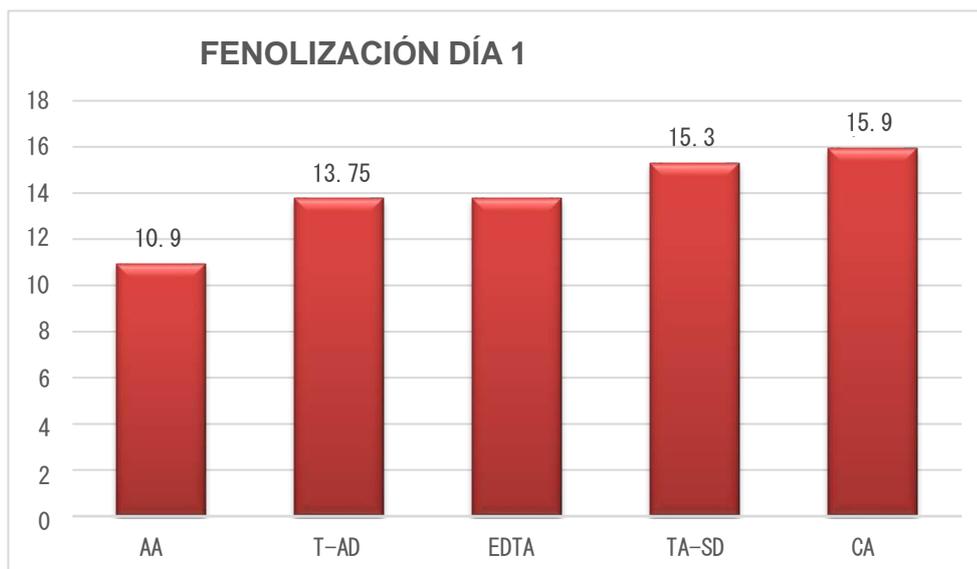


Figura 4. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 1.

En la **Figura 5**, se muestra la diferenciación del proceso de fenolización, que fue analizado en función de la presencia de distintos antioxidantes. Esta evaluación revela cómo cada antioxidante afecta la generación de compuestos fenólicos, evidenciando diferencias en los niveles de fenolización según el antioxidante aplicado.

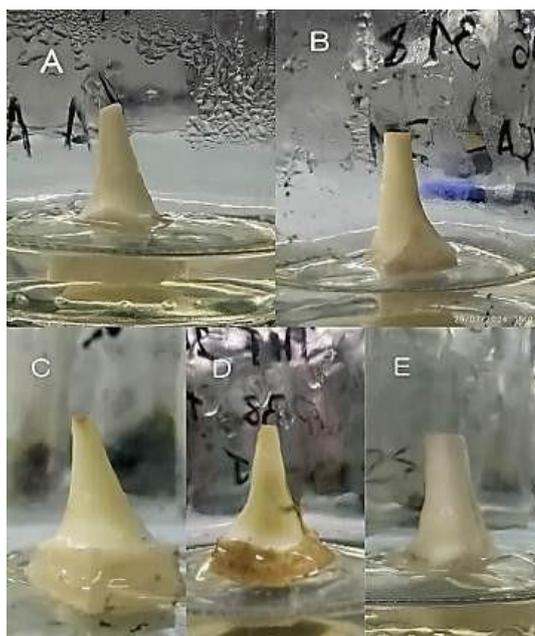


Figura 5. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 2

En la **Tabla 4**, presenta los resultados de fenolización en el plátano al segundo día. Las medias de fenolización varían entre los tratamientos, con algunas alcanzando valores más altos que otras, mientras que las medianas son consistentes en 20 para la mayoría, excepto en un tratamiento que presenta una mediana de 30. La desviación estándar indica la variabilidad en los resultados, con un rango de dispersión que va desde 4,71 hasta 9,07. Y los resultados dan una varianza altamente significativa con una $p < 0.0001$.

Tabla 4. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 2 mediante la prueba de Kruskal-Wallis

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|-----------------|---------------------|----------|---------------|-------------|-----------------|----------|----------|
| Día 2 | AA | 32 | 16,88 | 4,71 | 20 | 22,61 | <0,0001 |
| Día 2 | CA | 32 | 21,56 | 6,77 | 20 | | |
| Día 2 | EDTA | 32 | 21,25 | 8,33 | 20 | | |
| Día 2 | T-AD | 32 | 21,25 | 9,07 | 20 | | |
| Día 2 | TA-SD | 32 | 27,19 | 7,72 | 30 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvío estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **Figura 6**, se ilustra los niveles de fenolización registrados en el segundo día del experimento para diferentes tratamientos antioxidantes. Se logró observar que el tratamiento con Ácido Ascórbico (AA) tiene el menor nivel de fenolización, mientras que el tratamiento de testigo absoluto con siembra directa (TA-SD) muestra el nivel más alto. Los tratamientos con EDTA, T-AD y CA, presentan niveles de fenolización similares entre sí, superiores al de AA, pero inferiores al de TA-SD. Esto indica que, para el segundo día, TA-SD es menos efectivo en inhibir la fenolización en comparación con los otros antioxidantes.

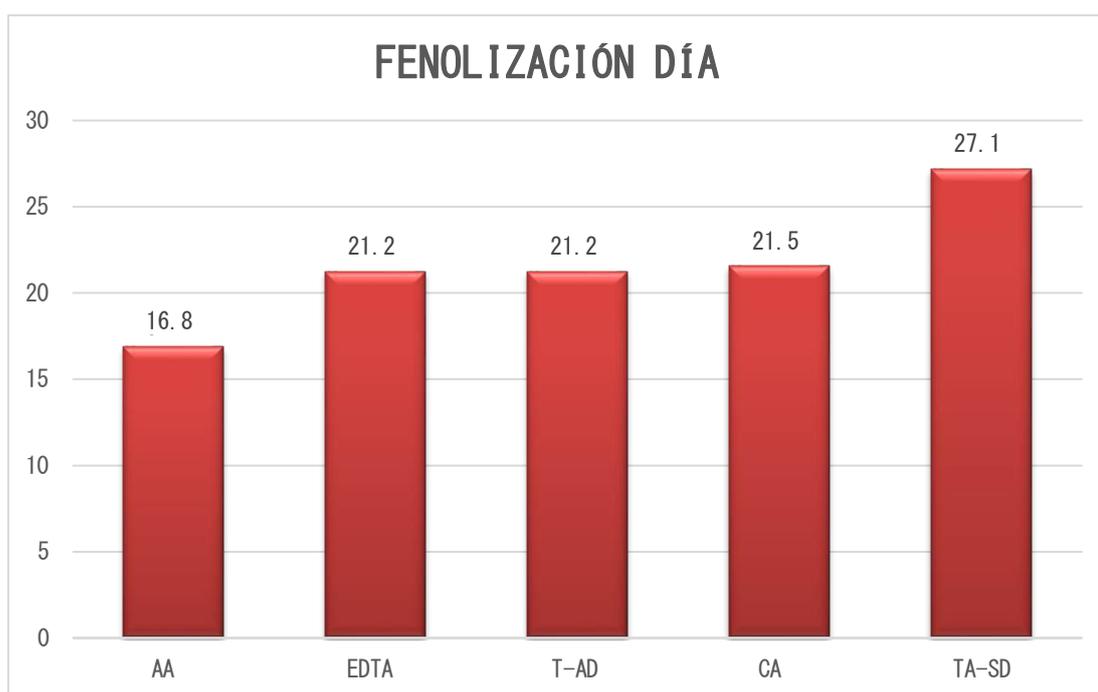


Figura 6. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 2.

En la **Figura 7**, se destaca una mayor fenolización en la siembra directa, mientras que en la condición con ácido ascórbico se observa una menor fenolización. Esto sugiere que la siembra directa promueve un mayor desarrollo de compuestos fenólicos, en comparación con el ácido ascórbico, que parece reducir el proceso de fenolización.

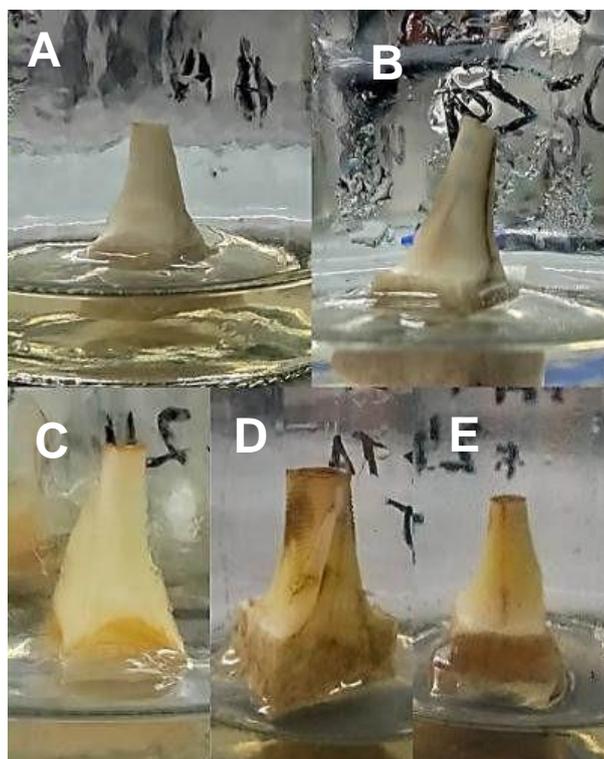


Figura 7. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 3.

En la **tabla 5**, muestra los resultados obtenidos el tercer día del experimento, en el que se evaluaron diferentes tratamientos antioxidantes aplicados a 32 muestras. Las medias de fenolización varían entre los tratamientos, con un tratamiento destacando por tener una media más baja, mientras que otro presenta la media más alta. Las medianas son consistentes en 30 para la mayoría de los tratamientos, excepto en dos casos donde las medianas son 20 y 40. Las desviaciones estándar reflejan la variabilidad en los datos, con un rango que va desde 5,08 hasta 9,33.

Tabla 5. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 3 mediante la prueba de Kruskal-Wallis

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|------|----------|-------|---------|
| Día 3 | AA | 32 | 22,5 | 5,08 | 20 | 40,66 | <0,0001 |
| Día 3 | CA | 32 | 30,31 | 6,47 | 30 | | |
| Día 3 | EDTA | 32 | 30,00 | 7,62 | 30 | | |
| Día 3 | T-AD | 32 | 30,31 | 9,33 | 30 | | |
| Día 3 | TA-SD | 32 | 36,88 | 7,80 | 40 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

La **Figura 8**, representa la fenolización en el día 3 entre los diferentes tratamientos. Los tratamientos se representan en el eje horizontal y el valor de fenolización en el eje vertical. Se observa que el tratamiento TA-SD presenta el valor más alto de fenolización, seguido de CA, T-AD y EDTA. El tratamiento AA presenta el valor más bajo de fenolización en el plátano.

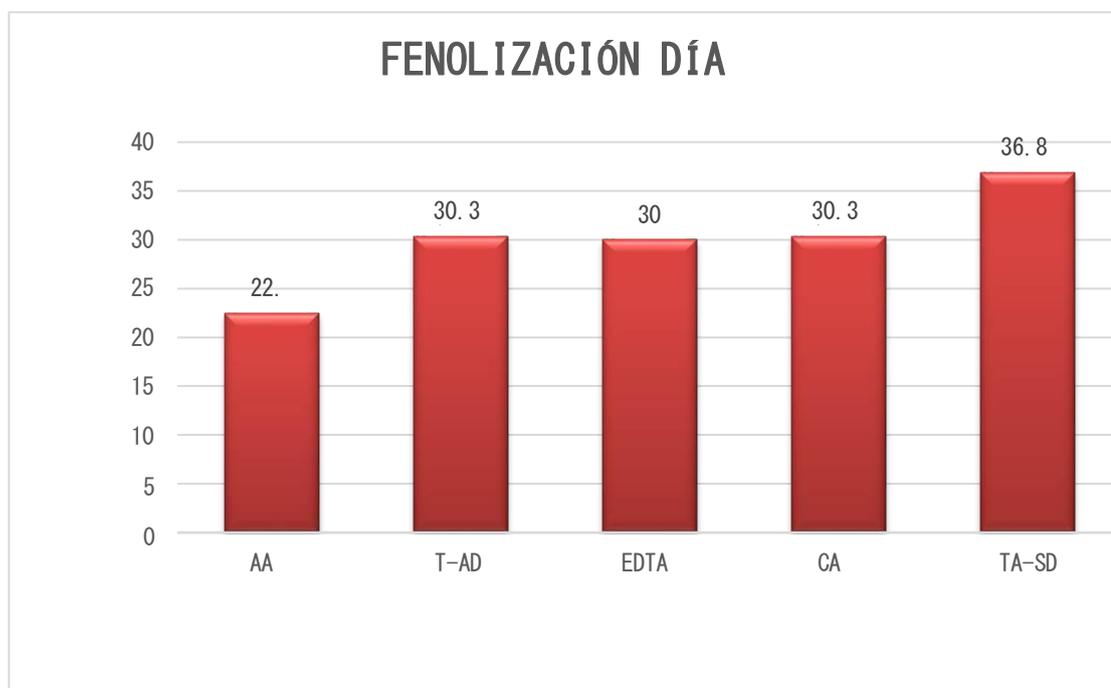


Figura 8. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 3.

En la **Figura 9**, se observa una mayor fenolización en la siembra directa, mientras que, con el uso de ácido ascórbico, la cantidad de compuestos fenólicos es significativamente menor. Esto indica que la siembra directa aumenta la producción de fenoles, mientras que el ácido ascórbico parece inhibir este proceso.

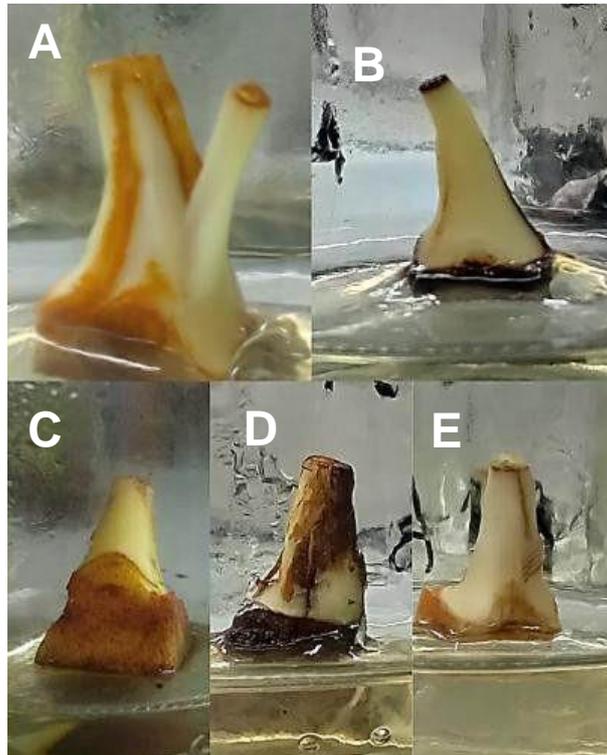


Figura 9. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 4.

En la **Tabla 6**, muestra los resultados de los diferentes antioxidantes para la fenolización en el Día 4. Las medias de los tratamientos en el Día 4 presentan una variación notable, siendo el tratamiento AA el que tiene la media más baja y el tratamiento TA-SD el que tiene la media más alta. En cuanto a las medianas, la mayoría de los tratamientos tienen un valor de 40, excepto el tratamiento AA con una mediana de 30 y el tratamiento TA-SD con una mediana de 45. Las desviaciones estándar, que indican la dispersión de los datos, varían entre 6,34 y 10,78, lo que muestra un rango de variabilidad en los resultados. El tratamiento AA muestra la menor variabilidad con una desviación estándar de 6,34, mientras que

el tratamiento T-AD presenta la mayor dispersión con una desviación estándar de 10,78.

Tabla 6. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 4 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 4 | AA | 32 | 27,19 | 6,34 | 30 | 49,34 | <0,0001 |
| Día 4 | CA | 32 | 40,00 | 7,18 | 40 | | |
| Día 4 | EDTA | 32 | 37,50 | 10,47 | 40 | | |
| Día 4 | T-AD | 32 | 37,50 | 10,78 | 40 | | |
| Día 4 | TA-SD | 32 | 45,31 | 8,42 | 45 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **figura 10**, los valores promedio de los tratamientos muestran que el tratamiento TA-SD tiene el promedio más alto, con una media de 45,31, seguido por el tratamiento CA con una media de 40,00. Los tratamientos T-AD y EDTA tienen medias iguales de 37,50, mientras que el tratamiento AA presenta la media más baja con 27,19.

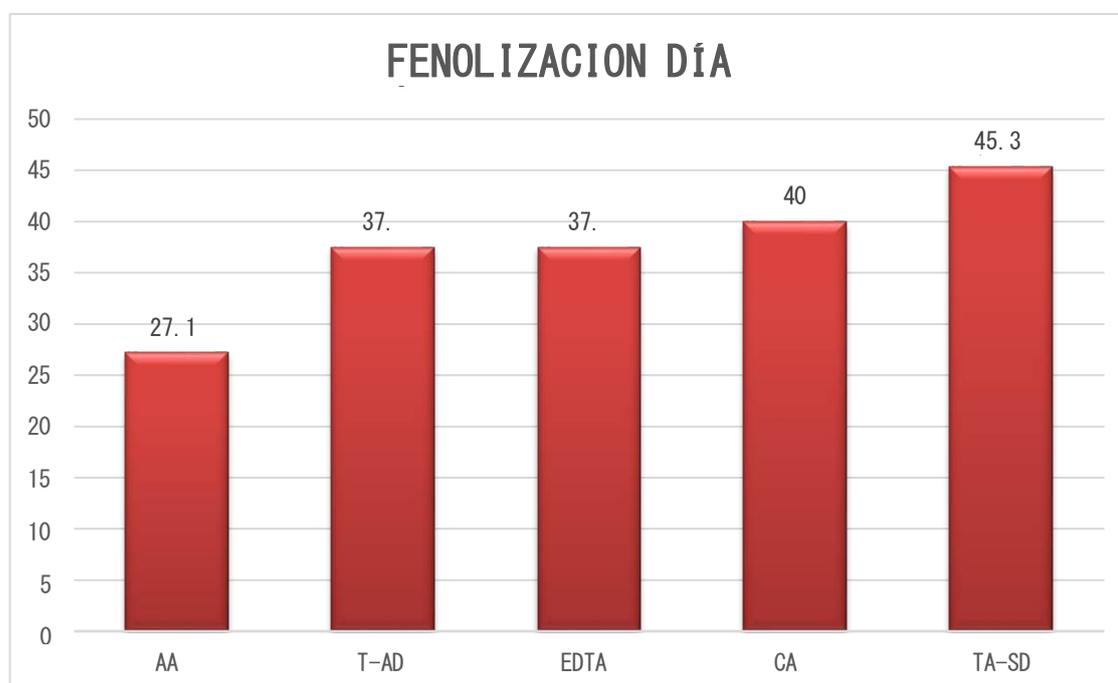


Figura 10. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 4.

En la **Figura 11**, se observa nuevamente una mayor fenolización en la siembra directa, mientras que, con el uso de ácido ascórbico, la cantidad de compuestos fenólicos es significativamente menor. Esto indica que la siembra directa aumenta la producción de fenoles, mientras que el ácido ascórbico parece inhibir este proceso y esto fue durante el día 4.

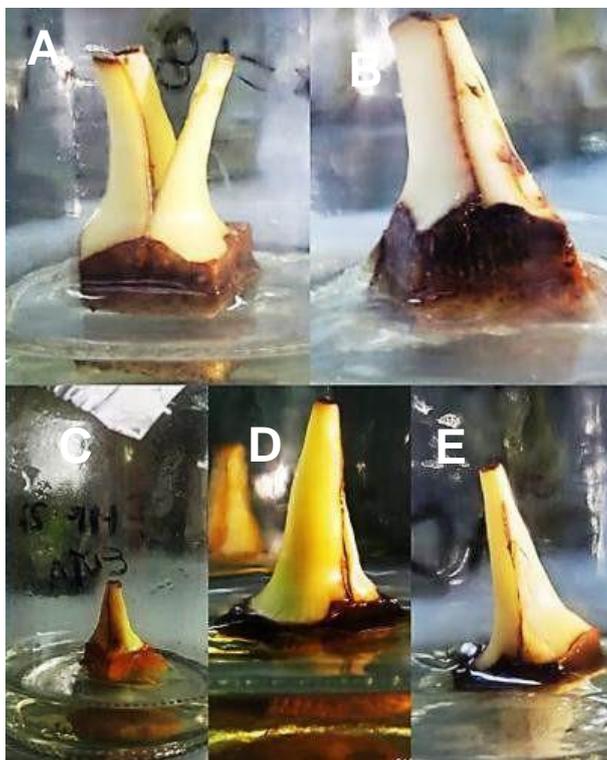


Figura 11. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 5.

En la Tabla 7, se presentan los resultados para diferentes tratamientos aplicados en el Día 5. Para cada tratamiento se incluyen los valores de la media, la desviación estándar, y la mediana de la variable medida. Los tratamientos son AA, CA, EDTA, T-AD y TA-SD. El tratamiento AA tiene una media de 31,88 con una desviación estándar de 6,44 y una mediana de 30. El tratamiento CA muestra una media de 48,44 y una desviación estándar de 9,2, con una mediana de 50. El tratamiento EDTA presenta una media de 45,63, una desviación estándar de 10,76 y una mediana de 40. El tratamiento T-AD tiene una media de 48,13, una desviación estándar de 9,98 y una mediana de 50. Por último, el tratamiento TA-SD tiene la mayor media con 55, una desviación estándar de 8,03 y una mediana de 55.

Tabla 7. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 5 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 5 | AA | 32 | 31,88 | 6,44 | 30 | 66,06 | <0,0001 |
| Día 5 | CA | 32 | 48,44 | 9,20 | 50 | | |
| Día 5 | EDTA | 32 | 45,63 | 10,76 | 40 | | |
| Día 5 | T-AD | 32 | 48,13 | 9,98 | 50 | | |
| Día 5 | TA-SD | 32 | 55,00 | 8,03 | 55 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **figura 12**, Las medias de los tratamientos revelan que TA-SD muestra el valor promedio más alto, mientras que CA, T-AD y EDTA tienen valores promedio similares, pero ligeramente inferiores. El tratamiento AA tiene el promedio más bajo. Esto sugiere que TA-SD tiene el mayor impacto promedio en la variable medida, en comparación con el efecto más reducido de fenoles observado con el tratamiento AA.

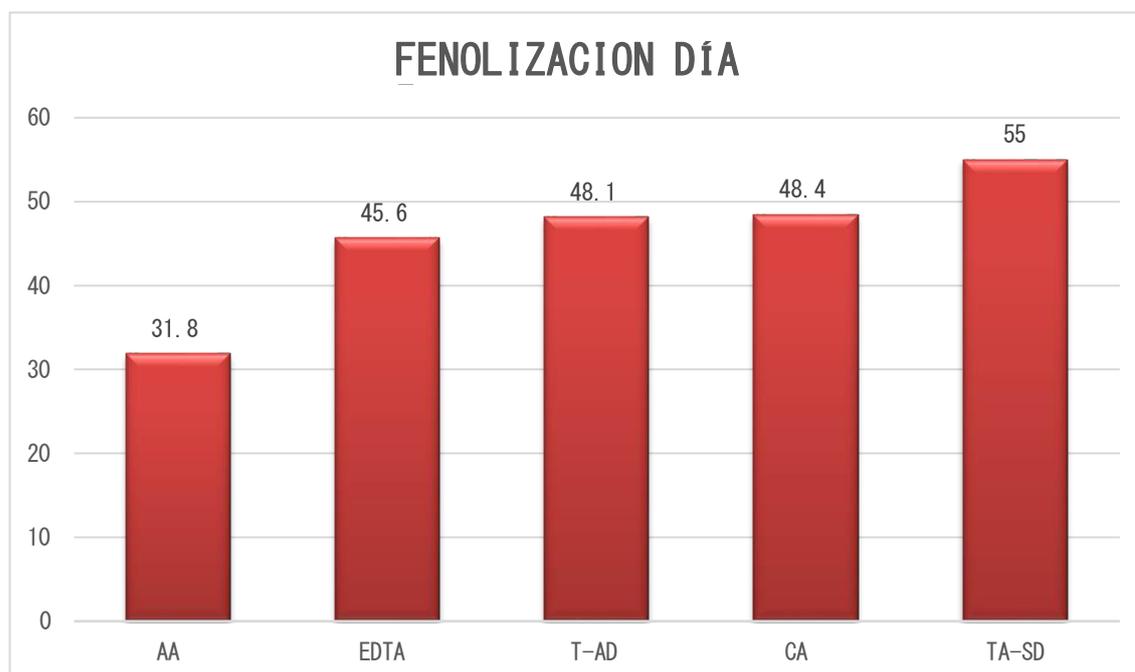


Figura 12. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 5.

En la **Figura 13**, durante el día 5 se puede observar cómo nuevamente se ve más presencia de compuestos fenólicos en el tratamiento de siembra directa; pero, por otro lado, se puede observar el efecto positivo que tiene el ácido ascórbico en el explante.

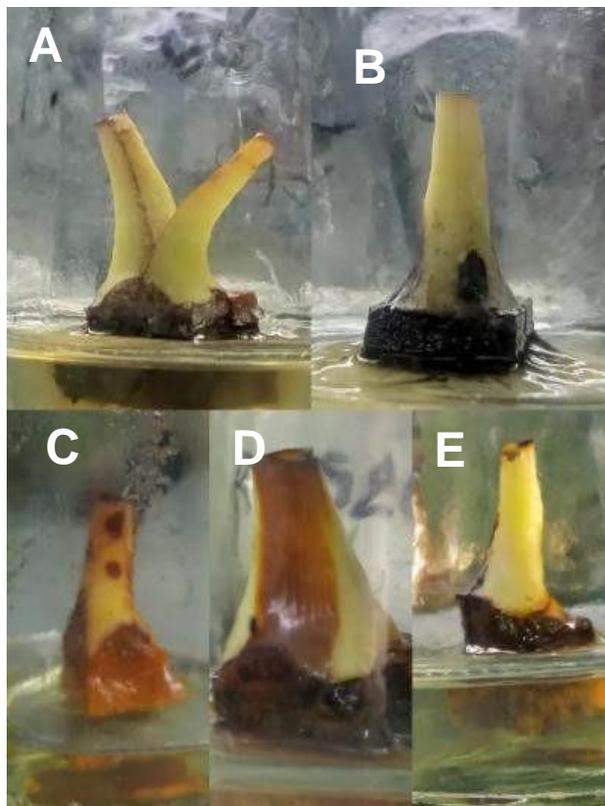


Figura 13. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 6.

En la **Tabla 8**, los resultados muestran variaciones significativas entre los tratamientos en cuanto a la variable medida en el día 6. El tratamiento CA tiene los valores más altos, con una media de 69,06 y una mediana de 70. El tratamiento TA-SD también presenta altos valores, con una media de 62,81 y una mediana de 60. Los tratamientos EDTA y T-AD tienen medias de 53,75 y 54,06, y medianas de 55 y 50, respectivamente. El tratamiento AA muestra los valores más bajos, con una media de 41.56 y una mediana de 40. El valor p inferior a 0.0001 indica que estas diferencias son estadísticamente significativas, sugiriendo que al menos uno

de los tratamientos tiene un efecto claramente diferente sobre la variable medida en comparación con los otros.

Tabla 8. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 6 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 6 | AA | 32 | 41,56 | 8,47 | 40 | 75,79 | <0,0001 |
| Día 6 | CA | 32 | 69,06 | 8,93 | 70 | | |
| Día 6 | EDTA | 32 | 53,75 | 11,00 | 55 | | |
| Día 6 | T-AD | 32 | 54,06 | 11,88 | 50 | | |
| Día 6 | TA-SD | 32 | 62,81 | 9,24 | 60 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **Figura 14**, los valores promedio de los tratamientos revelan que CA tiene el efecto medio más elevado, con TA-SD, T-AD y EDTA mostrando incrementos sucesivos en sus medias. El tratamiento AA, en cambio, presenta el promedio más bajo.

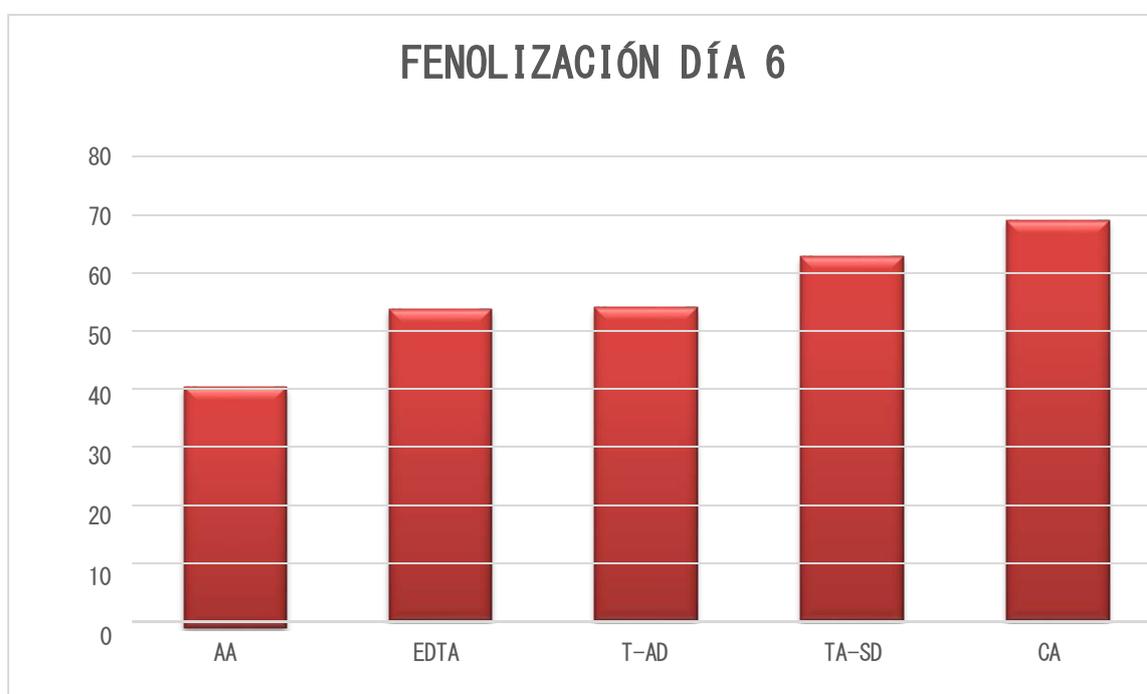


Figura 14. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 6.

En la **Figura 15**, se puede observar el cambio que hubo en el día 6 en la cual se demuestra que carbón activado genero más compuestos fenólicos que siembra directa y nuevamente ácido ascórbico sigue cumpliendo su función como antioxidante.

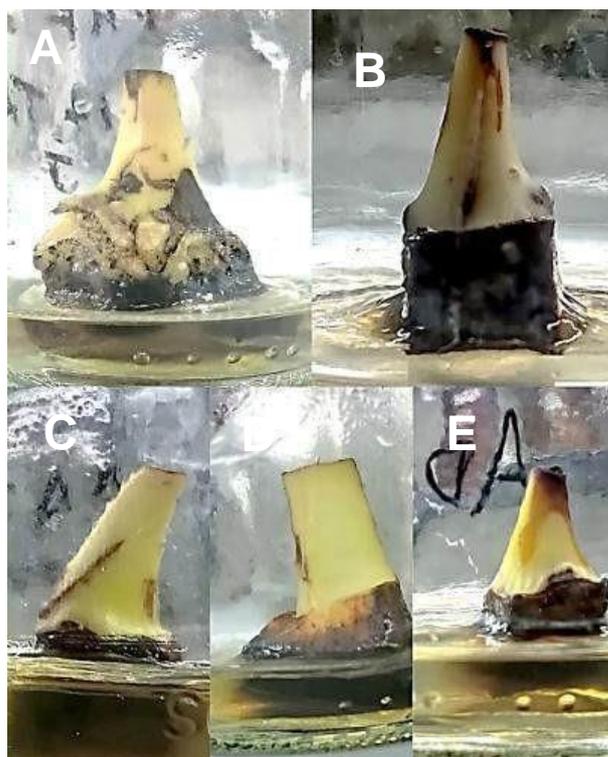


Figura 15. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 7.

En la **Tabla 9**, se observan diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la variable medida en el día 7. El tratamiento CA presenta los valores más altos, con una media de 76,25 y una mediana de 80. El tratamiento TA-SD también tiene altos valores, con una media de 70,94 y una mediana de 70. Los tratamientos T-AD y EDTA muestran medias de 61,25 y 58,44, y medianas de 60. El tratamiento AA tiene los valores más bajos, con una media y mediana de 45. El resultado muestra alta significancia al tener <0.0001 .

Tabla 9. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 7 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 7 | AA | 32 | 45,00 | 8,80 | 45 | 81,11 | <0,0001 |
| Día 7 | CA | 32 | 76,25 | 12,38 | 80 | | |
| Día 7 | EDTA | 32 | 58,44 | 11,39 | 60 | | |
| Día 7 | T-AD | 32 | 61,25 | 11,85 | 60 | | |
| Día 7 | TA-SD | 32 | 70,94 | 7,34 | 70 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **Figura 16**, las medias de los tratamientos muestran que el tratamiento CA presenta el valor promedio más alto de todos, seguido por TA-SD, T-AD y EDTA, que exhiben un incremento gradual en sus valores promedio. El tratamiento AA, en contraste, tiene el promedio más bajo entre los evaluados. Esto indica que el tratamiento CA tiene el impacto promedio menos significativo sobre la variable medida, mientras que el tratamiento AA muestra el efecto promedio más moderado.

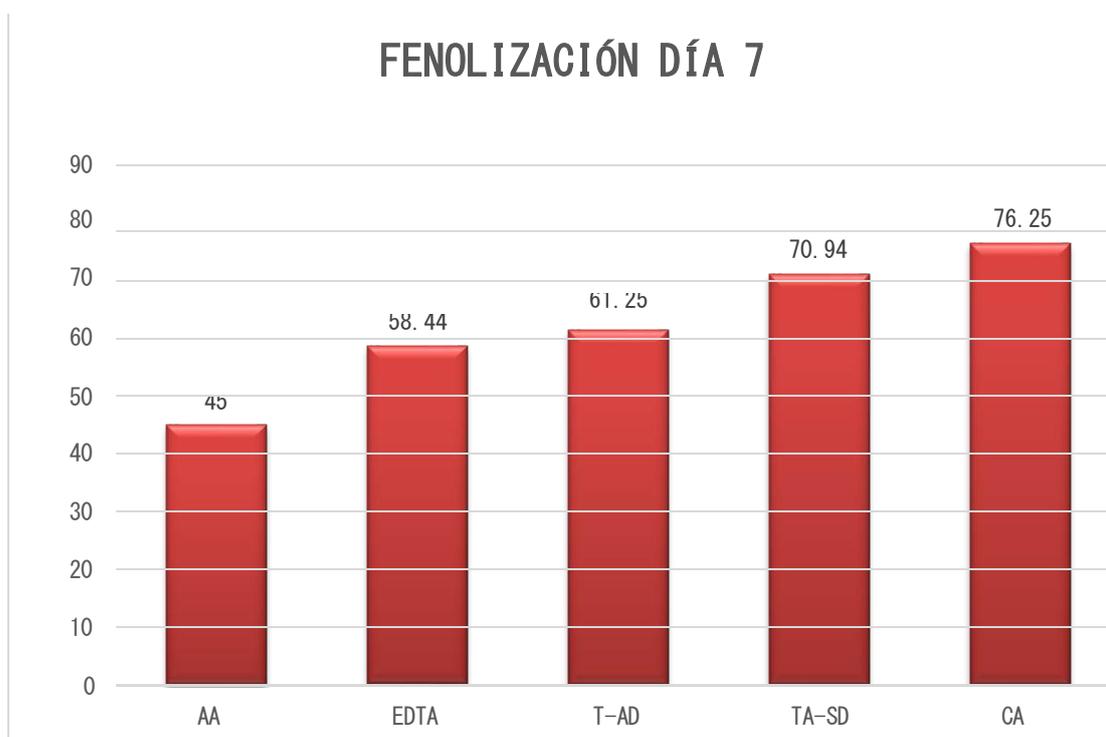


Figura 16. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 7.

En la **Figura 17**, durante el 7mo día se observó que nuevamente que con el antioxidante carbón activado hubo más presencia de fenolización que los otros antioxidantes.

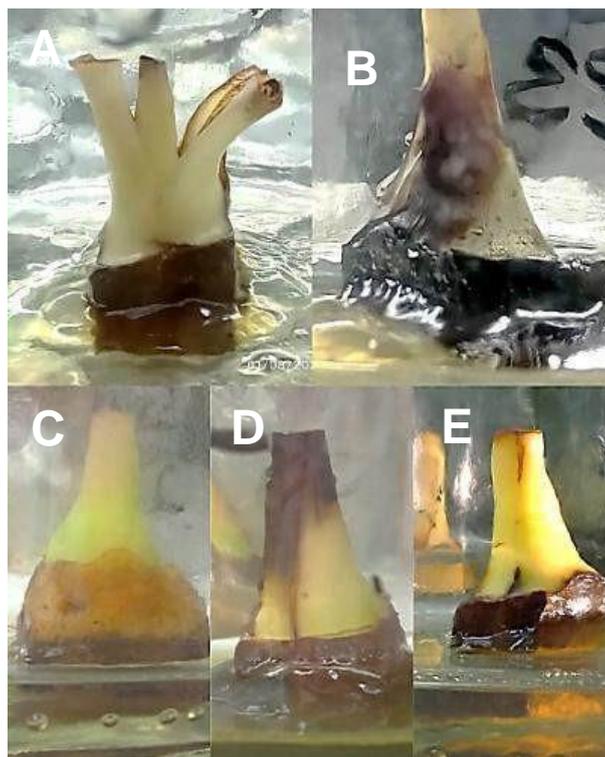


Figura 17. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido Ascórbico, B) Carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 8.

En la **Tabla 10**, los resultados muestran diferencias marcadas entre los tratamientos en el día 8. El tratamiento CA tiene los valores más altos, con una media de 86,56 y una mediana de 90. El tratamiento TA-SD sigue con una media de 81,56 y una mediana de 85. Los tratamientos T-AD y EDTA tienen medias de 71,88 y 66,88, con medianas de 70 y 60, respectivamente. El tratamiento AA presenta los valores más bajos, con una media de 50,63 y una mediana de 50.

Tabla 10. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 8 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 8 | AA | 32 | 50,63 | 8,78 | 50 | 82,57 | <0,0001 |
| Día 8 | CA | 32 | 86,56 | 13,59 | 90 | | |
| Día 8 | EDTA | 32 | 66,88 | 12,03 | 60 | | |
| Día 8 | T-AD | 32 | 71,88 | 13,78 | 70 | | |
| Día 8 | TA-SD | 32 | 81,56 | 10,19 | 85 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **Figura 18**, los resultados muestran que el tratamiento CA tiene el valor promedio más alto, con una media de 86,56, seguido por TA-SD con una media de 81,56. Los tratamientos T-AD y EDTA tienen medias de 71,88 y 66,88, respectivamente, mientras que el tratamiento AA presenta la media más baja, 50,63. Esto sugiere que el tratamiento CA tiene el mayor impacto promedio sobre la variable medida, mientras que el tratamiento AA muestra el menor efecto promedio. En resumen, los tratamientos CA y TA-SD son los menos efectivos en comparación con los demás.

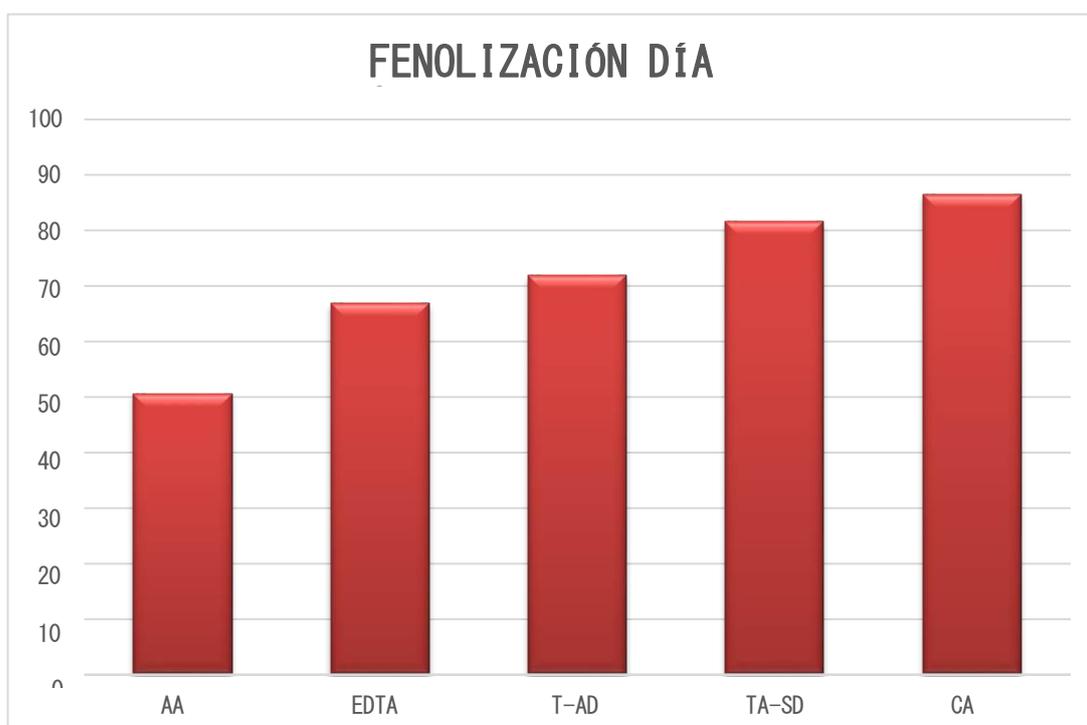


Figura 18. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), Carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 8.

En la **Figura 19**, durante el día 8 el carbón activado lideró nuevamente como el tratamiento con más compuestos fenólicos.

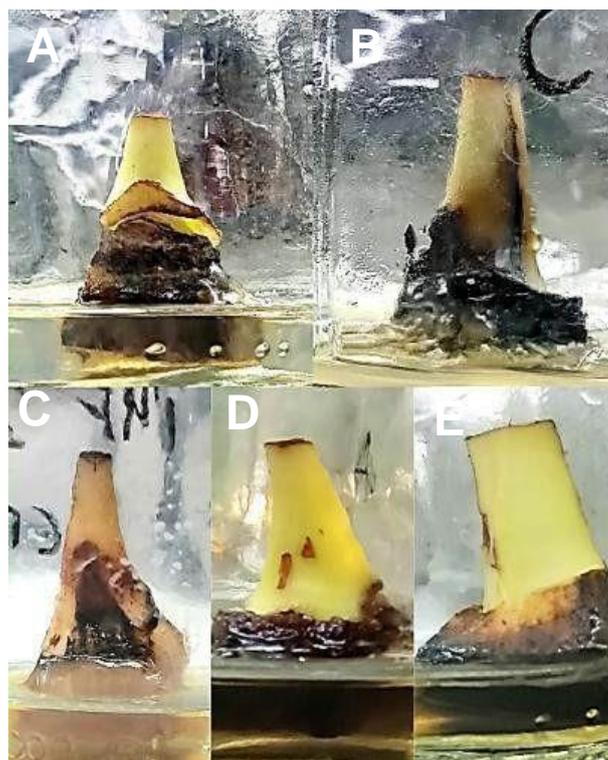


Figura 19. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido ascórbico, B) carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

Fenolización en explantes de plátano día 9.

En la **Tabla 11**, los tratamientos exhiben diferencias significativas en los resultados. El tratamiento CA presenta los valores más elevados, con una media de 90,31 y una mediana de 100. El tratamiento TA-SD sigue con una media de 83,44 y una mediana de 90. Los tratamientos T-AD y EDTA tienen medias de 71,88 y 69,06, respectivamente, con medianas de 70 en ambos casos. El tratamiento AA muestra los valores más bajos, con una media de 51,88 y una mediana de 50.

Tabla 11. Análisis de varianza no paramétrico de la presencia de fenoles en plátano al Día 9 mediante la prueba de Kruskal-Wallis.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|-------|----------|-------|---------|
| Día 9 | AA | 32 | 51,88 | 9,31 | 50 | 89,69 | <0,0001 |
| Día 9 | CA | 32 | 90,31 | 12,57 | 100 | | |
| Día 9 | EDTA | 32 | 69,06 | 12,01 | 70 | | |
| Día 9 | T-AD | 32 | 71,88 | 13,78 | 70 | | |
| Día 9 | TA-SD | 32 | 83,44 | 7,87 | 90 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

En la **Figura 20**, los resultados muestran que el tratamiento CA tiene el valor promedio más alto, con una media de 86,56, seguido por TA-SD con una media de 81,56. Los tratamientos T-AD y EDTA tienen medias de 71,88 y 66,88, respectivamente, mientras que el tratamiento AA presenta la media más baja, 50,63.

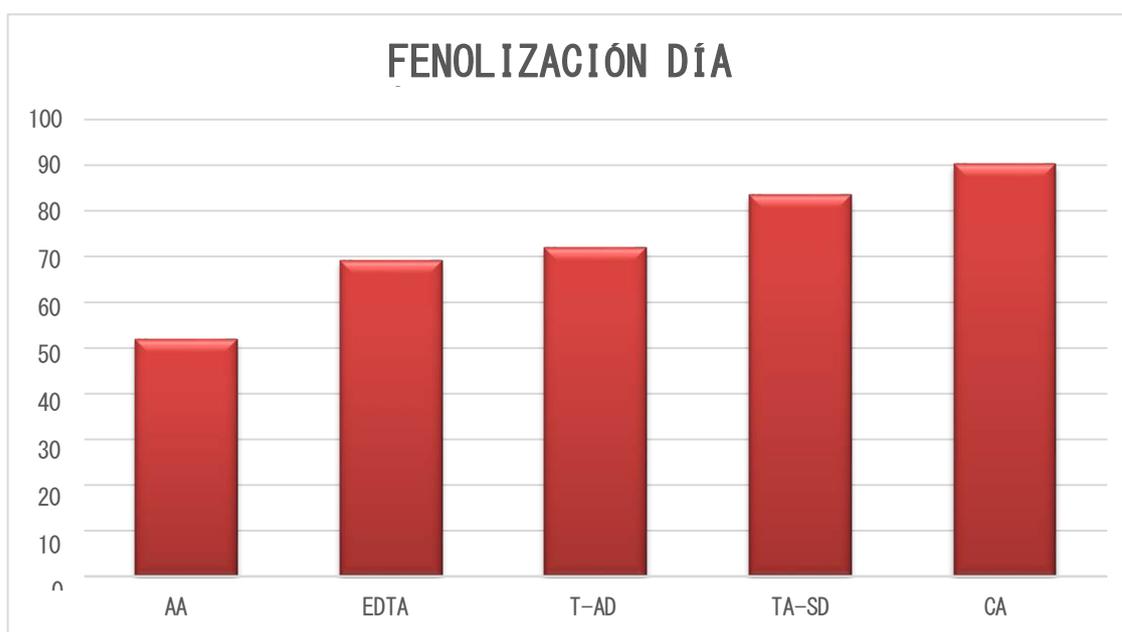


Figura 20. Comparación de medias de los diferentes antioxidantes que son Ácido Ascórbico (AA), carbón activado (CA), Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), en respuesta a los resultados de fenolización del día 9.

En la **Figura 21**, En el último día que este caso es día 9 se evaluó por última vez el efecto que hubo en los diferentes antioxidantes y su progreso con la fenolización si hubo reducción de este fenómeno que en este caso ácido ascórbico obtuvo menor puntuación de compuestos fenólicos.

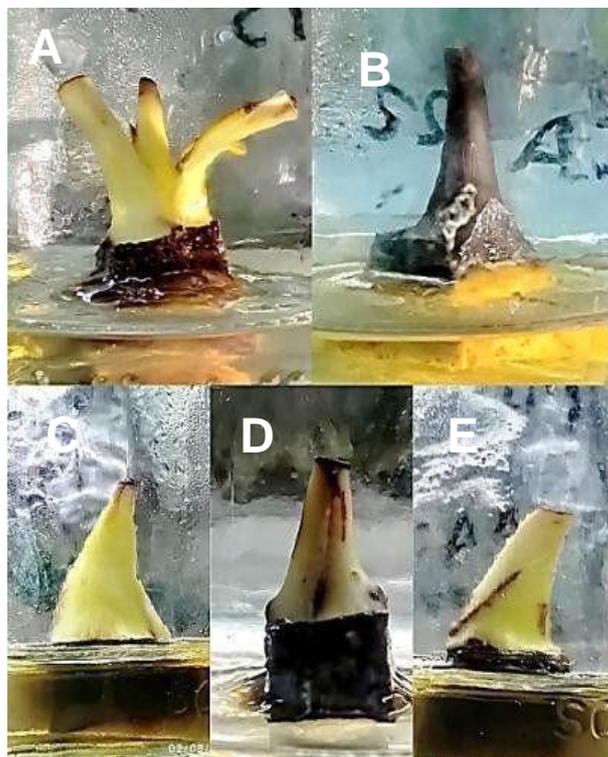


Figura 21. Comparación entre los diferentes antioxidantes las cuales están divididos por A) Ácido ascórbico, B) carbón Activado, C) EDTA, D) Siembra Directa, E) Agua destilada.

4.1.2 Ensanchamiento de los explantes tratados con antioxidantes versus control sin tratamiento.

La **Tabla 12**, se evaluó el vigor de muestras sometidas a cinco tratamientos distintos en el Día 9, con 32 unidades experimentales para cada tratamiento.

En el tratamiento AA, el vigor promedio fue de 2,91, con una variabilidad de 0,73 y una mediana de 3,00, lo que indica que la mayoría de los valores de vigor se agruparon en torno a 3,00.

El tratamiento CA tuvo un promedio de 2,47, con una desviación estándar de 0,72 y una mediana de 2,00, mostrando un vigor ligeramente menor y una mayor dispersión de los datos en comparación con AA.

El tratamiento EDTA presentó un patrón similar al de AA, con un promedio de 2,91 y una mediana de 3,00, lo que sugiere que estos tratamientos tuvieron efectos similares en el vigor de las muestras.

El tratamiento T-AD mostró un vigor promedio de 2,31, con una desviación estándar de 0,59 y una mediana de 2,00, reflejando un vigor algo menor y una menor variabilidad en comparación con AA y EDTA.

El tratamiento TA-SD tuvo el promedio más bajo, con 2,25, una variabilidad de 0,51 y una mediana de 2,00, indicando que este tratamiento resultó en el vigor más bajo y con menos dispersión en comparación con los otros.

Finalmente, el valor de p de 0,0001 indica que las diferencias en el vigor entre los tratamientos son estadísticamente significativas.

Tabla 12. Ensanchamiento de los explantes tratados con antioxidantes versus control sin tratamiento.

| Variable | Tratamientos | N | Medias | D.E. | Medianas | H | p |
|----------|--------------|----|--------|------|----------|-------|--------|
| Día 9 | AA | 32 | 2,91 | 0,73 | 3,00 | 20,17 | 0,0001 |
| Día 9 | CA | 32 | 2,47 | 0,72 | 2,00 | | |
| Día 9 | EDTA | 32 | 2,91 | 0,73 | 3,00 | | |
| Día 9 | T-AD | 32 | 2,31 | 0,59 | 2,00 | | |
| Día 9 | TA-SD | 32 | 2,25 | 0,51 | 2,00 | | |

N: Numero de explantes usados por tratamiento; D.E: Desvió estándar por tratamiento; H: Hipótesis; P: Probabilidades.

4.1.3. Tasa de supervivencia

En la **Tabla 13**, se presenta los resultados del porcentaje de la tasa de supervivencia en las cuales se demostró que con el antioxidante de Ácido ascórbico hubo un mayor porcentaje de supervivencia de los explantes de plátano sin embargo el antioxidante de carbón actividades mostro una alta cantidad de explantes muertos.

Se evaluó cómo diferentes tratamientos antioxidantes la supervivencia de los explantes en cultivo *in vitro*. Los resultados indican que el ácido ascórbico fue el más efectivo, ya que permitió que la mayoría de los explantes sobrevivieran al evitar y la fenolización. El EDTA también fue eficaz, aunque un poco menos, mostrando que también ayuda a proteger los tejidos vegetales.

El agua destilada, que actuó como control positivo, mostró que, aunque los explantes pueden sobrevivir sin antioxidantes específicos, lo hacen con menor éxito en comparación con los tratamientos antioxidantes. El carbón activado, no fue tan efectivo como los otros tratamientos.

Tabla 13. Tasa de supervivencia de los diferentes tratamientos.

| Tratamientos | Números | Sobrevivientes | No | % | Tasa de |
|--|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| | de | | sobrevivientes | supervivencia | de |
| | de | | | | de |
| | explantes | | | | |
| Ácido ascórbico | 32 | 29 | 3 | 91,00% | |
| Carbón activado | 32 | 15 | 17 | 46,88% | |
| Ácido etilen diamino tetra acético (EDTA) | 32 | 25 | 7 | 78,10% | |
| Testigo Absoluto/ siembra directa | 32 | 21 | 13 | 34,00% | |
| Testigo/ Agua destilada | 32 | 23 | 9 | 65,63% | |

4.2. Discusión

La fenolización en el cultivo *in vitro* de plátano representa un reto importante, ya que puede obstaculizar el desarrollo adecuado de los explantes y afectar la viabilidad del proceso de micropropagación.

Según Echenique y Mamani (2021) explican que, la multiplicación *in vitro*, junto con una adecuada selección del material en campo, permite obtener un mayor número de plantas en excelentes condiciones fitosanitarias. Sin embargo, la oxidación de los explantes y la contaminación durante la fase de inducción del cultivo son las principales causas de pérdida de material vegetal. Estas pérdidas pueden controlarse mediante una desinfección adecuada y la reducción de la oxidación utilizando carbón activado u otros antioxidantes. Conuerdo con los autores porque para que se lleve a cabo un bien proceso de cultivo *In vitro* principalmente se debe tener plantas de excelentes condiciones y así mismo para

la disminución de fenolización se debe hacer aplicaciones de antioxidantes para preservar la calidad de los implantes *In vitro*.

En este estudio, se investigó el impacto de diversos antioxidantes en la reducción de la fenolización durante la fase de inducción en explantes de plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete.

Los resultados revelaron que el ácido ascórbico fue el antioxidante más eficaz, logrando una reducción considerable de la fenolización gracias a su capacidad para neutralizar radicales libres y prevenir la oxidación de compuestos fenólicos.

Reyes (2001) recalcó que, el ácido ascórbico agregado al medio de cultivo, no tuvo un buen control de la oxidación, deduciendo que mientras más alta sea la dosis, menor será el control sobre la oxidación. En base a esto, manifiesto que no concuerdo con lo expresado por parte del autor, en vista que la investigación realizada establece que el antioxidante que más tuvo efecto fue el ácido ascórbico, concluyendo que entre más dosificación existía, era mayor el control de la fenolización en el plátano.

En segundo lugar, el EDTA mostró efectividad al actuar como quelante de metales, disminuyendo la actividad de las enzimas responsables de la oxidación de fenoles. Según Azofeifa (2009) destaca que, el ácido etilendiaminotetracético (EDTA) inhibió la actividad de la PPO en los tejidos de hoja de girasol cultivados *in vitro*, lo cual apunta que estos compuestos remueven iones metálicos que son fundamentales para la actividad de enzimas oxidasas.

El uso de agua destilada tuvo una efectividad moderada en la reducción de la fenolización, probablemente debido a su capacidad para diluir los compuestos fenólicos presentes. La siembra directa también contribuyó a disminuir la fenolización, aunque en menor medida en comparación con los antioxidantes previamente mencionados.

Por último, el carbón activado, conocido por su capacidad de adsorción, resultó ser el menos eficaz para reducir la fenolización. Esto indica que, aunque puede eliminar algunos compuestos fenólicos, no es suficiente para controlar completamente el proceso de oxidación.

CAPITULO V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En conclusión, emplear antioxidantes para la reducción de la fenolización en explantes *in vitro* de plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete es una estrategia efectiva para mejorar la calidad y viabilidad de los cultivos. Es fundamental seleccionar y utilizar apropiadamente los antioxidantes, además de ajustar las condiciones del medio de cultivo para reducir la producción de compuestos fenólicos que podrían obstaculizar el crecimiento. Además, es crucial monitorear de manera continua los niveles de fenoles y evaluar la regeneración de los explantes para garantizar resultados óptimos.

Los resultados del estudio indican que el Ácido Ascórbico (AA) es el antioxidante más efectivo para reducir la fenolización en explantes de plátano en todas las etapas del experimento, manteniendo consistentemente las medias más bajas de fenoles a lo largo de los nueve días. En contraste, el Carbón Activado (CA) y el testigo absoluto con siembra directa (TA-SD) mostraron ser los tratamientos menos efectivos, con niveles de fenolización significativamente más altos.

Estos hallazgos sugieren que el uso de Ácido Ascórbico como antioxidante podría ser una estrategia viable para minimizar los efectos negativos de la fenolización en cultivos *in vitro* de plátano, lo que puede mejorar las tasas de éxito en la micropropagación de este cultivo. Sin embargo, la efectividad de otros antioxidantes como EDTA y T-AD, aunque mejor que la de CA y TA-SD, no alcanzó los niveles de inhibición logrados por el AA. Por lo tanto, se recomienda la implementación del Ácido Ascórbico en protocolos de micropropagación de plátano, especialmente en las etapas iniciales del cultivo.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que para reducir la fenolización en explantes *in vitro* de plátano (*Musa AAB*) cv. Hartón Barraganete, es esencial seleccionar y experimentar varios antioxidantes para determinar cuáles son más efectivos en la disminución de compuestos fenólicos. Debe realizarse un ajuste preciso en las concentraciones de cada antioxidante, ya que tanto niveles insuficientes como excesivos pueden

impactar negativamente los resultados. Además, ajustar las condiciones del medio de cultivo, incluyendo pH y nutrientes, es crucial para asegurar que los antioxidantes actúen eficazmente sin interferir con otros componentes necesarios.

Es importante llevar a cabo un monitoreo constante de los niveles de fenoles en los explantes para concordar las concentraciones de antioxidantes según sea necesario y obtener los mejores resultados. También se debe evaluar la tasa de regeneración y la calidad de los explantes para afirmar que la reducción de fenoles no afecte el crecimiento y desarrollo de estos. Realizar comparaciones entre antioxidantes permitirá identificar cuál es el más efectivo, y una documentación detallada de los resultados y las condiciones experimentales facilitará la interpretación de los hallazgos y su reproducibilidad.

Considerar la posibilidad económica y la disponibilidad de los antioxidantes es crucial para garantizar que las soluciones planteadas sean prácticas y accesibles para aplicaciones a gran escala. Revisar estudios anteriores sobre fenolización en cultivos *in vitro* proporcionará información adicional sobre métodos efectivos, y colaborar con especialistas en biotecnología de plantas o química de alimentos puede ofrecer una orientación valiosa sobre la selección y uso de antioxidantes, optimizando así el enfoque para la reducción de fenoles en los explantes.

REFERENCIAS

- Abarca, R; Vera, P. 2019. Importancia biológica de los compuestos fenólicos (en línea). Revista ciencia y tecnología. Consultado 23 may. 2024. Disponible en https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8081195.pdf&ved=2ahUKEwiam96knseGAxX34ckDHQUNLoQFnoECBEQBg&usg=AOvVaw3cTSDjWAsKR8C60OwLni_W
- Aguirre, G; Baudoin, J; Leigue, L. 2010. Aplicación del Cultivo de Tejidos en la Multiplicación y Conservación de los Recursos Fitogenéticos (en línea). Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias. Cochabamba, Bolivia. 240 p. Consultado 21 may. 2024. Disponible en <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/212904/1/Aguirre%2C%20Baudoin%2C%20>
- Álcántara, J; Castilla, M; Sánchez, R. 2017. Importancia de los cultivos vegetales *In vitro* para establecer bancos de germoplasma y su uso en investigación (en línea). Consultado 11 jun. 2024. Disponible en <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/download/2222/2382>
- Alcivar, J; Cella, S. 2021. Comportamiento agronómico del hartón (musácea Paradisiaca) con la aplicación de dos abonos orgánicos en El recinto garza grande” (en línea). Tesis Ing. Agr. Cotopaxi, Ecuador, Universidad Técnica de Cotopaxi. 77 p. Consultado 26 jun. 2024. Disponible en <http://repositorio.utc.edu.ec/jspui/bitstream/27000/7696/1/UTC-PIM-000347.pdf>
- Álvarez, E; León, S; Sánchez, M; Cusme, B. 2020. Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos (en línea). Journal of business and entrepreneurial studies, 4(2). Consultado 20 may. 2024. Disponible en <https://journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/78/284>

- Álvarez, G; Macías, G. 2023. Estilos de liderazgo en los gerentes de agronegocios dedicados a la producción de plátano (*musa AAB*) adscritos a la empresa agrocaribe (en línea). Tesis. Manabí, Ecuador, Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.104 p. Consultado 20 may. 2024. Disponible en https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/2319/1/TIC_AE55D.pdf
- Ancasi, R; Montero, J; Ferreira, N; Muñoz, G. 2016. Determinación un mejor medio de cultivo en la fase de establecimiento para la propagación in vitro de plátano (*Musa paradisiaca*) (en línea). Consultado 09 jun.2024. Disponible en http://www.scielo.org.bo/pdf/jsars/v7n2/v7n2_a08.pdf
- Azofeifa, A. 2009. Problemas de oxidación y oscurecimiento de explantes Cultivados in vitro (en línea). Revista Bibliográfica. Consultado 23 may. 2024. Disponible en https://www.mag.go.cr/rev_meso/v20n01_153.pdf
- Botero, L; López, J. 2015. Evaluación de estrategias para el control de la fenolización en la etapa de establecimiento in vitro de explantes de la especie recalcitrante *peltogyne purpurea pittier*. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://smbb.mx/congresos%20smbb/guadalajara15/PDF/XVI/trabajos/II/IIC-72.pdf>
- Carrion, J. 2020. Multiplicación *in vitro* de plátano: Revisión de literatura (en línea). Tesis Ing. Agr. Honduras.26p. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/1962b588-80b3-4a90-b603-7b6df2385f6c/content>
- Casado, G; Torrico, C; Medina, A. 2012. Medios de cultivo en un laboratorio de microbiología (en línea). Consultado 18 jun. 2024. Disponible en <https://libroslaboratorio.wordpress.com/wpcontent/uploads/2012/09/medios-de-cultivo-en-un-laboratorio-de-microbiologc3ada.pdf>
- Castellón, K; Pineda, W; Córdón, S. 2017. Comportamiento agronómico del cultivo del plátano, variedad curare enano en Sandy Bay Costa Caribe Norte de Nicaragua (en línea). Revista ciencia e interculturalidad,21(2):1-14.

Consultado 21 may. 2024. Disponible en <https://www.camjol.info/index.php/RCI/article/view/5605/5317>

Cedeño, J; García, J; Solórzano, C; Jiménez, L; Ulloa, S; López, F; Avellán, L; Bracho, B; Sánchez, A. 2021. Fertilización con magnesio en plátano 'barraganete' (*Musa AAB*) Ecuador (en línea). *Revista de Ciencias de la Vida* 35(1). Consultado 10 de jun. 2024. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-85962022000100008

Concepción, O; Nápoles, L; Pérez, A; 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. *Cultivos Tropicales* [en línea]. 26(1), 33-39. Consultado e 2 de jun. 2024. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215916005>

Echenique, M; Mamani, M. 2021. Determinación del medio de cultivo para el establecimiento in vitro de banano (*Musa acuminata*) en la Estación Experimental Sapecho - Alto Beni (en línea). *Revista Boliviana*, 7(3). Consultado 11 jun. 2024. Disponible en http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?pid=S0102-03042021000300007&script=sci_arttext&lng=en

FPS(Fundación Produce Sinaloa, A.C.).2018. Importancia del cultivo de plátano (en línea).. Consultado 16 jun.2024. Disponible en <https://www.fps.org.mx/portal/index.php/notas/1951-importancia-del-cultivo-de-platano>

Gamarra, L. 2014. Regeneración in vitro vía organogénesis y aislamiento de protoplastos de *Gmelina arborea* a partir de plantas *in vitro* (en línea). Tesis Bióloga. Colombia, pontificia universidad javeriana.109p. Consultado 17 jun.2024. Disponible en <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15436/GamarraReinosoLiesel2014.pdf>

- Gómez, G; Batista, C. 2006. Optimización de medios de cultivos para microorganismos, una valiosa estrategia para la producción de biopreparados de interés agrícola (en línea). Consultado 22 jun.2024. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193215825002.pdf>
- Indacochea, B; Parrales, J; Hernández, A; Castro, C; Vera, M; Zhindón, A; Gabriel J. 2017. Evaluación de medios de cultivo in vitro para especies forestales nativas en peligro de extinción en Ecuador (en línea). Consultado 17 jun.2024. Disponible en <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v42n1/0377-9424-ac-42-01-63.pdf>
- Landázuri, J. 2024. Manejo Agronómico del cultivo de plátano hartón y sus efectos en la producción en el Ecuador durante el periodo 2023(en línea). Tesis Ing. Agr. Babahoyo, Ecuador, Universidad Técnica de Babahoyo.22p. Consultado 17 jun.2024. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/16252/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lima, K; Moreno, A; Rodríguez, I. 2023. Efectos de métodos de desinfección ex vitro-in vitro en ápices meristemáticos de plátano clon Dominicó (en línea). Revista Científica Agroecosistemas, 11(3): 61-67. Consultado 20 may. 2024. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Luna, M; Delgado, A. 2014. Importancia, contribución y estabilidad de antioxidantes en frutos y productos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (en línea). Consultado 20 jun. 2024. Disponible en <http://ww.uco.mx/revaia/portal/pdf/2014/enero/5.pdf>
- Matkowski, A. 2008. Cultivo in vitro de plantas para la producción de antioxidantes: una revisión (en línea). Consultado 20 jun. 2024. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975008000803>
- Medina, M; Medina, C; Medina, L. 2015. Propagación *in vitro* de *Musa acuminata* (Simmonds) plátano bocadillo del Chocó, Colombia, a partir del cultivo de meristemas apicales (en línea). Revista Biodiversidad Neotropical; 5 (1): 47-53. Consultado 18 jun. 2024. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5168113>

- Meza, M; Alava, D. 2024. Bioestimulantes en la producción de hijuelos de plátano (*Musa AAB*) var. Dominico Hartón (en línea). Consultado 18 jun. 2024. Disponible en <http://www.sinergiaacademica.com/index.php/sa/article/view/234/1036>
- Monzón, J. 2005. Recomendaciones para mejorar el cultivo de especies agrícolas y forestales en la finca y caserío panimachabac en el municipio de Tecpán, Chimaltenango (en línea). Tesis Licenciatura. Guatemala, universidad de san Carlos de Guatemala. 92 p. Consultado 23 may.2024. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2228.pdf
- Murcia, L. 2014. Estudio de la sustitución de harina de trigo por harina de los subproductos (raquis y cascara) del plátano dominico hartón (*Musa AAB simmonds*), en hamburguesa precocida (en línea). Tesis Ing. Alimento. Bogotá. 77p. Consultado 11 jun.2024. Disponible en https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1247&context=ing_alimentos
- Osorio, S. 2019. Establecimiento in vitro de plátano (*Musa x paradisiaca* L.) cv. “Curaré enano” (en línea). Consultado 18 jun.2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b68ab4f0-bb4b-4c0b-be0b-08cda07936a6/content>
- Paz, R; Pesantez, Z. 2013. Potencialidad del plátano verde en la nueva matriz productiva del ecuador (en línea). Yachana Revista Científica 2(2):1-8p. Consultado 22 may. 2024. Disponible en <http://revistas.ulvr.edu.ec/index.php/yachana/article/view/47>
- Pérez, N; Jiménez E. 2011. Producción de metabolitos secundarios de plantas mediante el cultivo in vitro (en línea). Revista Científica 11(4):1-17. Consultado 23 may. 2024. Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/bv/article/view/255/837>
- Polo, J. 2019. Evaluación de tres medios de cultivo para la micropropagación de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola.” (en línea). Tesis agr.Tulcan, Ecuador, universidad politécnica estatal del Carchi.91p . Consultado 18 jun. 2024. Disponible en

<http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/758/1/341%20Evaluacion%20de%20tres%20medio%20de%20cultivo%20para%20la%20micropropagacion%20C3%B3n.pdf>

Quiceno, M; Giraldo, G; y Villamizar, R. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización (en línea) .UG Ciencia 20. 48-54. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/268087837.pdf>

Reyes, B. 2001. Uso de L-cisteína y ácido ascórbico para reducir la oxidación durante el establecimiento y la multiplicación *in vitro* de ápices meristemáticos de tres cultivares de plátano (*Musa* spp.) incubados bajo luz y oscuridad (en línea). Tesis Ing. Agr. Honduras.83 p. Consultado 23 may.2024. Disponible en <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7cd2151e-ebcf-4f98-b1a5-246c904243aa/content>

Rioja, A.; Vizaluque, B.; Aliaga-Rossel, E.; Tejeda, L.; Book, O.; Mollinedo, P.; Peñarrieta, J. 2018. Determinación de la capacidad antioxidante total, fenoles totales, y la actividad enzimática en una bebida no láctea en base a granos de *Chenopodium quinoa*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602018000500006&script=sci_arttext

Ruíz, M.; Téllez, C.; Martínez, M.; Vera, P.; Martínez, E.; Rosas, F. 2022. Influencia de la luz en la generación de callos y el cultivo *in vitro* de plantas (en línea). Revista mexicana de ciencias agrícolas. Consultado 10 jun. 2024. Disponible en https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3156/5218#content/contributor_reference_3

Silva, P; Sablón, N; Bravo, M. 2021. Estudio de la cadena agroalimentaria del plátano en la provincia de Manabí (en línea). Revista sinergia 12(3). 155 - 174. Consultado 9 jun.2024.Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5885/588569107012/588569107012.pdf>

Sharry, S. 2018. Aplicación del cultivo de tejidos *in vitro* (CTV) para la propagación de especies leñosas (en línea). Consultado 16 jun.2024.Disponible en

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/69720/Documento_completo.pdf?sequence=1

Valdez, A.; Orellana, P.; García, L.; Veitia, N.; Bermudez, I.; García, L.; Padrón, Y. 2002. Efecto de la fenolización sobre explantes de caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido var. Sp 70-1284) en la formación de callos (en línea), Consultado 9 jun.2024.Disponible en <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/125/html>

Veliz, H; Bravo, M. 2016. Estudio de asociatividad basada en economía popular y solidaria para mejorar los ingresos de los pequeños productores de plátano barraganete del recinto la esperanza, cantón el Carmen- Manabí, zona 4 (en línea). Tesis economía. Guayaquil, Ecuador, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.178p. Consultado 16 jun. 2024. Disponible en <http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/1089/1/T-ULVR-1070.pdf>

ANEXOS



Anexo 1: Retroalimentación por parte del tutor



Anexo 2: Esterilización de materiales de trabajo



Anexo 3: Seguimiento de explantes in vitro de plátano



Anexo 4: Preparación de los tubos de ensayos



Anexo 5: Cormos de Platano cv. Hartón Barragante



Anexo 6: Desinfección de los cormos de plátano



Anexo 7: Colocación de los ápices meristemáticos del plátano a los tubos preparados anteriormente con los antioxidantes



Anexo 8: Evaluación de explantes In vitro con la coordinadora de titulación

| Materia prima e insumos | Total |
|---|---------------|
| Colinos de plátano | \$80 |
| Transporte de los colines hasta la facultad | \$30 |
| EDTA | \$15 |
| Ácido Ascórbico | \$10 |
| Tubo de ensayo | \$23 |
| Algodón | \$5 |
| Murashige Skoog | \$46.39 |
| Carbón activado | \$5 |
| cloro | \$4 |
| Bisturi | \$ 6 |
| Total | 224.39 |

Anexo 9: Tabla de Presupuesto