UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS- ESPE
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA

TRABAJO DE INTREGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO BIOTECNÓLOGO

Evaluación de los residuos agroindustriales de banano como componentes de sustratos para el cultivo de *Hericium erinaceus*, determinando la formulación óptima para su crecimiento y producción de biomasa, con presencia de bioactivos de interés biotecnológico.

Autor:
Moncayo Manobanda, Justin Patricio
Tutora:
Ing. Marcillo Parra, Verónica Elizabeth, PhD.
Tutor Externo:
Ing. Vera Calle, Edwin Rafael, PhD.

Sangolquí, 03 de agosto de 2026



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Contenidos



- Introducción
- Objetivos
- Metodología
- Resultados y discusión
- Conclusiones
- Recomendaciones

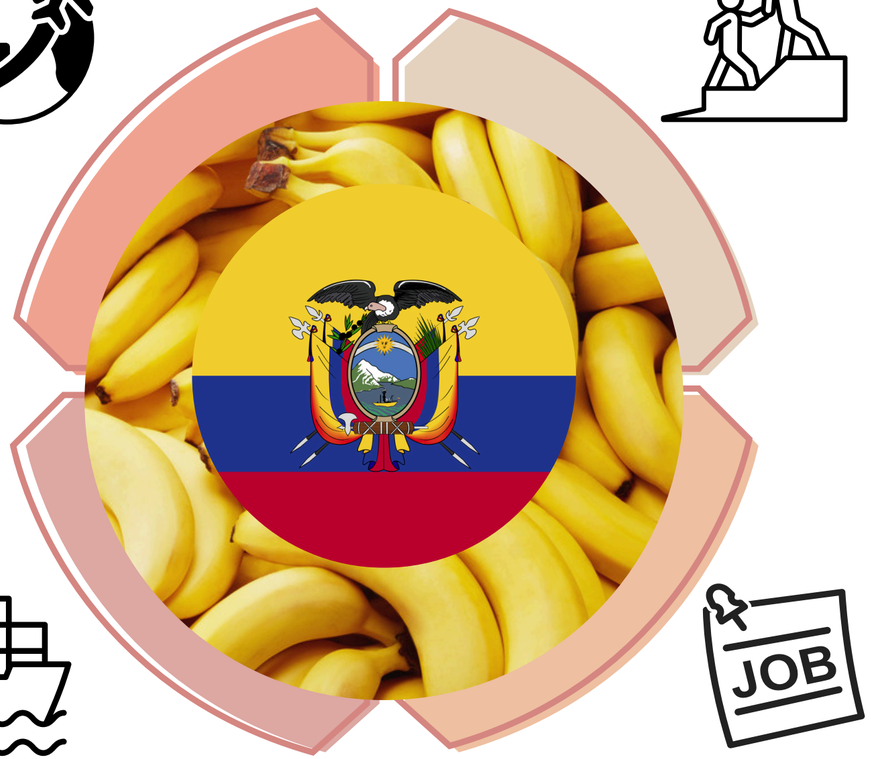
Introducción

Aprovechamiento de subproductos

Sus aplicaciones se han dirigido a fines textiles, alimentarios, ecológicos e industriales (Romero et al., 2024).

Aporte de Exportación

Generación de USD 3.700 millones por exportación en el año 2023 (Corporación Financiera Nacional B.P., 2024).



Liderazgo comercial

Ecuador provee aproximadamente el 30% del banano mundial (Palacios, 2016)

Sustento de empleo

Beneficio laboral directo e indirecto para el 17% de la población activa (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

Representa el 35% del Producto Interno Bruto (PIB) Agrícola y 2% del PIB general nacional (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

Introducción



Guayas, Los Ríos y El Oro producen el 77% de banano total del país. La producción de las tres provincias genera alrededor de 4.6 millones de toneladas de residuos al año (Palacios, 2016).

30%

Fruto aprovechado para exportación y consumo.

70%

Biomasa residual descartada.

Figura 1. Producción de residuos agroindustriales derivados del cultivo de banano a nivel provincial. Recuperado de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable et al. (2014).

Introducción

La incorrecta disposición de los residuos generados en las plantaciones de banano generan una cascada de degradación perjudicial para el medio ambiente (Collazos y Pinzón, 2022) (Segarra, 2022).

Acumulación ineficiente

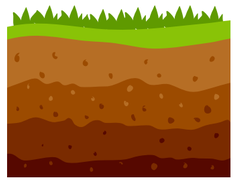
Abandono de raquis y pseudotallo (60-220 ton/hectárea) a la intemperie o en orillas de ríos (Romero et al., 2024).

Punto crítico ambiental (Segarra, 2022).

A. Atmósfera: Emisión descontrolada de gas metano



B. Suelo/Agua: Lixiviados tóxicos y agotamiento de nutrientes



C. Biológico: Focos de proliferación de plagas





Figura 2. Fotografía tomada en la quema de residuos de banano. Su práctica ha afectado a la salud de mujeres que vive en la zona. Recuperado de Mazzeo (2022)

Introducción

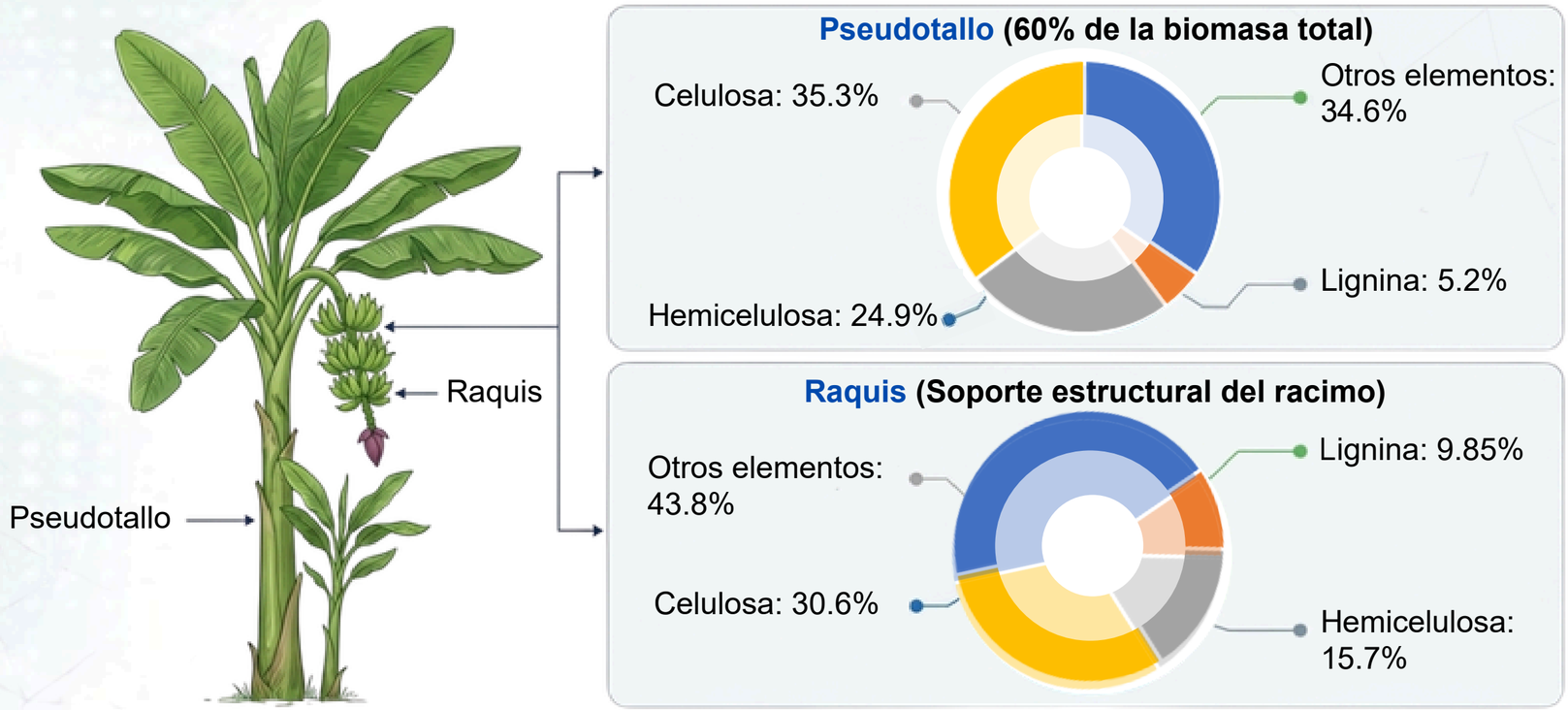


Figura 3. Morfología y composición de los residuos de banano. Adaptado de Paredes y Álvarez, (2010)

Tipo de residuo	Cantidad de nitrógeno
Raquis	0,64%
Pseudotallo, laminas exteriores	0,03%
Pseudotallo, zona central	0,28%
Hojas	2,20%
Nervaduras	0,53%

Tabla 1. Concentración de nitrógeno en órganos del banano. Recuperado de Palacios (2016)

Introducción

Hongos comestibles de pudrición blanca



Figura 4. Hongos comestibles y medicinales de interés científico. Recuperado de Gariboldi et al. (2023)

Potencial de los hongos en la industria

Aprovechados por al menos 80 países para su uso alimenticio y económico (Boa, 2005).

País	Producción (en toneladas)
China continental	41 117 736,71
Japón	469 046,11
Polonia	378 800
Estados unidos	343 820
Países bajos	260 000
India	243 000
España	163 800
Canadá	137 796
Federación Rusa	110 976,96
Francia	99 110

Tabla 1. Principales productores de hongos en el mundo. Recuperado de Rauf et al. (2023).

Introducción

Melena de León (*Hericium erinaceus*)

Un hongo saprótrofo y parásito facultativo con un perfil fitoquímico amplio (Contato y Conte-Junior, 2025). Perteneciente al Filo Basidiomycota y Familia Hericiaceae (Boddy et al., 2011).

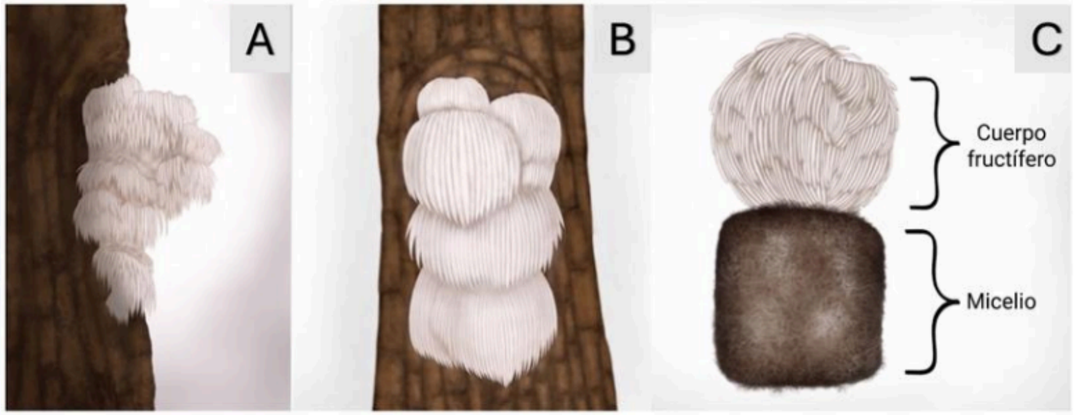


Figura 5. A: Vista lateral del cuerpo fructífero; B: Vista frontal del cuerpo fructífero; C: Cuerpo fructífero y micelio de *H. erinaceus.* Recuperado de Alsoufi et al. (2025).

Potencial biotecnológico

Hericenonas y Erinacinas: Compuestos estimulantes del Factor de Crecimiento Nervioso (NGF). Polifenoles: Ácido gálico, cafeico y p-cumárico con actividad antioxidante (Contato y Conte-Junior, 2025)

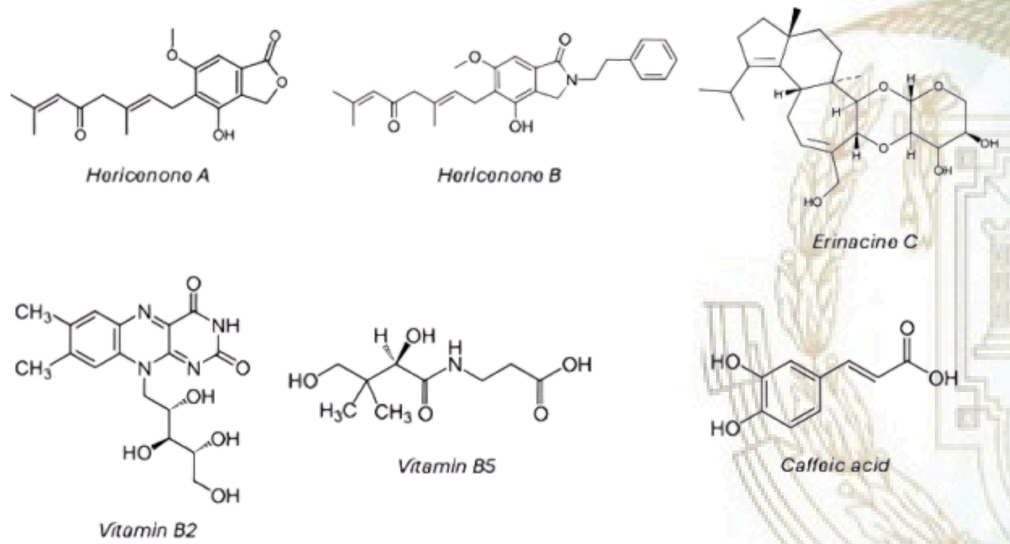


Figura 6. Compuestos bioactivos presentes en la biomasa de *Hericium erinaceus*. Recuperado de Contato y Conte-Junior (2025)

Objetivos

OBJETIVO GENERAL

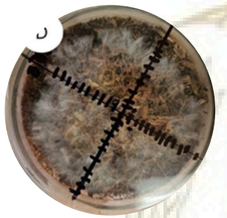
Evaluar los residuos agroindustriales de banano como componentes de sustratos para el cultivo de *Hericium erinaceus*, determinando la formulación óptima para su crecimiento y producción de biomasa, con presencia de bioactivos de interés biotecnológico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

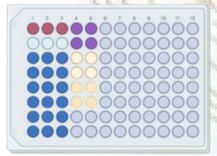
- Evaluar el crecimiento micelial de *Hericium erinaceus* según la variación del medio sólido, mediante el análisis de diferentes parámetros de crecimiento.

- Determinar el rendimiento y la capacidad de crecimiento de *Hericium erinaceus* en sustratos optimizados derivados de residuos de banano, mediante su cultivo en módulos de sustrato sólido.

- Analizar los compuestos bioactivos presentes en la biomasa de *Hericium erinaceus* mediante la preparación de extractos con diferentes solventes y la evaluación de su actividad antioxidante.







Metodología

Tratamiento de los residuos de banano

Selección y lavado



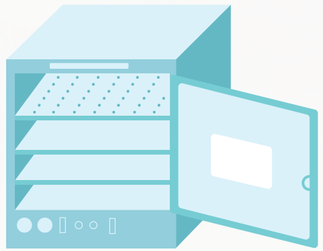
30 min
Agua caliente

Desfibrado y Triturado



Primero manual y luego mecánico

Secado



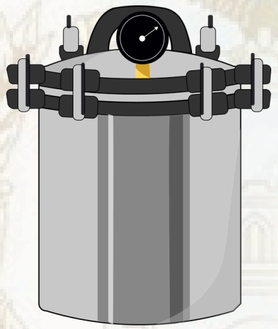
Secado a 70 °C para placas Petri

Mezclado



Fórmula Master Mix
(Lu et al., 2024)

Autoclavado



121 °C | 15 PSI | 15 min.
(Lu et al., 2024)

Figura 7. Procedimiento utilizado para la tratar a la materia prima para la formulación del sustrato de las unidades de cultivo

Metodología

Diseño experimental utilizado

Base Constante (Master Mix): 20% Salvado de trigo, 2% Yeso, 1% Sacarosa, 300ml agua (Lu et al., 2024). El 77% restante es la variable (Fuente de Carbono).

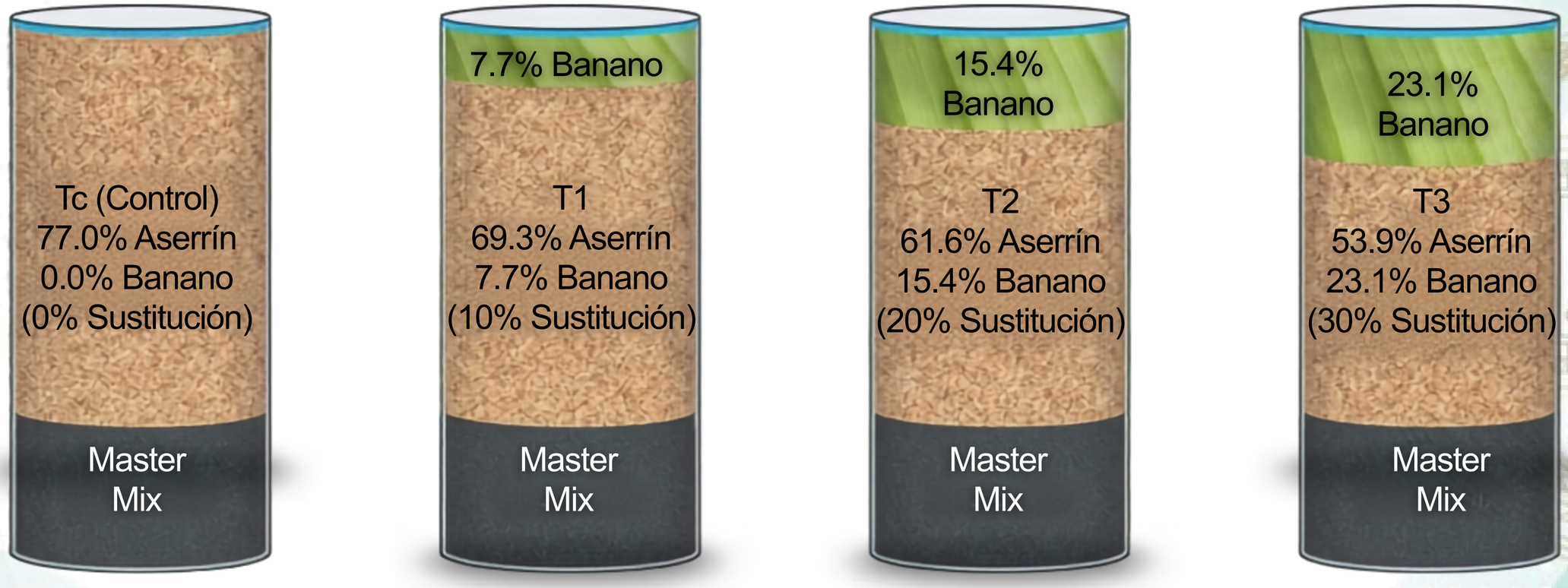


Figura 8. Formulaciones y tratamientos utilizadas para el diseño experimental

Metodología

Diseño experimental utilizado

Variables controladas

Parámetro	Colonización	Fructificación
pH inicial	6.5	-
Temperatura	22°C	19°C
Humedad	85%	90%
Fotoperíodo	0 h	12 h

Tabla 2. Variables controladas durante el cultivo basados en los parámetros reportados en literatura (Atila et al., 2018; Lu et al., 2024, Chutimanukul et al., 2023)

Variables de respuesta

Variable	Unidad
Velocidad de crecimiento radial	mm/día
Tiempo de colonización	días
Peso fresco	g
Eficiencia biológica	%
Capacidad antioxidante	µmol ET/gramo PS
Fenoles totales	mg EAG/100 g PS

Tabla 3. Variables de respuesta esperadas. Se aplicó pruebas ANOVA y de pares de Tukey

Metodología

Sistemas de inoculación utilizados

Inoculación sustrato con *Hericium erinaceus*



Figura 9. Método de inoculación en bolsas de polipropileno y en cajas petri para los ensayos

Evaluación de producción de biomasa



1. Pesar el sustrato seco utilizado (Balanza de precisión)
2. Pesar el cuerpo fructífero cosechado
3. Calcular la eficiencia biológica (Ayala, 2024)

$$\%E.B = \frac{Biomasa\ cuerpo\ fructífero\ (g)}{Sustrato\ seco\ utilizado\ (g)} * 100\%$$

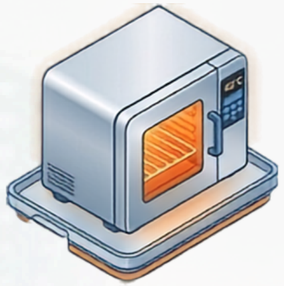
Figura 10. Método de evaluación de producción de biomasa (Lu et al., 2024).

Metodología

Obtención de extractos a partir del cuerpo fructífero

Se usó tres tipo de solventes etanol al 96% y 70 % y metanol: agua en relación 1:1

Secado



Temperatura constante a 40 °C

Pulverizado



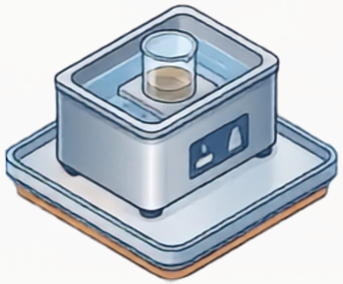
En mortero hasta obtener un polvo fino

Maceración en oscuridad



Total 4 días, Relación peso solvente 1:10

Ultrasonido



Por un total de 10 minutos

Filtrado y Conservación



Frasco ámbar a -20 °C

Figura 11. Procedimiento utilizado para la tratar a la materia prima para la formulación del sustrato de las unidades de cultivo

Metodología

Pruebas realizadas sobre los extractos

Fenoles totales Follin-Ciucalteu

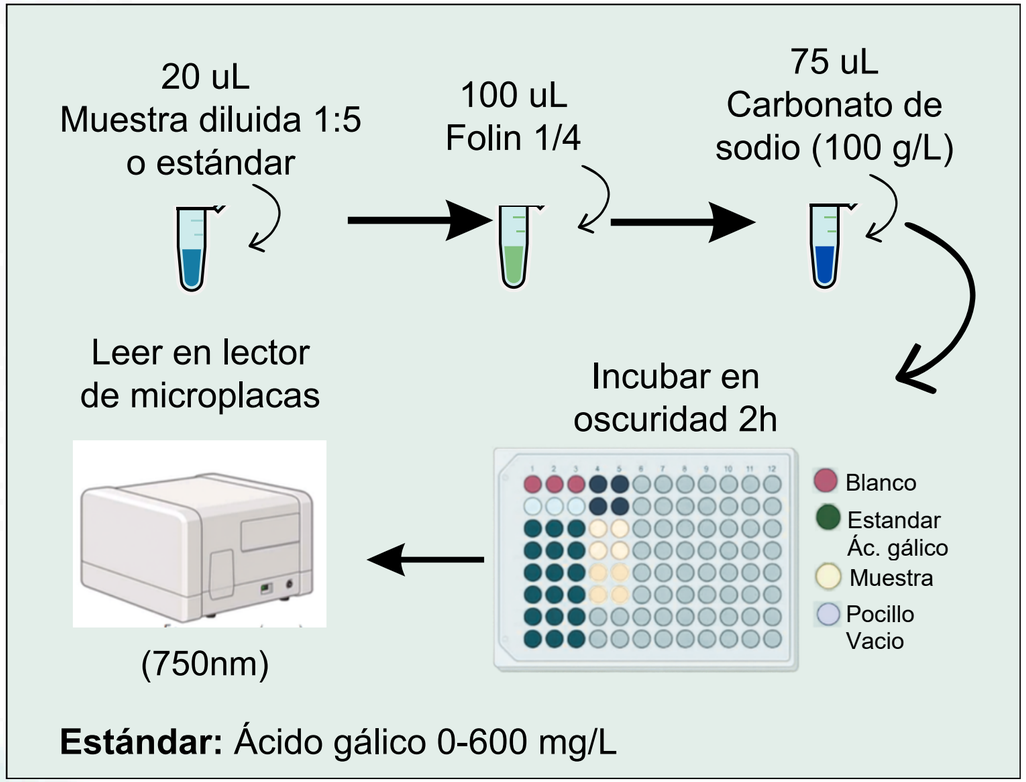


Figura 12. Protocolo para cuantificación de fenoles totales basado en Georgé et al. (2005)

Fundamento

Método basado en la transferencia de electrones

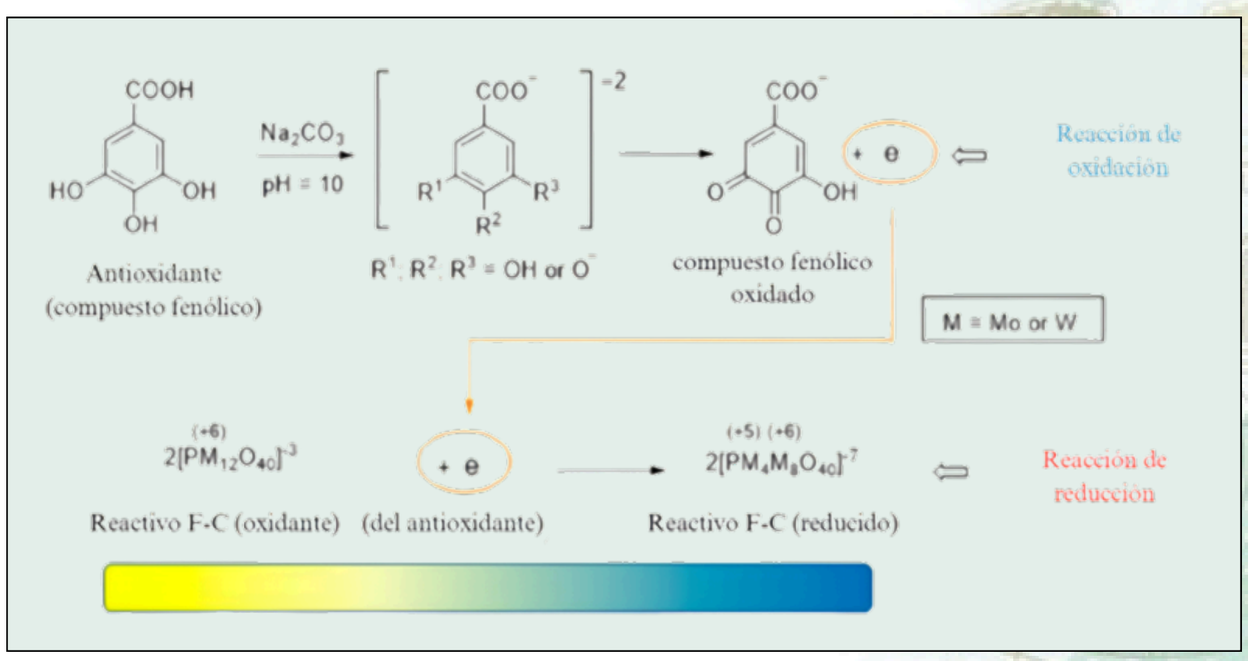


Figura 13. Adaptado del Método Folin-Ciocalteu por Pérez et al., 2023.

Metodología

Pruebas realizadas sobre los extractos

Ensayo de capacidad antioxidante DPPH

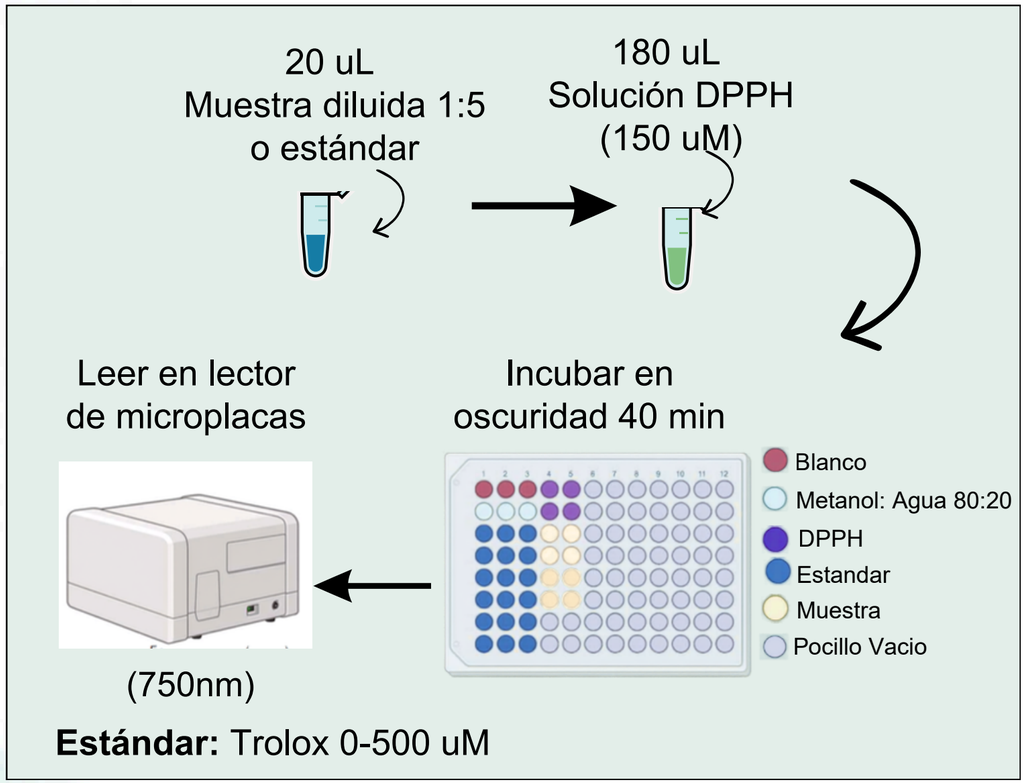


Figura 14. Protocolo evaluación capacidad antioxidante DPPH. Basado en Chutimanukul et al. (2023)

Curva de calibración

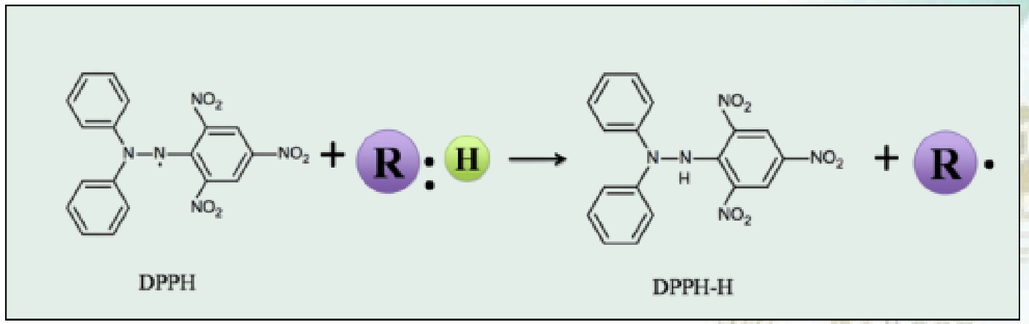


Figura 15. Mecanismo de reacción del (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) DPPH por Kitts, 2014.

El porcentaje de inhibición del radical DPPH se calcula con la siguiente fórmula (Chutimanukul *et al.,* 2023)

$$Inhibición\ (\%) = \left[1 - \frac{A_{Muestra} - A_{Blanco}}{A_{DPPH} - A_{Blanco}}\right] * 100\%$$

Resultados

Selección del material usado para las formulaciones



98,5 kg Recolectados inicialmente



Figura 16. Control de calidad de los residuos de banano realizado para la recolección



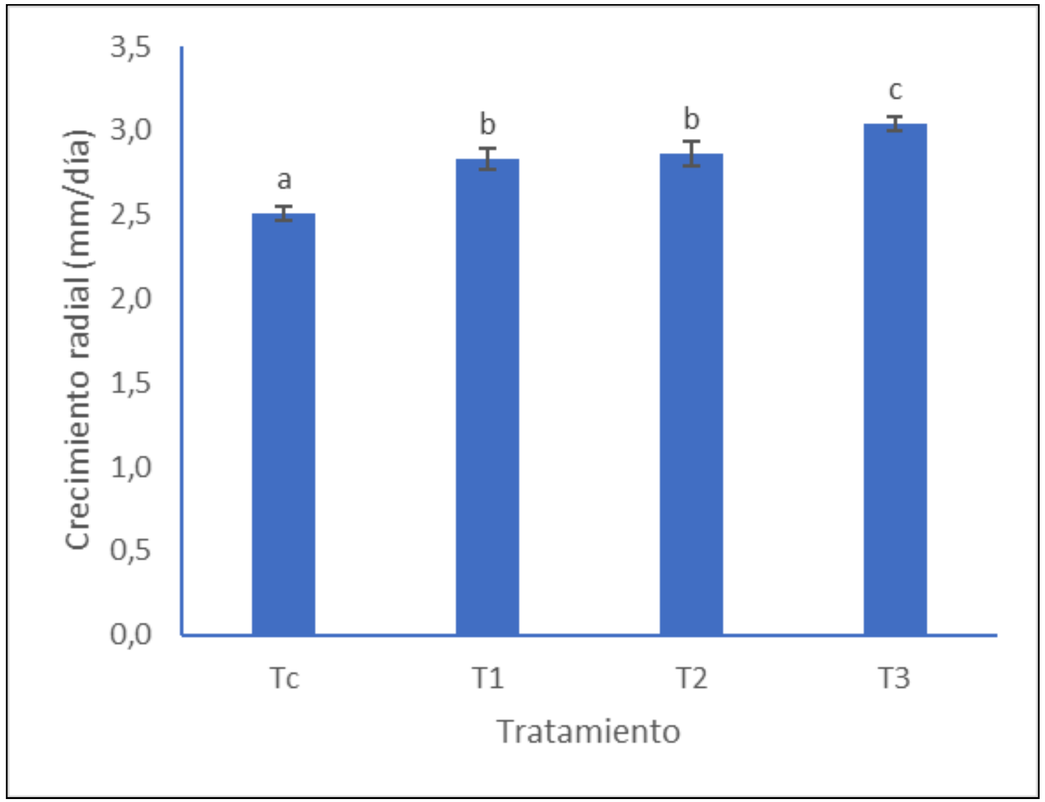
40 kg Mezcla Útil (1:1 Pseudotallo y Raquis)

Del total de los residuos recolectados se consideró aprovechable el 41,36% del raquis y el 73% de pseudotallo.

Resultados

Tasa de crecimiento radial en caja petri

T3 (30%): 3,04 ± 0,046 mm/día
Tc (0%): (2,51 ± 0,040 mm/día)
Comportamiento lineal con relación a la suplementación de banano



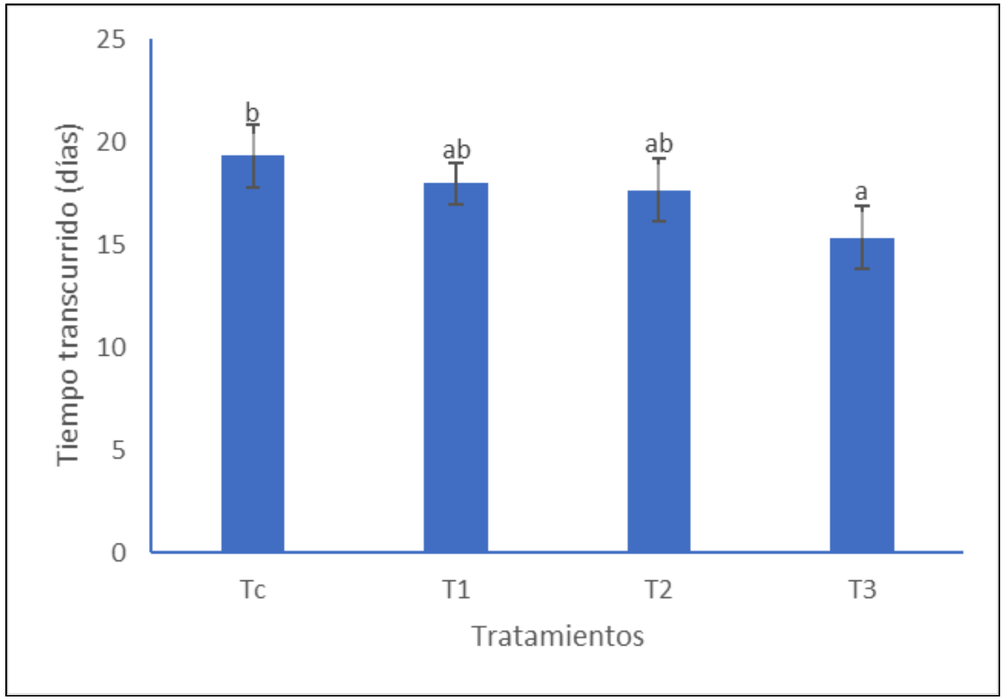
Mejora posiblemente debida a la composición más sencilla de los residuos de banano frente a la lignina del aserrín.Aporte de nitrógeno fundamental (Chutimanukul et al., 2023; Palacios, 2014)

Figura 17. Crecimiento radial.
Medias con una letra similar no son significativamente diferentes

Resultados

Tiempo de colonización 50%

T3 (30%): (15,33 ± 1,53 días)
Tc (0%): (19,33 ± 1,53 días)
Menor tiempo de colonización con relación al aumento de la suplementación



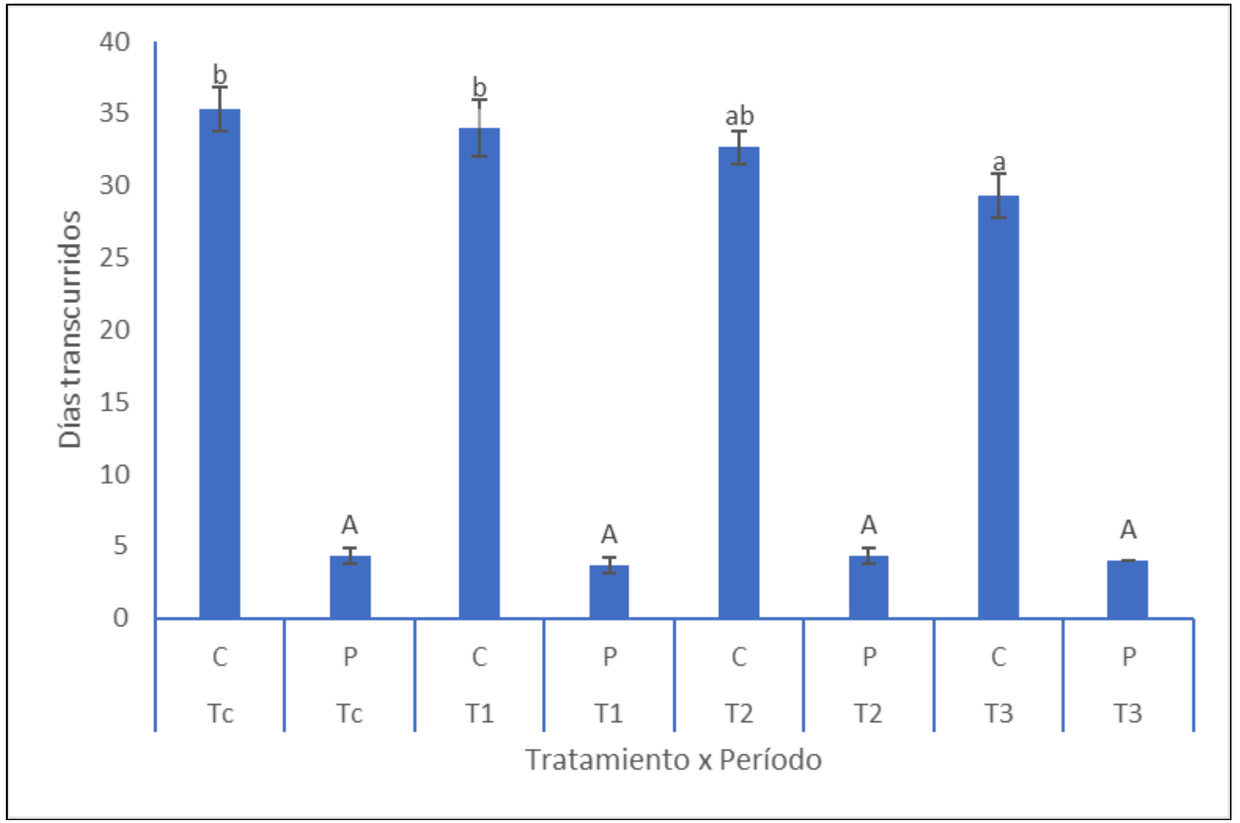
K+ y Ca2+ reportados como estabilizadores y potenciadores de enzimas degradadoras de lignina (Kang et al., 2024)

Tabla 18. Colonización media.
Medias con una letra similar no son significativamente diferentes

Resultados

Tiempo de colonización y formación de primordios

T3 (30%); (29,3 ± 1,53 días)
Tc (0%); (35,3 ± 1,53 días)
Mejora progresiva en la colonización con la adición de residuos de banano



Tiempo necesario para formación de primordios homogéneo entre grupos valores entre 3,7 y 4,3 días
Crecimiento vegetativo aumenta con la suplementación

Figura 19. Fase final de colonización e inducción a fructificación C (colonización), P (Formación de primordios).
Medias con una letra similar no son significativamente diferentes

Resultados

Eficiencia biológica y rendimiento

T1 (10%): Menor rendimiento comparado al control
Elicitores y cantidad de nutrientes
(Chutimanukul et al., 2023).

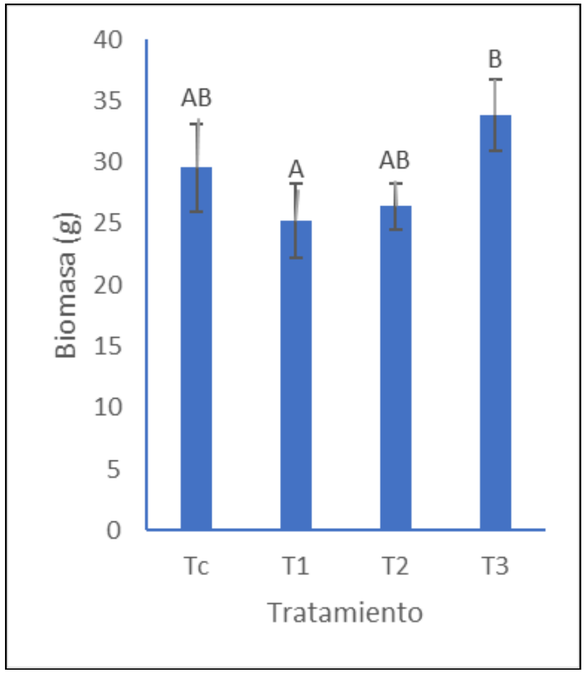


Figura 20. Rendimiento.
Medias con una letra igual no son significativamente diferentes

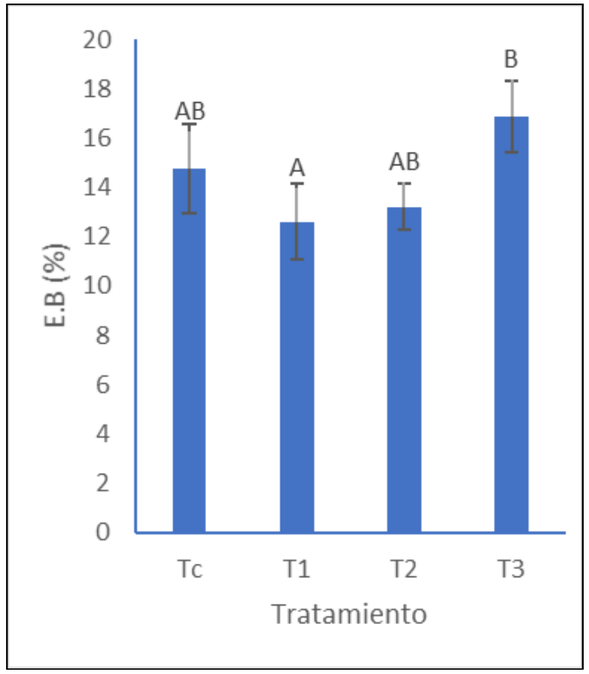


Figura 21. Eficiencia biológica.
Medias con una letra igual no son significativamente diferentes

T3 (30%): (33,78 ± 2,90 g y EB: 16,89 ± 1,45%)
Tc (0%): (29,55 ± 3,61 g y EB: 14,77 ± 1,80)

Resultados

Curva de calibración Fenoles

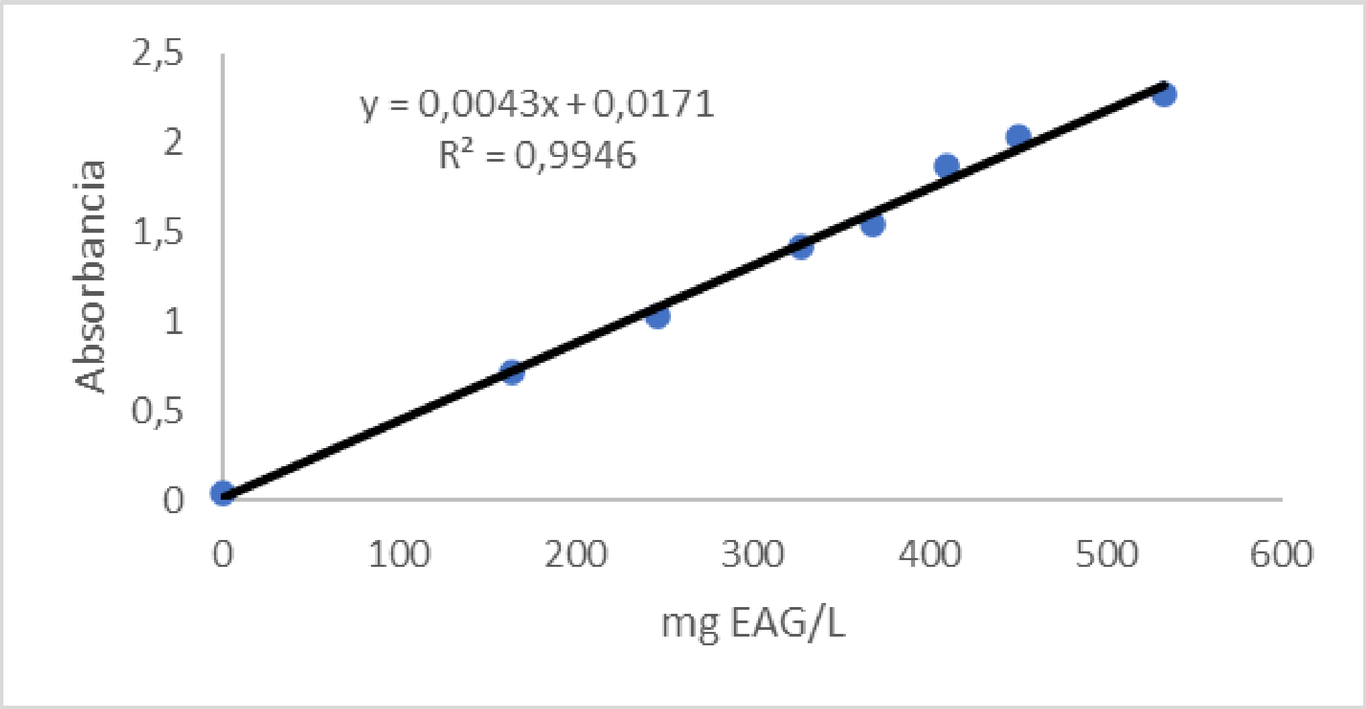


Figura 22. Curva de calibración método Absorbancia vs Concentración Ácido Galido

Resultados

Elección del solvente

Et 70%: 861 ± 29 mg EAG/ g PS
Met 50% 1029 ± 15,2 mg EAG/ g PS

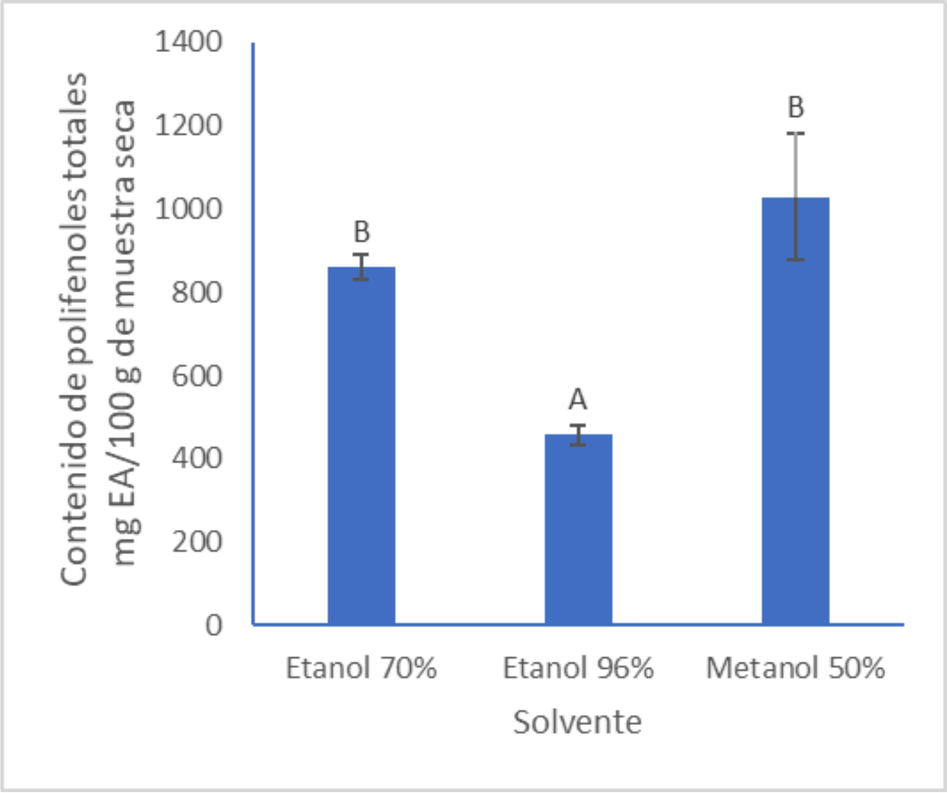


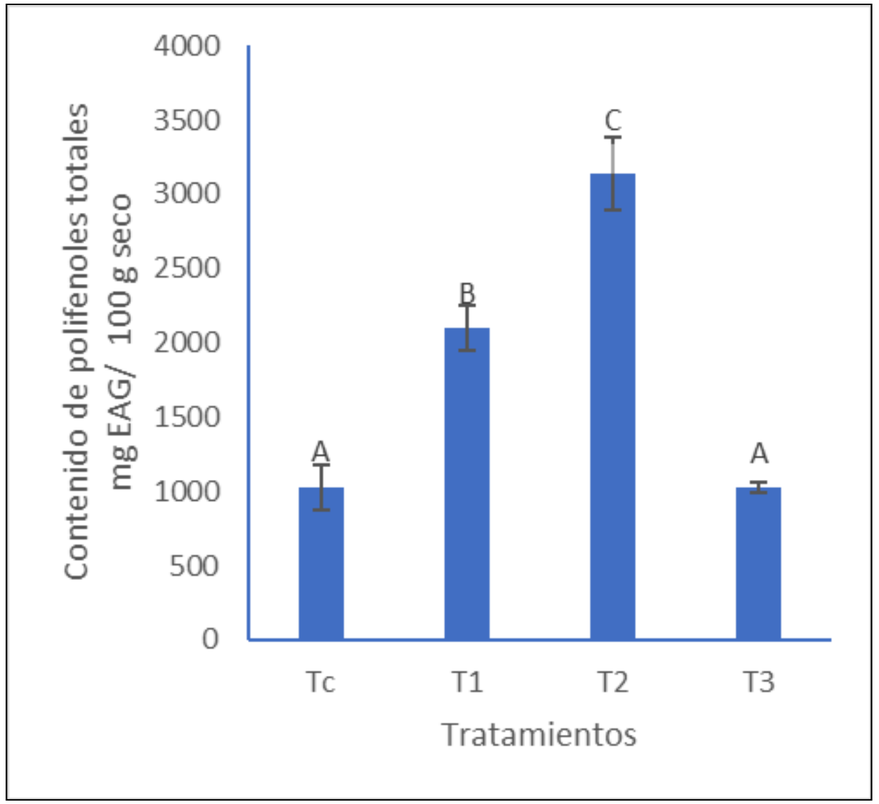
Figura 23. Cuantificación de fenoles totales con diferentes solventes.
Medias con una letra igual no son significativamente diferentes

Et 96%: 459 ± 23 mg EAG/ g PS
Se seleccionó el metanol:agua 1:1 frente al etanol al 70% por tener una media media superio

Resultados

Cuantificación de fenoles totales

T2 (20%) 3141 ± 243 mg EAG/ g PS
T (0%) 1029 ± 152 mg EAG/ g PS
Al 30% de reemplazo se regresan a valores comparables con el control



Comportamiento de mecanismo bioquímico de desvío metabólico, coordinado por el estrés nutricional y la relación de carbono a nitrógeno disponible en la matriz del sustrato (Pareek et al., 2021).

Figura 24. Cuantificación de fenoles totales.
Medias con una letra igual no son significativamente diferentes

Resultados

Cuantificación de la Capacidad antioxidante por DPPH

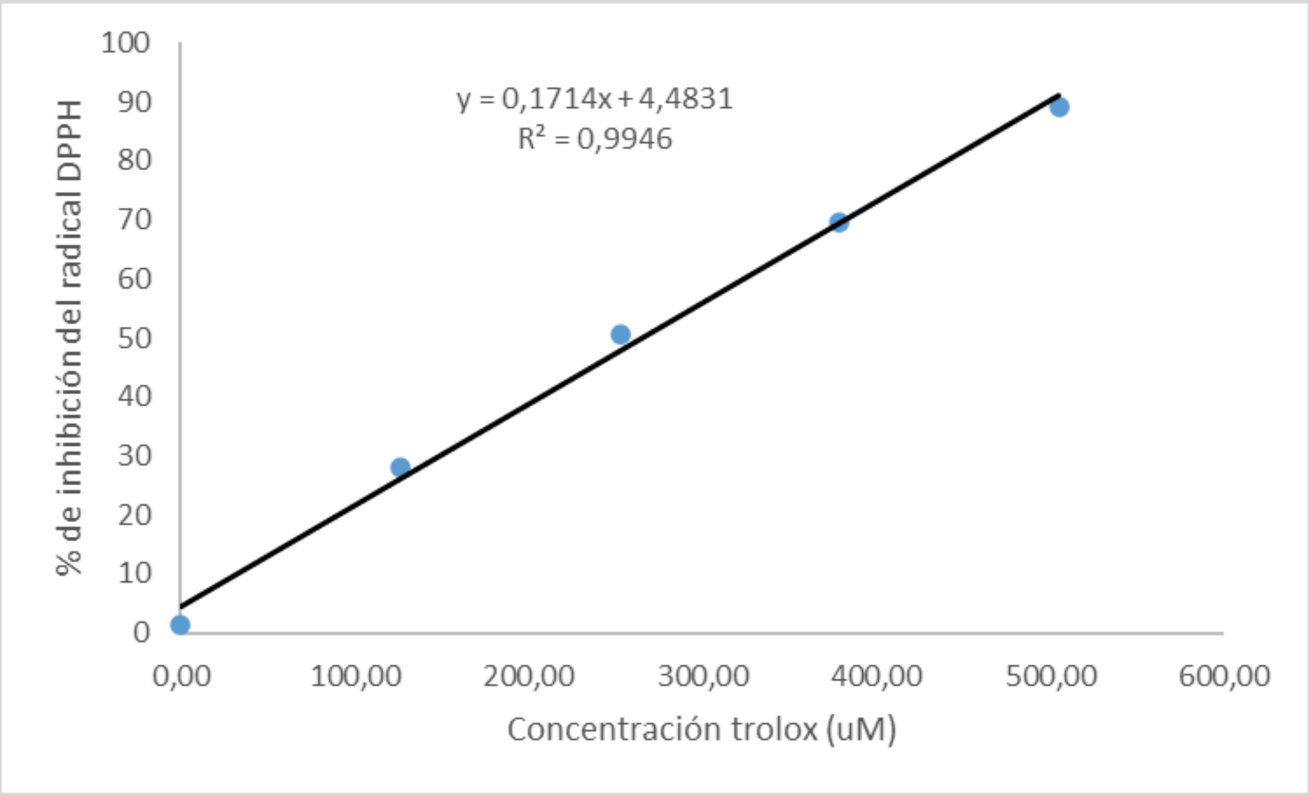
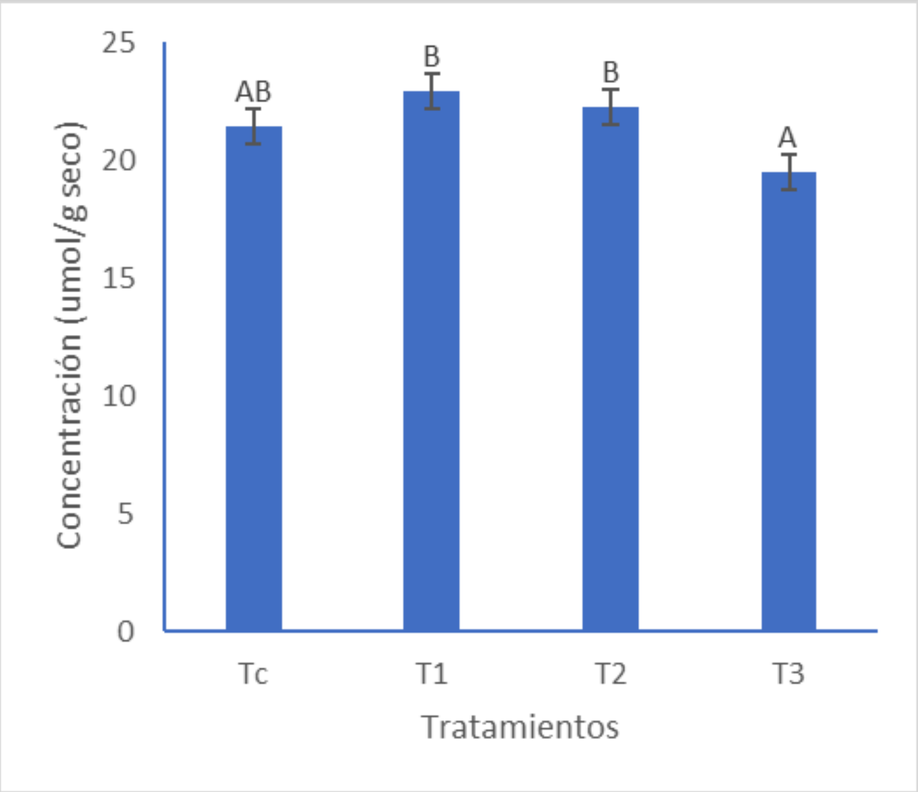


Figura 25. Curva de calibración % de inhibición vs concentración de Trolox

Resultados

Cuantificación de la Capacidad antioxidante por DPPH

T1 (10%): 22,91±1,15 umol ET/ g PS
T2 (20%): 22,28 ± 1,22 umol ET/ g PS
Tc: (0%) (21,45 ± 0,51 umol ET/ g PS)



Correlación contenido de fenoles totales. R=0,79
Compuestos no fenólicos podrían presentarse: Ergoteína, beta-glucanos, tocoferoles, etc (Yang et al., 2022).

Figura 26. Ensayo de capacidad antioxidante por DPPH.

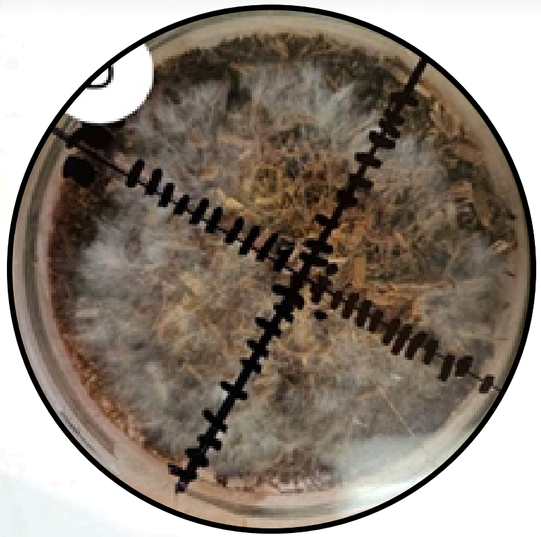
Medias con una letra similar no son estadísticamente diferentes

Conclusiones

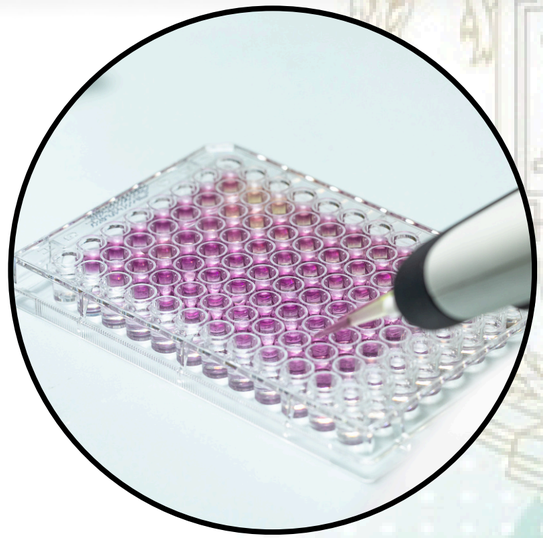
El reemplazo del 30% con residuos de banano acelera el crecimiento vegetativo de Hericium erinaceus a comparación de un sustrato a base de aserín

El reemplazo del 30% logra una mayor eficiencia con respecto al una formulación a base de aserín, demostranto mayor rendimiento en la fructificación

La sustitución al 20% alcanzó el pico de fenoles (3141 mg EAG/100 g), correlacionándose positivamente con la capacidad antioxidante.







Recomendaciones

Estandarizar la humedad y tamaño de partícula del residuo, evaluando otras temperaturas en incubación para acelerar la colonización del micelio.

Mezclar residuos de banano con estructurantes como cascarilla de arroz y mejorar la ventilación de CO_2 para elevar la biomasa.

Aplicar HPLC o qRT-PCR para cuantificar la síntesis específica de erinacinas y hericenonas según las variaciones del sustrato.







Agradecimientos





Referencias

- Alsoufi, M. H., AlGhamdi, N., AlAhmady, N. F., Aldakheel, L. A., Aldakheel, F. A., Almousa, S., & AlAbdalall, A. (2025). Morphology, anticancer and neurological activities of Hericium erinaceus. Brazilian Journal of Biology, 85, e296172. https://doi.org/10.1590/1519-6984.296172
- Atila, F. (2019). Lignocellulosic and proximate based compositional changes in substrates during cultivation of Hericium erinaceus mushroom. Scientia Horticulturae, 258, 108779. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108779
- Atila, F., Tuzel, Y., Fernández, J. A., Cano, A. F., & Sen, F. (2018). The effect of some agro-industrial wastes on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of Hericium erinaceus isolates. Scientia Horticulturae, 238, 246–254. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.049
- Ayala, D. (2024). Uso de residuos orgánicos de cebada, arveja y eucalipto como sustrato para la producción de hongo ostra rosado (Pleurotus djamor) [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte].
- Boa, E. (2005). Los hongos silvestres comestibles. Perspectiva global de su uso e importancia para la población (Vol. 17). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). https://www.fao.org/4/y5489s/y5489s00.pdf
- Boddy, L., Crockatt, M., & Ainsworth, M. (2011). Ecology of Hericium cirrhatum, H. coralloides and H. erinaceus in the UK. Fungal Ecology, 4(2), 163–173.
- Chutimanukul, P., Sukdee, S., Prajuabjinda, O., Thepsilvisut, O., Panthong, S., Athinuwat, D., Chuaboon, W., Poomipan, P., & Vachirayagorn, V. (2023). The Effects of Soybean Meal on Growth, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Hericium erinaceus. Horticulturae, 9(6), 693. https://doi.org/10.3390/horticulturae9060693

Referencias

- Collazos, S., & Pinzón, A. (2022). Propuesta de aprovechamiento del pseudotallo o vástago de plátano para fabricar fibras textiles en Colombia [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. https://repository.uamerica.edu.co/server/api/core/bitstreams/63f87032-8034-4dbe-8c9a-2c2afe53330a/content
- Contato, A., & Conte-Junior, C. (2025). Lion's Mane Mushroom (Hericium erinaceus): A Neuroprotective Fungus with Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antimicrobial Potential—A Narrative Review. Nutrients, 17(8), 1307. https://doi.org/10.3390/nu17081307
- Corporación Financiera Nacional B.P. (2024). Ficha Sectorial: Banano. CFN. https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2024/10/Ficha-Sectorial-Banano.pdf
- Gariboldi, M. B., Marras, E., Ferrario, N., Vivona, V., Prini, P., Vignati, F., & Perletti, G. (2023). Anti-Cancer Potential of Edible/Medicinal Mushrooms in Breast Cancer. International Journal of Molecular Sciences, 24(12), 10120. https://doi.org/10.3390/ijms241210120
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J. (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(5), 1370–1373. https://doi.org/10.1021/jf048396b
- Kang, J., La, T. V., Kim, M.-J., Bae, J.-H., Sung, B. H., Kim, S., & Sohn, J.-H. (2024). Secretory Production of the Hericium erinaceus Laccase from Saccharomyces cerevisiae. Journal of Microbiology and Biotechnology, 34(4), 930–939. https://doi.org/10.4014/jmb.2312.12043
- Lu, Z., Liu, L., Ren, Z., Hu, S., Wang, Y., Ji, S., Xu, W., Du, Z., Lu, Y., Yang, Y., & Yu, Y. (2024). Optimization of substrate formulation for Hericium erinaceus by replacing wood by straw and their effect on enzyme activities. Frontiers in Plant Science, 15, 1436385. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1436385

Referencias

- Mazzeo, N. (2022). Quema de residuos de banano y su impacto socioambiental. (Documentado en proyectos de ecología política/agroquímicos)[cite: 1].
- Ministerio de Comercio Exterior. (2017). Informe sector bananero ecuatoriano. Gobierno del Ecuador. https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-espa%C3%B1ol-04dic17.pdf
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad, & Instituto Nacional de Preinversión. (2014). Atlas Bioenergético de la República del Ecuador (1.ª ed.). ESIN Consultora S.A. https://www.ambienteyenergia.gob.ec
- Palacios, M. (2016). Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26232/1/TESIS.pdf
- Paredes, D., & Álvarez, M. (2010). Obtención de Enzimas Celulasas por Fermentación Sólida de Hongos para ser Utilizadas en el Proceso de Obtención de Bioalcohol de Residuos del Cultivo de Banano. Revista Tecnológica ESPOL, 23(1).
- Pareek, V., Sha, Z., He, J., Wingreen, N. S., & Benkovic, S. J. (2021). Metabolic channeling: Predictions, deductions, and evidence. Molecular Cell, 81(18), 3775–3785. https://doi.org/10.1016/j.molcel.2021.08.030
- Pérez-Clavijo, M., et al. / Lavega, R., Grifoll, V., Siles, M., Bravo, P., Santoyo, S., & Pérez-Clavijo, M. (2023). Comparative Evaluation of Antioxidant Activities in Mycelia, Fruiting Bodies and Spent Mushroom Substrate of Edible Mushrooms. In Review. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2946203/v1
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005) / Kitts, D. D. (2014). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4290–4302. https://doi.org/10.1021/jf0502698

Referencias

- Rauf, A., Joshi, P. B., Ahmad, Z., Hemeg, H. A., Olatunde, A., Naz, S., Hafeez, N., & Simal-Gandara, J. (2023). Edible mushrooms as potential functional foods in amelioration of hypertension. Phytotherapy Research, 37(6), 2644–2660. https://doi.org/10.1002/ptr.7865
- Romero, E., Zuñiga, X., Romero, B., Tapia, D., & Carrasquero, E. (2024). La Eco Sustentabilidad: Una nueva forma Productiva con el aprovechamiento de las Fibras del Pseudotallo de Banano. Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica, 4(4), 2756. https://doi.org/10.61384/r.c.a..v4i4.871
- Segarra, M. (2022). Catálogo de uso de los residuos de la planta de banano, economía circular y su potencial en el cambio de la industria bananera en el Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Indoamérica]. https://repositorio.uti.edu.ec/server/api/core/bitstreams/13ab6973-96b2-446f-b6ae-ddda369c7815/content
- Yang, Y., Li, J., Hong, Q., Zhang, X., Liu, Z., & Zhang, T. (2022). Polysaccharides from Hericium erinaceus Fruiting Bodies: Structural Characterization, Immunomodulatory Activity and Mechanism. Nutrients, 14(18), 3721. https://doi.org/10.3390/nu14183721