



GIAA



ISSN: 24244-0493

Revista Agropecuaria y
Agroindustrial La Angostura

No. 10 Año 10

Diciembre 2024

Huila, Colombia



Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura
Centro de Formación Agroindustrial
No. 10; Año 10. diciembre de 2024. Huila, Colombia.
ISSN: 2422-0493 con el apoyo del Grupo de
Investigación Agroindustrial La Angostura.

Director de la revista

Gloria Maritza Sánchez Alarcón
gmsanchez@sena.edu.co

Comité editorial y científico

Andrea Melisa Vásquez
Claudia Mercedes Ordóñez
Yoly Dayana Moreno Ortega
Alejandra María Vélez Giraldo
Rafael David Angel Gasca

Corrección de estilo

Germán Peralta

Diseño y diagramación

Victor Montealegre

Producción Editorial

Casa Editorial Fusunga

Servicio Nacional de Aprendizaje

Directivos SENA

Jorge Eduardo Londoño Ulloa
Director General SENA

Edgar Adrián Zambrano
**Coordinador Grupo de Gestión Estratégica
de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e
Innovación (SENNOVA)**

Adriana Milena Gasca Cardoso
Directora Regional (E) - SENA Regional Huila

Gloria Maritza Sánchez Alarcón
**Subdirectora - Centro de Formación
Agroindustrial SENA Regional Huila**

Lina Marcela Trujillo Osso
**Coordinadora Formación Profesional Centro de
Formación Agroindustrial SENA Regional Huila.**

Rafael David Angel Gasca
**Dinamizador SENNOVA, Centro de Formación
Agroindustrial**

Distribución: gratuita

Revista anual

Fecha de publicación: diciembre de 2024

Foto principal de carátula: Nodo editorial La Angostura

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, Nodo editorial La Angostura

Kilómetro 38 vía al sur de Neiva; Campoalegre (Huila).

Teléfonos.: (578) 8380191-8385060

web: <http://sena.edu.co/regionales-y-centros-de-formacion/zona-andina/Huila/Paginas/Huila.aspx>

<http://centroagroindustrial.blogspot.com>

Correo electrónico: angostura@sena.edu.co

Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

CONTENIDO

Estrategia para motivar a los aprendices para el desarrollo de proyectos de investigación.

Strategy to motivate trainees to develop research projects.

Claudia Andrea Rojas Zambrano

4

Obtención de combustible alternativo para motores diésel por clarificación de aceite de cocina usado.

Obtaining alternative fuel for diesel engines by clarification of used cooking oil.

Edwin Ramírez Vásquez,
Cristian Aandrés Camayo

13

Metabolitos secundarios de *Trichoderma* spp.: importancia en la industria agrícola, farmacéutica y alimentaria.

Secondary metabolites of *Trichoderma* spp.: importance in agricultural, pharmaceutical, and food industries.

Lina Suarez Medina, Valentín Murcia-Torrejano,
Maidy Rivas López, Alonso Pinto Antonio,
Nikol Muñoz Otero, Jonatan Valencia-Payán,
William Ochoa y Dayana Moreno-Ortega

35

Residuos agroindustriales como plataforma sostenible para la síntesis verde de nanopartículas de plata: Un artículo de revisión.

Agroindustrial Waste as a Sustainable Platform for the Green Synthesis of Silver Nanoparticles: A review.

Jonatan Valencia-Payan, Jhonatan Gutiérrez-Garaviz,
Sandra P. Medina.

56

Estrategia para motivar a los aprendices para el desarrollo de proyectos de investigación

Strategy to motivate trainees to develop research projects

Claudia Andrea Rojas Zambrano¹

1. Centro de Formación Agroindustrial, Tecnoacademia Itinerante Huila -SENA,
claudiaaneiva@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7126-727X>

Autor para correspondencia: claudiaaneiva@gmail.com

Como citar:

Rojas Zambrano, C. A. (2024). Estrategia para motivar a los aprendices para el desarrollo de proyectos de investigación. **Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura**, 10(1), 4-12.



Resumen

El objetivo de este artículo es reflexionar sobre la metodología planteada para desarrollar el proyecto App de Estilos de Vida Saludable, buscando incentivar a los aprendices en el desarrollo de proyectos de investigación formativa, motivando el planteamiento independiente de la metodología y su gusto por la investigación. Este trabajo fue realizado a través de un esfuerzo del trabajo entre la profesora Magda Giraldo Velázquez aportando su percepción como docente, la ingeniera Claudia Rojas aportando su visión como facilitadora de la Tecnoacademia Itinerante Huila y los aprendices Juan Manuel Vargas y Saira Castañeda, desde su perspectiva como adolescentes, permitiendo la construcción de una app que actualmente se encuentra en uso por los estudiantes de los grados décimo y once de la IE San Juan Bosco del municipio de Palermo, ayudando no solo a realizar un seguimiento en

el peso corporal de las personas, sino que también se ha convertido en una forma de expresión entre los mismos estudiantes, convirtiéndose en un trabajo que llena de orgullo a los aprendices creadores de la app y la IE Educativa. Durante el desarrollo del proyecto los aprendices propusieron ideas, desarrollaron la programación y el diseño de la app, implementaron competencias para comunicar sus objetivos y defender su proyecto. Una vez finalizado el proyecto, los aprendices buscaron pertenecer a semilleros de investigación y a plantearse para su futuro profesional, el desarrollo de emprendimientos propios.

Palabras claves: adolescentes, investigación, salud mental, salud física, app, motivación, trabajo en equipo.

Abstract

The objective of this article is to reflect on the methodology proposed to develop the Healthy Lifestyle App project, seeking to encourage learners to develop formative research projects, motivating the independent approach to the methodology and their love for research. The methodology developed was a team effort between Professor Magda Giraldo Velazquez contributing her vision as a teacher, Engineer Claudia Rojas contributing her vision as a facilitator of the Huila Traveling Technoacademy, and learners Juan Manuel and Saira, from their vision as teenagers, allowing the construction of an app that is currently in use by students in the tenth and eleventh grades of the IE San Juan Bosco, helping not only to track the person's weight, but it has also become a form of expression among the students themselves, becoming a point of pride for the learners who created the app and the Educational Institution. During the development of the project, the apprentices proposed ideas, developed programming and design, and developed skills to communicate ideas and defend their ideas. At the end of the project and entering its new stages of life, the apprentices sought to belong to research groups and to consider a future with their own entrepreneurship.

Keywords: adolescents, research, mental health, physical health, app, motivation, teamwork.

Introducción

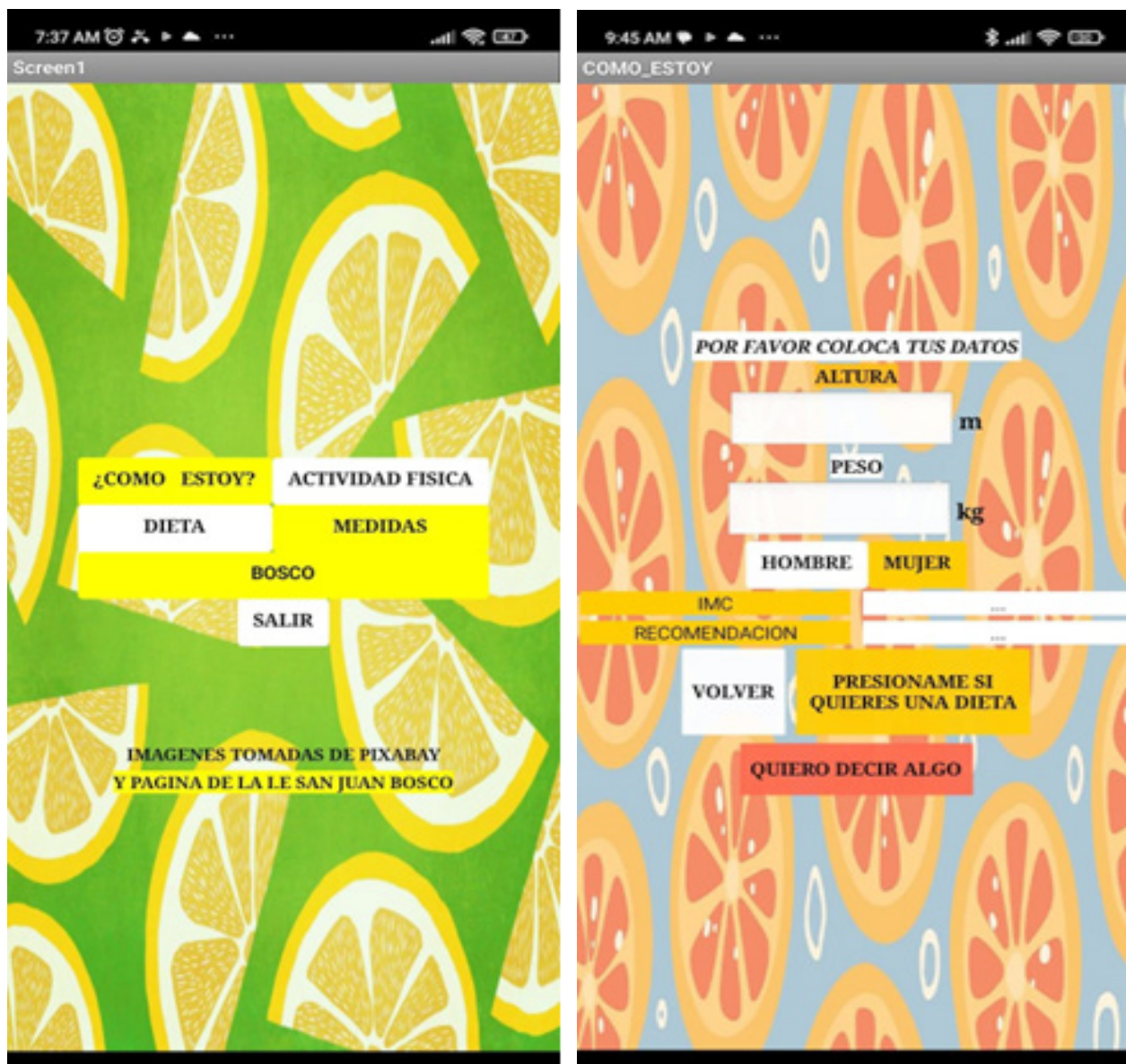
Motivar a los adolescentes para que dediquen su tiempo libre a la investigación y el desarrollo de ideas propias, es un reto que deben enfrentar docentes, instructores, facilitadores y todos aquellos que lideran proyectos académicos y técnicos con sus aprendices, porque la mayoría de los jóvenes presentan falencias y falta de interés en la búsqueda de nuevas oportunidades, como se muestra en el estudio de Rueda & Torres (2022), donde se evidencian las debilidades de los estudiantes universitarios en habilidades investigativas; y es que el proceso investigativo implica un esfuerzo intelectual para la generación de ideas, análisis de soluciones, razonamientos de posibles cambios a la realidad y una revisión crítica de los resultados encontrados en cada proceso, tareas no llamativas para la mayoría de adolescentes y jóvenes de hoy en día, (Ordoñez & León, 2014; Tafur & Izaguirre, 2022),

Por las razones enunciadas se presenta este artículo, donde cada lector pueda hacer una reflexión de su proceso de aprendizaje por medio de la estrategia utilizada para la creación del proyecto, sistema de control y motivación para fomentar estilos de vida saludable en los aprendices de la Tecnoacademia Itinerante Huila.

La app, sistema de control y motivación para fomentar un estilo de vida saludable en la I.E. San Juan Bosco del municipio de Palermo es un proyecto liderado por aprendices de la Tecnoacademia Itinerante Huila, que quisieron dejar una huella dentro de su institución educativa y ser un apoyo para sus compañeros. Con los conocimientos adquiridos en las sesiones de formación del Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA, los aprendices Juan Manuel Vargas y Saira Castañeda, presentaron la idea para desarrollar una app confiable en el que sus compañeros pudieran hacer seguimiento a su peso corporal, sin someterse a las burlas de sus compañeros por los resultados que pudiera arrojar el sistema, pero además, para que la institución educativa contará con esta información para tomar medidas de apoyo al estudiantado. Pero, ¿cómo hacerlo? desde el planteamiento del problema se evidenció la necesidad de involucrar una figura de la institución educativa que liderará en conjunto y que permitiera independencia al desarrollo de los aprendices Juan Manuel Vargas y Saira Castañeda, por lo tanto, los estudiantes eligieron a la profesora Magda Giraldo Velázquez, líder en la institución en campañas para fomentar estilos de vida saludable en toda la comunidad educativa del San Juan Bosco del municipio de Palermo, Huila y creadora del Proyecto Estilos de Vida Saludable (Vargas, 2022).

Imagen 1.

Pantallazo de dos ventanas de la App “Estilos de Vida Saludable, 2023”.



Nota: Elaboración propia

La profesora Magda como líder del proyecto Estilos de Vida Saludable y concedora de la problemática a la que se refieren los estudiantes, la ingeniera Claudia Rojas como facilitadora dentro del desarrollo del proyecto de investigación, y los aprendices Juan Manuel Vargas y Saira Castañeda, con la inquietud y las ganas de poder aportar a su comunidad educativa, permitieron la construcción de la app que actualmente se encuentra en uso por los estudiantes de los grados décimo y once de la IE

San Juan Bosco y que sigue recibiendo mejoras de los nuevos integrantes del semillero de investigación Tecnologías Digitales Aplicadas a la Formación (TEDAF), ayudando no solo a realizar un seguimiento en el peso corporal de la persona, sino que también se ha convertido en un motivador de movimiento y de lazos de amistad seguros.

Para la realización de este proyecto los aprendices investigaron sobre la salud física y mental de los adolescentes en temas tales como la actividad física y el sedentarismo, determinantes sociodemográficos, familiares y su impacto en la salud del adolescente (Lavielle et al., 2014), factores asociados a un bajo nivel de actividad física en adolescentes (Boraita et al., 2022), análisis de la relación entre salud, ejercicio físico y condición física en escolares y adolescentes (Guillamón, 2019), donde todos llegan a la conclusión, de los altos niveles de sedentarismo, siendo más acentuado en las mujeres que en los hombres, dependiendo en gran medida por los ingresos económicos de la familia. Pero Saira y Juan Manuel no estaban totalmente de acuerdo con esas observaciones y propusieron ampliar los temas de investigación, desde el punto de vista de la redes sociales y el k-pop que tienen gran acogida entre sus compañeros y amigos, con estos análisis, los aprendices entendieron más su contexto y la finalidad de sus acciones respecto a su imagen física, teniendo como referencia investigaciones tales como, el impacto de las redes sociales en la percepción de cuerpo saludable en el adolescente (Rosales & Hernández, 2022), las redes sociales y adolescencias: repercusión en la actividad física (Hernández et al., 2017), trastornos de la conducta alimentaria y Hallyu (Villareal et al., 2024), diseño de concepto y marca para combatir estereotipos femeninos de belleza que acentúan la baja autoestima en adolescentes usuarias de Instagram (Lamas, 2020), construcción y reproducción de estereotipos de belleza mediante las fotos de Jisoo y Rosé -integrantes de BlackPink- en instagram y su efecto respecto a la construcción de identidad de jóvenes mujeres queretanas de 18 a 22 años (López, 2023), que presentan la idealización de la belleza, y las diferentes formas no saludables para alcanzar cuerpos delgados y pieles resplandecientes, siendo más común en la población juvenil, incluye a los hombres en el consumo de Hallyu, que marca la forma en la que eligen los alimentos y las cantidades, y los productos cosméticos a utilizar, pero que no incentivan la formación de un cuerpo saludable como imagen ideal de belleza, en conclusión no precisan un estilo de vida saludable.

Con la información recopilada, los aprendices concordaron con algunos de los conceptos de los autores, por ejemplo, compartían diferentes productos coreanos de belleza que ellos utilizan y que mejoran su imagen en las redes sociales, muy importante porque les permite darse a conocer dentro de su comunidad, pero reconociendo, que de

toda la información recibida para alcanzar estándares de belleza, ninguno recomienda practicar algún deporte o definir el peso adecuado según las características físicas para evitar enfermedades. Reconocida la importancia de la aplicación y la ayuda real que podían ofrecer a sus compañeros, la siguiente etapa dentro de la metodología de trabajo, sería la programación de la app, donde se diseña en “app Inventor”, teniendo como base los aprendizajes obtenidos de Creando aplicaciones para móviles Android con MIT App Inventor 2 (Posada, 2019) y Desarrollo de aplicaciones para Android usando MIT App Inventor 2 (Parra, 2019), con resultados ajustados a la necesidad, sin errores operativos y fácil de operar, pero con falencias en la presentación, ya que no era llamativa, ni siquiera para ellos mismos, así que aprendieron sobre color y diseño de la imagen dentro de las aplicaciones, respaldados en los siguientes estudios: La importancia del diseño en aplicaciones móviles educativas para jóvenes y adultos (Wuchi Delgado, 2020) y diseñando apps para móviles (Cuellos & Vittone, 2013), eligiendo ellos mismos los colores y formas para su aplicación.

La app finalmente es diseñada para calcular el índice de masa corporal (IMC), según los estudios presentados por Chamorro y Lorenzo (2004) y Benjumea y Bacallao (2002), sin juzgar a la persona por el resultado, ni por los comentarios escritos por la persona al respecto (solo pueden expresar, el cómo se sienten de acuerdo a su peso, no al de los demás), los consejos dados, son sobre temas saludables y la recomendación de visitar al médico especialista si se requiere consulta profesional. La app se enfoca en que, puedes verte bien y ser saludable al mismo tiempo, buscando evitar que la comunidad educativa siga consejos poco éticos que pueden llevar a trastornos alimenticios como se evidencia en el artículo de Hagodieta(2023), además la app cuenta con un juego, para que los adolescentes gusten de utilizarla y no sea usada solo por obligación o compromiso.

Incentivando el seguimiento saludable de la salud personal, los aprendices presentaron la app a la Institución Educativa, quienes la recibieron como una herramienta de información (peso y estados de ánimo del alumnado respecto al tema), para realizar campañas de apoyo a la salud de sus adolescentes. Presenciar que el trabajo realizado en verdad es útil y bien recibido por sus compañeros, fue una gran motivación para los aprendices, que actualmente son bachilleres de la institución y se encuentran cursando un tecnólogo en el SENA, siendo Saira una miembro activa del Semillero de Investigación de su Centro de Formación.

Conclusiones

Finalmente, se puede concluir que los proyectos que se aplican en campo, con resultados visibles a corto plazo, con independencia de elegir el tema y enfoque del proyecto, son la motivación principal de los aprendices por la investigación y la proposición de ideas productivas, porque perciben que su trabajo es valioso dentro de las organizaciones, además fortalecen las habilidades blandas por medio del trabajo en equipo y la sustentación de sus investigaciones.

Evaluando el trabajo realizado, que además fue escogido por el Nodo Regional Huila, para representar a la Regional en el Encuentro Nacional de Semilleros de Investigación realizado en la ciudad de Cartagena en octubre del año 2023, se encuentra que ha sido notoria la motivación de aprendices para presentar ideas y también ayudar a minimizar las problemáticas de sus instituciones educativas y sus regiones. Lo anterior evidencia la importancia de revisar las prácticas que mejoran la motivación de los estudiantes, dando un especial papel a la retroalimentación que en este caso se profundiza para un cambio real en el desarrollo del conocimiento para una aplicación específica.

Imagen 2.

Fotografía de los aprendices Juan Manuel Vargas y Saira Castañeda, realizando la sustentación en la ciudad de Cartagena, Colombia (2023).



Nota: Elaboración propia

Referencias bibliográficas

- Benjumea, M. V., Jorge Bacallao, G., & Dussán, C. (2002). Concordancia del índice peso para la talla con el índice de masa corporal. *Revista Cubana de Salud Pública*, 28(2), 76-99. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-34662002000200002&script=sci_arttext&tlng=en
- Boraita, R. J., Ibort, E. G., Torres, J. M. D., & Alsina, D. A. (2022, April). Factores asociados a un bajo nivel de actividad física en adolescentes de la Rioja (España). In *Anales de pediatría* (Vol. 96, No. 4, pp. 326-333). Elsevier Doyma. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2021.02.011>
- Chamorro, R., & Lorenzo, M. G. (2004). Índice de masa corporal y composición corporal: Un estudio antropométrico de 2500 deportistas de alto nivel. *Lecturas: Educación física y deportes*, 76. <https://www.efdeportes.com/efd76/antrop.htm>
- Cuello, J., & Vittone, J. (2013). Diseñando apps para móviles. José Vittone - Javier Cuello
- Guillamón, A. R. (2019). Análisis de la relación entre salud, ejercicio físico y condición física en escolares y adolescentes. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 20(1), 1-15. <https://doi.org/10.29035/rcaf.20.1.1>
- Hagodieta.com (2023). Dieta de las Princesas. *Hagodieta.com*. <https://www.hagodieta.com/2023/08/dieta-de-las-princesas-15-dias.html>
- Hernández Mite, K. D., Yanez Palacios, J. F., & Carrera Rivera, A. A. (2017). Las redes sociales y adolescencias: repercusión en la actividad física. *Revista universidad y sociedad*, 9(2), 242-247. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202017000200033&script=sci_arttext
- Lamas Carrillo, L. G. (2020). *Diseño de concepto y marca para combatir estereotipos femeninos de belleza que acentúan la baja autoestima en adolescentes usuarias de Instagram*. Universidad San Ignacio de Loyola. <https://repositorio.usil.edu.pe/entities/publication/5d7f3489-0222-433f-b702-3e1e92753fc2>
- Lavielle-Sotomayor, P., Pineda-Aquino, V., Jáuregui-Jiménez, O., & Castillo-Trejo, M. (2014). Actividad física y sedentarismo: Determinantes sociodemográficos, familiares y su impacto en la salud del adolescente. *Revista de salud pública*, 16, 161-172. <https://www.scielo.org/pdf/rsap/2014.v16n2/161-172/es>
- López, S. Abigail, X. (2023). Construcción y reproducción de estereotipos de belleza mediante las fotos de Jisoo y Rosé -integrantes de BlackPink- en Instagram y su efecto respecto a la construcción de identidad de jóvenes mujeres queretanas de 18 a 22 años. *Universidad Autónoma de Querétaro*.

- Ordoñez, R., & León G., M. (2014). Premisas psicológicas para la formación en investigación de los estudiantes de pregrado. *Revista de Investigación en Psicología*, 17(2), 215-226. <https://doi.org/10.15381/rinvp.v17i2.11268>
- Parra, R. (2019). *Desarrollo de aplicaciones para Android usando MIT App Inventor 2*.
- Posada, F. (2019). *Creando aplicaciones para móviles Android con MIT App Inventor 2*.
- Rosales, P., & Hernández, R. G. (2022). Impacto de las redes sociales en la percepción de cuerpo saludable en el adolescente. *CiNteB Ciencia Nutrición Terapéutica Bioética*, 1(2), 34-34. <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/cinteb/article/view/1479>
- Rueda Milachay, L. J., Torres Anaya, L., & Córdova García, U. (2022). Desarrollo de habilidades investigativas en estudiantes de una universidad peruana. *Conrado*, 18(85), 66-72. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990-86442022000200066&script=sci_arttext&tlng=pt
- Tafur, R., & Izaguirre, M. (2022). *Cómo hacer un proyecto de investigación*. Alpha Editorial.
- Villarreal, J. L. A., Saldaña, R. M. E. G., Flores, C. Y. S., González, J. P. O., Rocha, N. L., & Brugada, L. E. B. (2024). Trastornos de la Conducta Alimentaria y Hallyu: Una revisión de la literatura. *Journal of Behavior and Feeding*, 9-17. <https://doi.org/10.32870/jbf.v3i6.42>
- Wuchi Delgado, S. S. (2020). *La importancia del diseño en aplicaciones móviles educativas para jóvenes y adultos*. Universidad de Ciencias y Artes de América Latina. <https://repositorio.ucal.edu.pe/handle/20.500.12637/346>
- Vargas, J. M. (2023). *Estilos de Vida Saludable [Pantallazo]*. App Estilos de Vida Saludable.

Obtención de combustible alternativo para motores diésel por clarificación de aceite de cocina usado

Obtaining alternative fuel for diesel engines by clarification of used cooking oil

Edwin Ramírez Vásquez ¹, Cristian Andrés Camayo ¹

1. Centro de Formación Agroindustrial, SENA, eramirezv@sena.edu.co <https://orcid.org/0009-0009-3098-717X>
1. Centro de Formación Agroindustrial, SENA, camayoc67@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-7937-5922>
Autor para correspondencia: eramirezv@sena.edu.co

Como citar:

Ramírez Vásquez, E., & Camayo, C. A. (2024). Obtención de combustible alternativo para motores diésel por clarificación de aceite de cocina usado. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 10(2), 13-34.



Resumen

Este artículo presenta un método alternativo que busca reutilizar el aceite de cocina usado (considerado como un desecho común) transformándolo en un combustible de motores diésel. La metodología propuesta para lograr el objetivo fue el método de clarificación del aceite de cocina usado, empleando materias primas renovables y asequibles. En dicho proceso se utilizan aloe vera e hidróxido de sodio que combinados forman una solución clarificadora, evaluando tres porcentajes de mezcla del 7,5%, 10% y 12,5% de NaOH en relación a la masa de aloe vera. Se realizaron mediciones de densidad y pH para caracterizar las materias primas y el producto obtenido, se efectuaron ensayos respecto al diésel convencional de origen fósil, midiendo en ambos casos el consumo de combustible en un lapso de tiempo y las revoluciones generadas por el motor medidas en el eje de transmisión. Se estableció que el mejor porcentaje de mezcla

se encuentra al 10% y la temperatura óptima del aceite es de 105°C. La puesta a prueba del combustible alternativo permitió realizar un paralelo comparativo en donde se evidenció que, con el uso de este combustible, el motor experimenta un incremento del consumo y de las revoluciones del motor. Los resultados obtenidos a partir del método por clarificación demuestran que el aceite de cocina usado tiene potencial para convertirse en una alternativa promisorio de combustible para motores diesel.

Palabras clave: Combustible alternativo, aceite usado, aloe vera, motores diésel, clarificación de aceite

Abstract

This article presents an alternative method that seeks to reuse used cooking oil (considered a common waste) by transforming it into a fuel for diesel engines. The proposed methodology to achieve this objective was the clarification method of used cooking oil, employing renewable and affordable raw materials. In this process, aloe vera and sodium hydroxide are used, which combined form a clarifying solution, evaluating three mixing percentages of 7.5%, 10%, and 12.5% of NaOH in relation to the mass of aloe vera. Density and pH measurements were taken to characterize the raw materials and the obtained product. Tests were conducted regarding conventional fossil diesel, measuring fuel consumption over a period and the revolutions generated by the engine measured at the transmission shaft in both cases. It was established that the best mixing percentage is at 10% and the optimal temperature for the oil is 105°C. The testing of the alternative fuel allowed for a comparative parallel where it was evident that, with the use of this fuel, the engine experiences an increase in consumption and engine revolutions. The results obtained from the clarification method demonstrate that used cooking oil has the potential to become a promising alternative fuel for diesel engines.

Key words: Alternative fuel, used oil, aloe Vera, diesel engines, oil clarification

Introducción

En los últimos años, la constante búsqueda de alternativas sostenibles sobre los combustibles convencionales ha adquirido especial relevancia, en primer lugar, por la preocupación en términos de mitigación ambiental y en segundo lugar por el incremento progresivo que han venido experimentando los precios de los combustibles. (Steinvorth Álvarez, 2013).

Hoy en día es frecuente escuchar el término “biocombustibles”, que son combustibles no fósiles, portadores de energía que almacenan la energía derivada de materias orgánicas (biomasa), incluso materias vegetales (GreenFacts, 2023). Por su parte, el biodiesel resulta ser una alternativa renovable, biodegradable y amigable con el medio ambiente (De Oliveira & Coelho, 2017). Se obtiene a partir de aceites vegetales, el método más habitual es la transformación de estos aceites vegetales a través de un proceso de combinación con alcohol metílico e hidróxido de sodio (NaOH), conocido como reacción de transesterificación, produciendo un compuesto que se puede utilizar directamente en un quemador o en un motor diésel sin modificar, obteniendo glicerina como subproducto.

De acuerdo con Tejada Tovar et al (2013) las personas llaman “biodiesel” a cualquier combustible para motores diésel que sea de origen vegetal o animal, como el aceite usado para freír, sin algún tratamiento. Sin embargo, las definiciones de “biodiesel” que poseen mayor consistencia técnica son aquellas que caracterizan su composición química (mono-alquil ésteres de ácidos grasos), su origen (vegetal, animal), su empleo y sus características técnicas (Castellar Ortega et al., 2014).

En efecto, el producto que se obtiene no se puede definir como “biodiesel”, cuando no se ha determinado la composición química que lo pueda caracterizar como tal, toda vez que el proceso de obtención no se realiza por el método de transesterificación, sino por clarificación lo que supone una composición distinta y por tanto unas características diferentes (Castellar Ortega et al., 2014). En Colombia la materia prima más usada para la producción de biodiesel es el aceite de cocina (Rojas, 2021). Este es producido mayormente en restaurantes y hogares colombianos, sin embargo, no le dan un manejo adecuado (Acevedo et al., 2017). Si bien las cantidades de aceite residual que se generan dentro del hogar no son las suficientes para cubrir la demanda de una unidad productiva agropecuaria, esto se deduce a partir de la investigación realizada por Granados Suárez (2015), que determina que la cantidad promedio de residuo de aceite en el hogar se encuentra en 296 ml* individuo/mes, siendo así, estas cantidades

contribuyen a la mitigación del impacto ambiental, al hacer una disposición adecuada de este producto residual, que además ayuda a la reducción de los costos inherentes en la producción y el aumento de la rentabilidad (Tacias Pascacio et al., 2016).

El trabajo consiste en retirar las impurezas del aceite de cocina que ya ha cumplido su ciclo de uso, considerando que el aceite vegetal en sí es un potencial combustible en las condiciones adecuadas (Stratta, 2000), no obstante, el aceite ya usado contiene un sin número de pequeñas partículas denominadas coloides, producto de las frituras que se encuentran en suspensión dentro del líquido y que son difíciles de eliminar por medio de un método de filtrado normal (López et al., 2015). Por esta razón es conveniente realizar el proceso denominado clarificación por el método de floculación.

En este contexto la obtención de un combustible alternativo para motores diésel, a partir de la reutilización de un producto de desecho por medio del proceso de clarificación del aceite de cocina usado, se presenta como una opción prometedora y responsable desde el punto de vista ambiental y económico, promoviendo de esta manera la economía circular y la sostenibilidad energética, dirigido principalmente a poblaciones que comprenden el sector productivo rural.

Materiales y métodos

Ubicación: La obtención del combustible alternativo a partir del aceite de cocina usado, se efectuó en los laboratorios de Ciencias Básicas del Centro de Formación Agroindustrial del SENA ubicado en el municipio de Campoalegre, en el departamento del Huila.

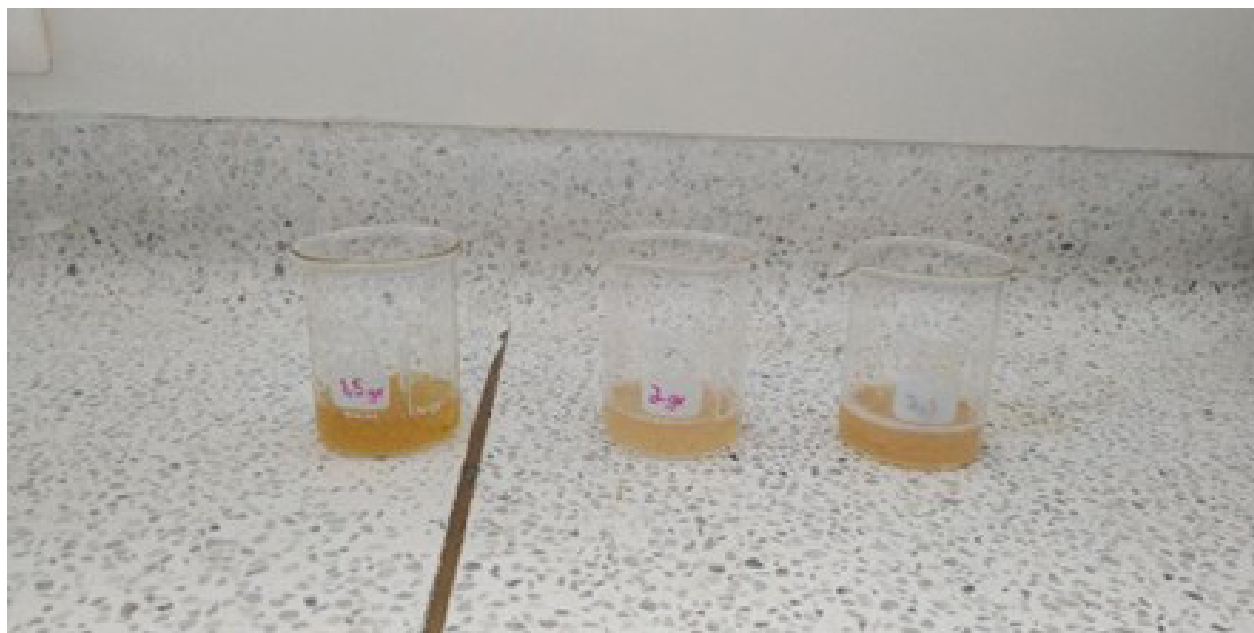
Caracterización del aceite: El aceite se caracterizó a partir de los parámetros de pH y densidad. La densidad se determinó en el laboratorio después de medir la masa de un volumen de aceite llevada a 20°C y el resultado obtenido es el cociente entre la masa sobre el volumen, con un protocolo de tres repeticiones. Por su parte el pH se determinó por medio de tiras indicadoras de pH.

Caracterización del combustible alternativo: De la misma forma en que se realizó la medición de la densidad y el pH en el aceite, se efectuó el procedimiento para el combustible alternativo.

Concentraciones evaluadas: se realizaron pruebas en tres concentraciones definidas por la relación porcentual, masa-volumen, siendo el hidróxido de sodio (NaOH) el soluto, de este elemento, disuelto en 1,5 g, 2,0 g y 2,5 g respectivamente en un volumen de 2,5 ml de jugo de aloe vera, esto para determinar la concentración más apropiada para ser usada como solución clarificadora y obtener el mejor rendimiento en términos de obtención del combustible alternativo.

Figura 1.

Solución con 3 tipos de concentraciones.

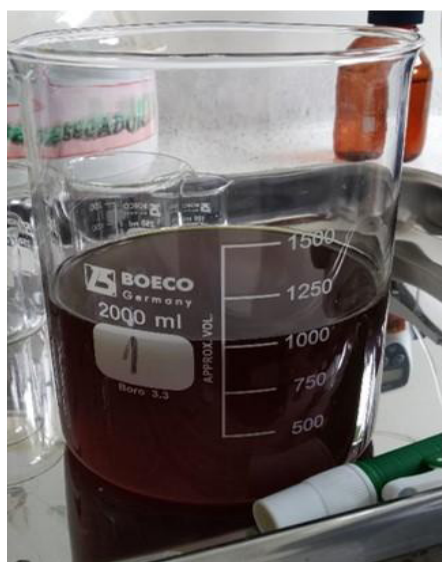


Nota. Elaboración propia

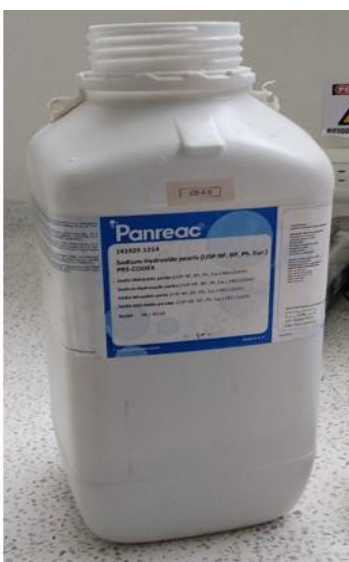
Selección de las materias primas: Las materias primas empleadas en el proceso, están compuestas principalmente por el aceite comestible de cocina usado de origen vegetal, generado en una cocina doméstica, también en el proceso se incorporó aloe vera extraído de hojas suculentas por sus conocidas propiedades floculantes, además, en la reacción interviene hidróxido de sodio (NaOH), este último actúa como coagulante.

Figura 2.

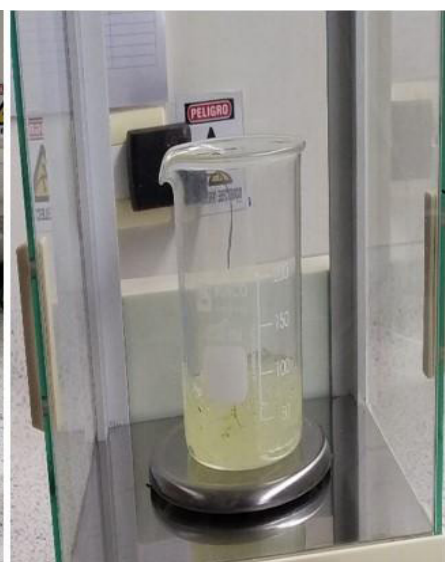
Materias primas empleadas.



a. Aceite de cocina usado



b. NaOH



c. Aloe vera

Nota. Elaboración propia

Tratamiento de las materias primas: Inicialmente el aceite, luego de ser recibido de la cocina, se pasa por un lienzo filtrante (tela bayetilla) para retirar las partículas sólidas y los sedimentos producto de las frituras. El volumen de aceite se calienta inicialmente hasta llevarlo a los 80°C, esto disminuye su viscosidad y facilita el filtrado. Por su parte el aloe vera se extrae directamente de los cristales de la penca de la planta de sábila, que bien se puede macerar o licuar hasta alcanzar un líquido viscoso que luego debe ser filtrado por compresión para retirar las fibras que componen los cristales y obtener sólo el líquido.

Figura 3.

Filtrado inicial del aceite como materia prima.



Nota: Elaboración propia

Proceso de clarificación: El ensayo se realizó en vasos de precipitado beaker aforados a 100 ml, donde se introdujo igual volumen de aceite calentado hasta los 105°C, la temperatura es importante, toda vez que interviene en el proceso de reacción, seguidamente se agrega la solución clarificadora, se mezcla por 5 minutos para homogeneizar y luego se deja en reposo hasta temperatura ambiente. Cuando termina el reposo se observa un precipitado en el fondo del vaso en donde se encuentran los flóculos de la suspensión coloidal presente el volumen de aceite.

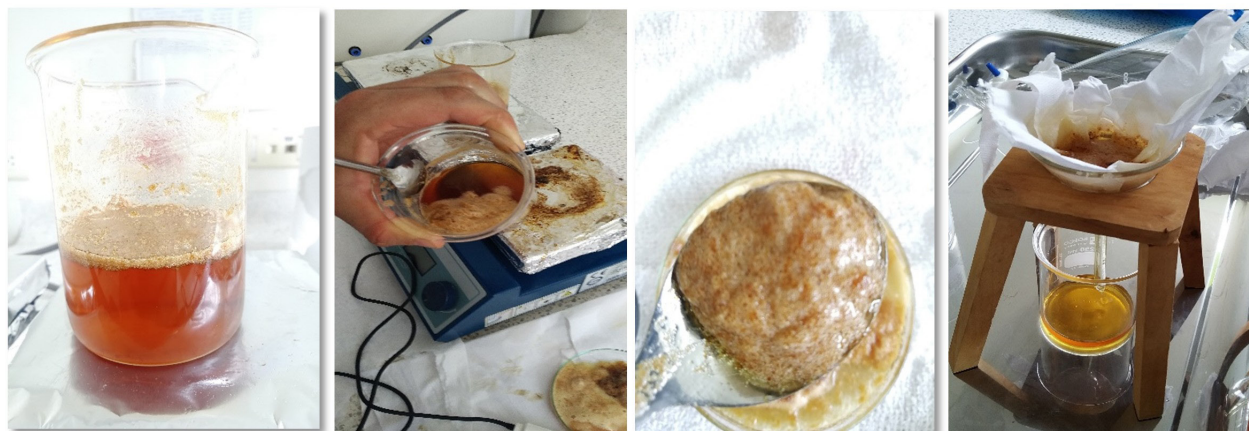
Figura 4.

Proceso de cl-arificación del aceite usado de cocina.



Nota. Elaboración propia

Proceso de limpieza del combustible alternativo: Luego del proceso de clarificación, se somete nuevamente a calentamiento, hasta una temperatura de 80°C, en cuanto se alcanza esta temperatura las densidades se modifican permitiendo la emergencia a la superficie del material floculante en forma de sobrenadante, de esta forma, se permite el barrido por medios mecánicos de los coloides contenidos en los flóculos, aprovechando aún la temperatura en que se encuentra el aceite, se pasa de nuevo por un lienzo filtrante donde queda retenido el resto de impurezas, en estas condiciones el producto final obtenido, ya se puede emplear como combustible alternativo.

Figura 5.*Proceso de limpieza del combustible alternativo.***Nota:** Elaboración propia

Proceso de prueba de los combustibles: Para evaluar los resultados, se realizó la comparación entre el combustible diésel convencional y el combustible alternativo, en un motor diésel de 10 Hp, que hace parte de una motocultivadora, el motor fue previamente calentado en condiciones de funcionamiento, se acondicionó un depósito de combustible aforado en unidades de ml, dispuesto solo para el ensayo, se establecieron periodos de tiempo de 5 minutos hasta completar los 30 minutos, dentro de estos lapsos de tiempo se midieron dos parámetros de funcionamiento, las revoluciones del motor en el eje principal de transmisión de potencia y el consumo de combustible, se inició el ensayo con el combustible diésel y posteriormente con el combustible alternativo, con el mismo ajuste fijo del mecanismo de aceleración del sistema de alimentación de combustible del motor, partiendo del combustible diésel convencional y fijadas en 1000 RPM (revoluciones por minuto), entendiendo que los motores de combustión interna presentan ligeras variaciones de sus RPM durante su funcionamiento, por lo cual 1000 RPM se toma como un valor de referencia.

Figura 6.

Moto cultivadora con motor diésel de 10Hp.



Fuente: *Nota:* Elaboración propia

Resultados

Caracterización de las materias primas

Tabla 1.

pH de las materias primas

Materia Prima	pH
Aceite de cocina usado	6
Aloe vera	4
NaOH	14

De acuerdo con la tabla 1, donde se midió el parámetro de pH de las materias primas empleadas para la obtención del combustible alternativo, se identificaron los valores de cada uno de los elementos que intervinieron en el proceso, esto es especialmente útil para entender la dinámica de la reacción.

Tabla 2.

Cantidad de NaoH y aloe vera para la solución clarificadora y valor de pH

Solución	NaOH g	Aloe Vera ml	pH
1	1.5	20.5	13
2	2	20.5	14
3	2.5	20.5	14

Nota: Solución 1: 7,31%, solución 2: 9,75%, solución 3: 12,2%

La tabla 2, ilustra las 3 soluciones con los valores en g de NaOH y ml de aloe vera, junto con el pH obtenido de cada solución. De la tabla 2 se puede inferir que el NaOH tiene una relación directa sobre el pH de la solución, convirtiéndose de carácter básico, esencial como agente coagulante de la suspensión coloidal.

Tabla 3.

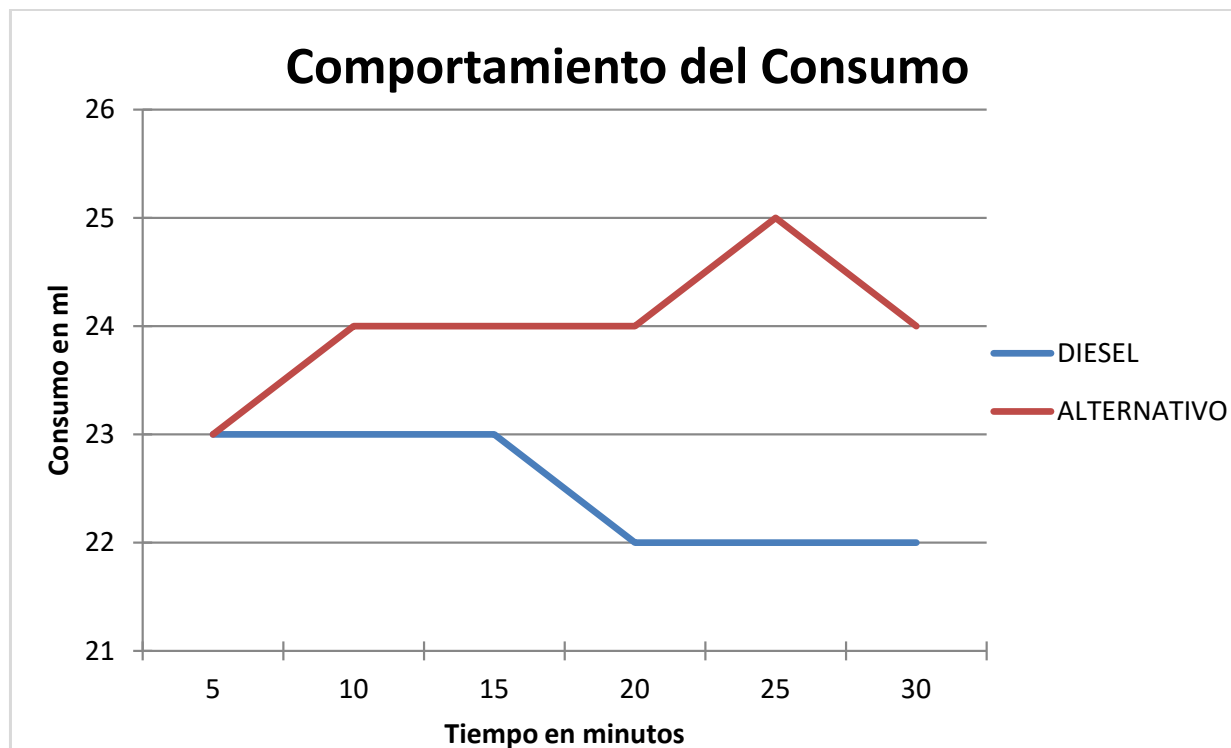
Densidad de diferentes productos

Producto	Densidad (g/cm3)
Aceite de cocina usado sin clarificar	0,909
Combustible alternativo	0,911
Combustible diésel convencional	0,86

En la tabla 3 se evidencian los valores de las densidades de los diferentes productos para la obtención del combustible alternativo y el diésel convencional.

Gráfica 1.

Comportamiento del consumo del combustible alternativo frente al convencional en un motor Diesel.

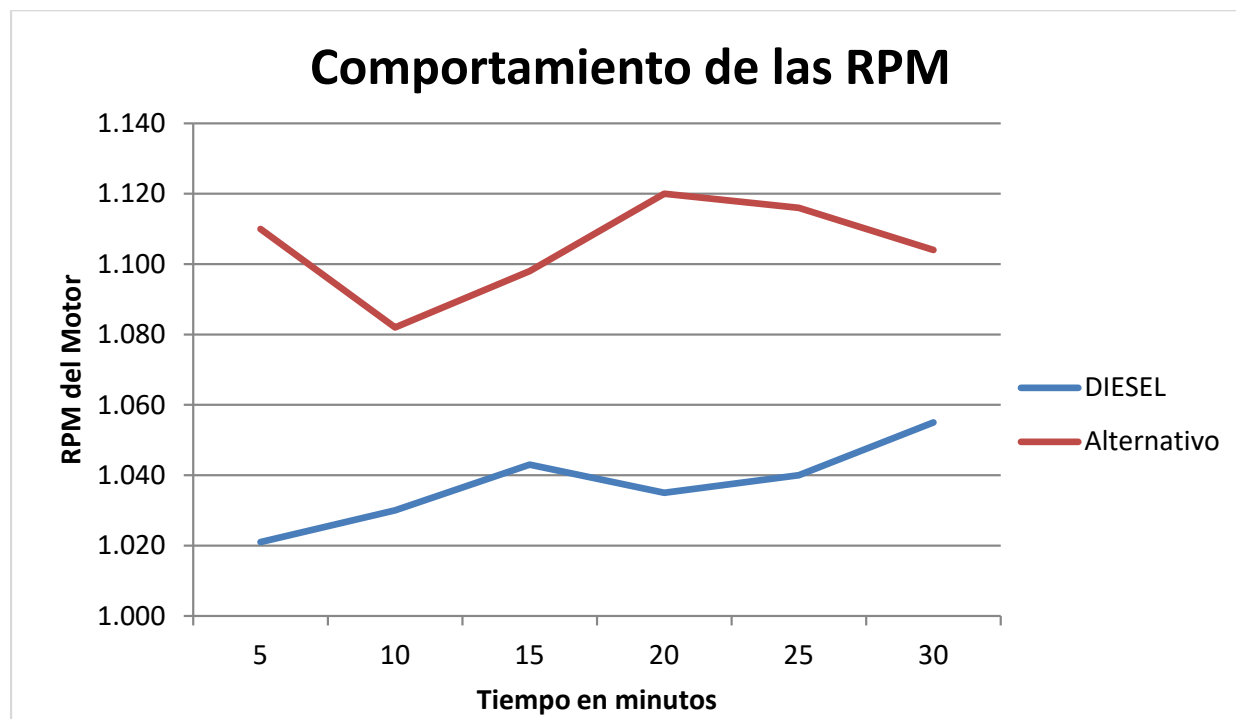


Nota: Elaboración propia

En la gráfica 1, se muestra el comportamiento del consumo de los dos combustibles en un motor diésel en función del tiempo, se evidencia un mayor consumo al usar el combustible alternativo y una mayor estabilidad del comportamiento del consumo del combustible diésel convencional. Se pueden también observar moderadas variaciones en el consumo, esto en consecuencia a la naturaleza misma del combustible alternativo.

Gráfica 2.

Comportamiento de las revoluciones por minuto (RPM) del motor frente a los dos combustibles.



Nota: Elaboración propia

La gráfica 2, muestra el comportamiento de las revoluciones por minuto que genera el motor al ser sometido al ensayo de cada uno de los combustibles.

Prueba de funcionamiento del motor

La puesta en marcha del motor con el combustible alternativo permite hacer un análisis para la determinación del funcionamiento de un motor diésel por percepción auditiva y visual, teniendo como referencia el funcionamiento del motor con combustible diésel convencional. De esta prueba se evidencia un cambio apenas perceptible del sonido emitido por la combustión, una reducción del color oscuro del humo expulsado por el escape cuando se realiza una aceleración a fondo de forma rápida y un buen comportamiento en su desempeño sin evidenciar interrupciones en la combustión al paso del tiempo.

Discusión

Conforme a los valores de pH medidos en el aceite, estos se muestran consistentes con los valores obtenidos en la investigación realizada por Gutiérrez Martínez & Pérez Rodríguez (s. f.), no obstante, según el estudio realizado por Medina Villadiego et al (2015) los aceites residuales de cocina estudiados, presentan un color y humedad altos debido al uso que recibieron estos aceites, por ende, es bueno tener en cuenta que a esta materia prima se le debe hacer un pre tratamiento muy riguroso para acondicionar óptimamente los aceites.

De lo anterior se establece como criterio determinante al momento de la elección del aceite usado como materia prima que intervendrá en el proceso, que garantice que el producto obtenido presente características favorables dentro de los procesos de transformación energética que se generan dentro del motor de combustión interna y la calidad en términos de eficiencia.

De los parámetros determinados tenemos la densidad del aceite usado de cocina sin clarificar, pudiendo establecer que los valores obtenidos son similares a los valores que cita Castellar Ortega et al (2014) en donde relaciona en su tabla, valores de densidad para el aceite de soya de 0,91 g/cm³ y girasol de 0,92 g/cm³, por otra parte, los mismos autores referencian en su investigación las propiedades del combustible diésel y relacionan la densidad con valor de 0,85 g/cm³ de acuerdo a lo establecido por la ASTM (American Society for Testing and Materials), pudiendo inferir que los valores obtenidos se encuentran cercanos a los valores anteriormente citados.

La experimentación logró identificar qué la solución clarificadora más adecuada, fue la solución 2, en donde se mezclaron 2 g de NaOH con 20.5 ml de aloe vera, toda vez que la reacción de la solución 1, fue ineficiente como solución clarificadora y la solución 3, presentó concentraciones más altas de NaOH, se evidenciaron coágulos y geles en una textura gelatinosa sobre el volumen de aceite que se estaba procesando para su clarificación, impidiendo así el proceso de clarificación. De la solución 2, con una concentración másica del 9.7%, fue entonces la que mejor respuesta obtuvo en términos de propiedad clarificadora, logrando obtener un rendimiento de combustible alternativo comprendido en un 80%, valor que fue determinado como la relación del volumen de combustible alternativo obtenido y el volumen de aceite empleado en el proceso.

Así mismo la cantidad de NaOH que interviene en el proceso debe encontrarse en las concentraciones adecuadas, ya que este compuesto es importante para neutralizar los ácidos grasos libres que se encuentran en el aceite de cocina usado. En consecuencia,

un exceso interfiere en la reacción y promueve la formación de jabones, los cuales no son los productos deseados (Steinvorth Álvarez, 2013).

Por tanto, el uso de un catalizador alcalino como el NaOH, trae consigo efectos en la reacción no deseables en el proceso, como la coagulación con una evidente formación de geles (Castaño Chiguachí, et al 2004). Para el proceso químico se emplearon diferentes concentraciones de catalizador y se encontró que valores muy altos de éstas conducían a la formación de un gel en la mezcla reaccionante; en tanto, con concentraciones muy pequeñas de catalizador, no se presenta formación de ésteres. Por lo tanto, se determinó que existe una concentración óptima de catalizador que no interviene en el proceso, generando reacciones de saponificación.

De igual manera lo explica Bulla Pereira (2014), en este proceso el triglicérido reacciona con el catalizador básico. El catalizador es consumido por el triglicérido, además la presencia de agua en la reacción genera la formación de jabones (reacción de saponificación) y un subproducto como el glicerol. Esta reacción es de carácter irreversible y se da debido a que el compuesto de hidróxido de sodio (NaOH), que reacciona con el agua presente son los responsables de la reacción.

Por otro lado, la acción conjunta de la mezcla NaOH y aloe vera, denominada como solución clarificadora que busca generar una reacción coagulación-floculación, en un proceso fisicoquímico que se define como la adición de sustancias químicas, para que las partículas y algunos contaminantes disueltos se aglutinen en partículas más grandes que se puedan retirar mediante procesos de remoción de sólidos (Dempsey, 2006), de modo que la reacción de la solución clarificadora en el volumen de aceite que interviene en el proceso, es comparable a lo definido por Matilainen et al (2010). En general, la coagulación es un proceso donde el potencial repulsivo de la doble capa eléctrica del coloide es reducido, de manera que se pueden producir micropartículas. Estas micropartículas chocan con otras y forman estructuras más grandes (flóculos) en el proceso de floculación.

Es así como las propiedades floculantes del aloe vera, ampliamente reconocidas en procesos de tratamiento de agua para modificar específicamente el parámetro de turbidez. como lo define Calderón Moran et al (2023), la floculación macromolecular natural del aloe vera ha demostrado que el gel de aloe tiene aplicabilidad en un amplio rango de pH; la proporción de eliminación de la turbidez llega hasta el 92% cuando el pH de la muestra de agua es de 3 y 11, y que el efecto de la floculación del aloe en muestras de alta turbidez es mejor que en muestras de menor turbidez.

Entendiendo la forma cómo funciona un coagulante desde el punto de vista molecular y además reconociendo la propiedad coagulante-floculante en el aloe vera, esta planta, se convierte entonces en un elemento indispensable y fundamental en el proceso, partiendo de la acción misma y el efecto que presenta en otros procesos similares.

Ahora bien, de los resultados obtenidos en lo referente al comportamiento de consumo del combustible alternativo frente al comportamiento del combustible convencional de origen fósil, fue posible establecer parámetros comparativos con investigaciones similares, si bien los procesos de obtención del combustible son diferentes, sirven como referente para establecer analogías con el comportamiento evidenciado en la gráfica 1, un ejemplo de esto es lo mencionado por Benavides et al (2007), quienes en su experimentación observaron que en las pruebas en motor con mezclas biodiesel de higuera/diésel convencional, en el rango de proporciones de biodiesel ensayadas, muestran que a medida que se incrementa la proporción de biodiesel en la mezcla, aumenta el consumo específico de combustible. Este aumento es una consecuencia del menor poder calorífico volumétrico que posee el biodiesel con respecto al combustible diésel derivado del petróleo. Esto lo corrobora Herrera Moya et al (2005), cuando menciona que los valores máximos de temperatura en el diésel llegan hasta 397°C, mientras que empleando biodiesel llegan hasta 347°C.

Con relación a los resultados obtenidos del análisis del comportamiento del consumo, se aprecia que el parámetro presenta una variación promedio del 8,10% y una dispersión del 12,1%, estos valores se determinaron en función del combustible diésel.

Otro parámetro medido y analizado, en lo referente al comportamiento de las revoluciones del motor, arrojó evidencias que se encuentran vinculadas estrechamente al consumo específico de combustible analizado a partir de la gráfica 1, en términos comparativos de consumo, se menciona que el biodiesel presenta un menor poder calorífico (alrededor de un 10%), además posee alrededor del 8% menos de energía por litro que el diésel, viéndose afectada la potencia y el consumo del motor (Mena Farfan & Paz Zeballos, 2017).

Por otro lado, en el comportamiento de las RPM generadas por el motor, se evidenció un mayor número de RPM para el combustible alternativo frente al combustible diésel convencional, de igual manera esta diferencia se puede ver afectada por el mayor consumo como se evidencia en la gráfica 1, lo que supone que, al ingresar mayor cantidad de combustible en la cámara de combustión, el motor experimenta mayores RPM.

De los resultados se puede establecer que hay una variación del 6.5% de las RPM frente a los resultados obtenidos del combustible diésel, en consecuencia, lo anterior evoca el principio de la conservación de la energía, siendo evidenciable en el funcionamiento del motor, de modo que se presenta un incremento de las revoluciones, acompañado de un aumento del consumo de combustible. Este principio lo establece la ley de la conservación de la energía, que explica que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo convertirse de una forma de energía a otra. Esto significa que un sistema siempre tiene la misma cantidad de energía, a menos que se adicione más energía desde el exterior. La única manera de utilizar la energía es transformar la energía de una forma a otra (Castells, 2012).

Además, en lo referente a la puesta en funcionamiento del motor, el ensayo permitió evaluar el desempeño del motor teniendo como referencia el funcionamiento con el combustible convencional, permitiendo comparar la puesta en marcha del motor, comparando los parámetros de encendido, sonido y apariencia de los gases de escape. Esto permitió evidenciar algunas diferencias en el encendido del motor, esto es consecuencia a lo citado por Tejada Tovar et al (2013), en donde menciona que el punto de inflamabilidad o flash point de un biodiesel llega a sobrepasar los 130°C, a diferencia del gasoil, cuyo punto de inflamación es de apenas 60-80°C, esto genera una mayor dificultad en el momento del encendido del motor en frío, por lo que se requiere un mayor número de intentos de encendido para poner en marcha el motor, pero luego de superado este proceso su funcionamiento es normal con el calentamiento del motor.

En términos comparativos, el combustible alternativo, frente al combustible convencional de origen fósil, se expone como un método innovador en respuesta a la búsqueda de alternativas al combustible diésel, partiendo del criterio que lo sitúa dentro de un carácter renovable, Stratta (2000), define el biodiesel en los siguientes términos: es un combustible producido a partir de materias de base renovables, como los aceites vegetales, que se puede usar en los motores diésel. Químicamente constituyen ésteres de alquilo, de metilo y de etilo, con cadenas largas de ácidos grasos, estas cadenas, al estar oxigenadas, le otorgan al motor una combustión mucho más limpia.

Conclusiones

La investigación permitió explorar un método alternativo e innovador para la obtención de un combustible alternativo para motores diésel a partir de aceite usado de cocina, que, a través de la implementación de técnicas de filtrado y remoción de impurezas, se transforma en un combustible apto para ser usado en este tipo de motores.

Se encontró que la solución 2, con una concentración másica del 9.7%, se presentó como la solución con propiedades clarificadoras destacables para la obtención del combustible alternativo.

El rendimiento obtenido al extraer el combustible alternativo está en el 80%, que se determinó como la relación del volumen de combustible alternativo que se obtuvo y el volumen de aceite.

El comportamiento del consumo de combustible alternativo al realizar el ensayo de funcionamiento del motor, fue mayor en un 6,67% comparado frente al consumo que presentó el motor cuando se usó el combustible diésel convencional, mostrando una dispersión del 12,1%.

Las revoluciones del motor (RPM), medidas en el eje principal de transmisión evidenció que la prueba efectuada con el combustible alternativo comparada con la prueba del combustible diésel convencional, registró un incremento promedio del 6,5% en las RPM y presentó una dispersión del 2,5% en el proceso comparativo, lo que podría tener relación con el mayor consumo.

En el proceso de clarificación, se obtiene un combustible alternativo que no se podría definir como un biodiesel por su composición química, lo que supone una composición distinta y por tanto unas características diferentes que se asemejan a un aceite vegetal sin ningún tratamiento.

La presente investigación deja abierta la posibilidad para realizar futuros estudios que permitan establecer otros tópicos investigativos a partir de los resultados obtenidos y otros parámetros entorno al análisis de las emisiones de los gases de escape y la medición de la potencia generada por el motor para establecer paralelos comparativos frente al funcionamiento del combustible alternativo y el combustible diésel de origen fósil.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia, ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento en este artículo.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, E. L. B., Jurado, J. M. V., & Lombana, J. (2017). Alternativas productivas para la industria de biodiésel en Colombia. Cuadernos Latinoamericanos de Administración, 13(24), 135-148. <https://doi.org/10.18270/cuaderlam.v13i24.2159>
- Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2007). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diesel. Dyna, 74(153), 141-150. <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0012-73532007000300016&script=sciarttext>
- Bulla Pereira, E. A. (2014). Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura (Doctoral dissertation). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51747>
- Calderón Moran, M. A., Castaneda Pérez, J. M., & Domínguez Palacios, L. S. (2023). Diseño de proceso para la obtención de un coagulante natural a partir de la sábila o aloe vera (*Barbadensis miller*) para ser aplicado en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas en la reducción de los parámetros turbidez y DBO5 (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). <https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/30726/>
- Castells, X. E. (2012). Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad. Ediciones Díaz de Santos.
- Chiguachí, L. C., Montoya, J. A. T., Alzate, C. A. C., & Orrego, C. E. (2004). Producción de biodiesel a partir de aceites vegetales utilizando enzimas libres: estudio preliminar. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 1(2), 32-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231117829006>
- Castellar Ortega, G. C., Angulo Mercado, E. R., & Cardozo Arrieta, B. M. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospectiva*, 12(2), 90. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i2.293>
- Dempsey, B. A. (2006). *Coagulant characteristics and reactions* (pp. 5-24). [https://doi.org/10.1016/S1573-4285\(06\)80071-2](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(06)80071-2)
- De Oliveira, F. C., & Coelho, S. T. (2017). History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 168-179. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.060>
- Granados Suárez, D. C. (2015). *Estudio de factibilidad para el montaje de empresa recicladora de residuos de aceite de cocina en la ciudad de Bucaramanga* [Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/11151>

- GreenFacts. (2023, julio 13). *GreenFacts*. Biocombustibles. <https://www.greenfacts.org/es/glosario/abc/biocombustibles.htm>
- Gutiérrez Martínez, J. E., & Pérez Rodríguez, D. C. (s. f.). Generación de biodiesel, mediante el proceso de transterificación a partir de aceite reutilizado. En *Repositorio institucional UNAN- Managua*. Recuperado 10 de julio de 2024, de <https://core.ac.uk/download/pdf/250409315.pdf>
- Herrera Moya, I., López Díaz, I., Villegas Aguilar, P. J., Bucki Wasserman, B., & Bonnet, E. (2005). Estudio comparativo de los parámetros de funcionamiento de un motor diesel cuando usa biodiesel y diesel como combustible. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/82808>
- López, L., Bocanegra, J., & Malagón-Romero, D. (2015). Obtención de biodiesel por transesterificación de aceite de cocina usado. *Ingeniería y Universidad*, 19(1), 155-172. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.sprq>
- Matilainen, A., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2010.06.007>
- Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. (2015). Esterificación y transesterificación de aceites residuales para obtener biodiesel. *Luna Azul*, 40. <https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.3>
- Mena Farfan, M. A., & Paz Zeballos, R. T. (2017). Análisis del rendimiento del motor diesel utilizando biodiesel como combustible en la altitud (Doctoral dissertation). <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13602>
- Rojas Ramírez, H. A. (2021). *Caracterización de la logística de recolección, tratamiento y exportación de aceite de cocina usado en Colombia*. [Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano]. <https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/20706>
- Steinvorth Álvarez, A. (2013). *Aprovechamiento del aceite de cocina usado en el Instituto Tecnológico de Costa Rica para la producción de biodiesel* [Instituto Tecnológico De Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/3153>
- Stratta, J. (2000). Biocombustibles: los aceites vegetales como constituyentes principales del biodiesel. Rosario, Argentina, 1-15. Tacías Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016). Evaluación y caracterización de

grasas y aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel: un caso de estudio. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 303-313. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05>

Tejada Tovar, C., Tejeda Benítez, L., Villabona Ortiz, Á., & Monroy Rodríguez, L. (2013). Obtención de biodiesel a partir de diferentes tipos de grasa residual de origen animal. *Luna Azul*, 10-25. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584002.pdf>

Metabolitos secundarios de *Trichoderma* spp.: importancia en la industria agrícola, farmacéutica y alimentaria

Secondary metabolites of *Trichoderma* spp.: importance in agricultural, pharmaceutical, and food industries

Lina Suarez Medina¹, Valentín Murcia-Torrejano¹, Maily Rivas López¹, Alonso Pinto Antonio¹, Nikol Muñoz Otero¹, Jonatan Valencia-Payán¹, William Ochoa¹ y Dayana Moreno-Ortega²

¹ Centro de Formación Agroindustrial, lsuarezm@sena.edu.co, <https://orcid.org/0009-0005-6837-9445>

¹ Centro de Formación Agroindustrial, vamurcia@sena.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2063-4452>

¹ Centro de Formación Agroindustrial, mrivas@sena.edu.co, <https://orcid.org/0009-0005-4800-665X>

¹ Centro de Formación Agroindustrial, armapinto@soy.sena.edu.co, <https://orcid.org/0009-0009-2593-9077>

Autor para correspondencia, lsuarezm@sena.edu.co

Como citar:

Suarez Medina, L., Murcia-Torrejano, V., Rivas López, M., Pinto Antonio, A., Nikol Muñoz Otero, A., Valencia-Payán, J., Ochoa, W., & Moreno-Ortega, D. (2024). Metabolitos secundarios de *Trichoderma* spp.: importancia en la industria agrícola, farmacéutica y alimentaria. Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura, 10(3), 35-55. ISSN: 2422-0493.



Resumen

El género de hongos *Trichoderma* spp., ha generado gran interés en la investigación y la industria debido a su versatilidad. Su distribución cosmopolita y rápido crecimiento lo convierten en una biofábrica de compuestos químicos con relevancia en la agricultura, la farmacéutica y la industria alimentaria. En el ámbito agrícola, *Trichoderma* actúa como biocontrolador, promotor del crecimiento vegetal y degradador de materiales lignocelulósicos aportando significativamente en el mejoramiento de la salud y la calidad del suelo, y siendo además, una estrategia crucial para afrontar los efectos del cambio climático. En farmacología, sus propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antienvjecimiento son fundamentales para el desarrollo y la formulación tanto de fármacos como de alimentos funcionales y nutraceuticos. Además, en la industria alimentaria, se destaca por sus

funciones antioxidantes y antifúngicas, esenciales para la conservación e inocuidad de los alimentos. Estas aplicaciones son posibles debido a la producción de metabolitos secundarios por parte del hongo, entre los cuales destacan el ácido harziánico, alameticinas, harziandione, tricoteceno, tricodermin, harzianum A, tricholinas, peptaiboles, 6-pentil- α -pirona, gliovirina, ácido heptéldico, aldehído fórmico, gliotóxina y viridina. Además, las cepas más estudiadas incluyen *T. harzianum* T22 y P66, *T. atroviride* S361, *T. virens*, *T. pertersensii*, *T. hamatum*, así como, las cepas *T. reesei* QM6a y RUT C-30 (modelos metabólicos) y *T. lignorum* UAMH 50681. Todos estos beneficios son posibles gracias a la producción de estos compuestos químicos, así como a la facilidad de producción controlada y a la adaptabilidad de las especies de este género, lo cual las convierte en una estrategia eficiente para el beneficio económico, ambiental y farmacéutico. En el presente documento se discuten las diversas aplicaciones de *Trichoderma*, sus metabolitos más relevantes y las cepas más estudiadas en los ámbitos agrícola, alimentario y farmacéutico.

Palabras claves: Actividad biológica, biocontrolador, biofábrica, compuestos volátiles, conservación de alimentos, crecimiento vegetal.

Abstract

The fungal genus *Trichoderma* spp. has generated great interest in research and industry due to its versatility. Its cosmopolitan distribution and rapid growth make it a biofactory of chemical compounds with relevance in agriculture, pharmaceuticals and the food industry. In agriculture, *Trichoderma* acts as a biocontroller, plant growth promoter and degrader of lignocellulosic materials, contributing significantly to the improvement of soil health and quality and being a crucial strategy to cope with the effects of climate change. In pharmacology, its anti-cancer, anti-inflammatory and anti-ageing properties are fundamental for the development and formulation of pharmaceuticals, functional foods and nutraceuticals. Furthermore, in addition, in the food industry, it stands out for its

antioxidant and antifungal functions, essential for food preservation and safety. These applications are possible due to the production of secondary metabolites by the fungus, including harzanic acid, alamethicins, harziandione, trichothecene, trichodermin, harzianum A, tricholins, peptaibols, 6-pentyl- α -pyrone, gliovirin, heptadecanoic acid, formic aldehyde, glyoxin and viridin. In addition, the most studied strains include *T. harzianum* T22 and P66, *T. atroviride* S361, *T. virens*, *T. pertersensii*, *T. hamatum*, as well as *T. reesei* strains QM6a and RUT C-30 (metabolic models) and *T. lignorum* UAMH 50681. All these benefits are possible thanks to the production of these chemical compounds, as well as the ease of controlled production and the adaptability of the species of this genus, which makes them an efficient strategy for economic, environmental and pharmaceutical benefit. This paper discusses the various applications of Trichoderma, its most relevant metabolites and the most studied strains in the agricultural, food and pharmaceutical fields.

Keywords: biocontroller, biofactory, biological activity, food preservation, plant growth, volatile compounds.

Introducción

Los hongos del género *Trichoderma* spp. actúan como endófitos en las plantas, demostrando ser auténticos bioquímicos capaces de sintetizar una variedad de metabolitos secundarios MS, con aplicaciones significativas en la agricultura, la industria farmacéutica y la producción de alimentos (Hernández-Ochandía et al., 2015). Asimismo, son verdaderos polifacéticos en el mundo microbiano, considerados cosmopolitas debido a su amplia distribución en diversos ambientes, como suelos, madera en descomposición y fuentes de agua, incluyendo agua de mar, como es el caso de *T. citrinoviride* A-WH-20-3 y *T. harzianum* X-5 y *T. lentiforme* aislada de manglares (Hernández-Melchor et al., 2019; Yin et al., 2023). Su versatilidad también se manifiesta en la producción de enzimas, compuestos promotores de crecimiento vegetal y compuestos volátiles (Hernández-Melchor et al., 2019; Patil et al., 2016; Rashad & Abdel-Azeem, 2020; Soto Alanis et al., 2017). Para la producción a gran escala de estos compuestos se usan biofábricas, producción bajo condiciones controladas, como en el caso de *Trichoderma*, que se utiliza para expresar proteínas y rutas metabólicas heterólogas con aplicaciones farmacéuticas e industriales (Hernández-Melchor et al., 2019).

Hasta 2023, se han identificado alrededor de 200 compuestos derivados de *Trichoderma* spp., incluyendo terpenoides, policétidos y péptidos, entre otros (Hernández-Melchor et al., 2019; Lakhdari et al., 2023; Stoppacher et al., 2010). Entre los principales MS producidos por *Trichoderma* se encuentran: ácido harziánico, alameticinas, harziandione, tricoteceno, tricondermin, harzianum A, tricholinas, peptaiboles, 6-pentil- α -pirona, gliovirina, ácido heptéldico, aldehído fórmico, gliotóxina y viridina (Mesa Vanegas et al., 2020).

La funcionalidad y producción de los MS en el hongo *Trichoderma* depende en gran medida de la especie, la cepa y diversas variables ambientales, sugiriendo entonces que los aislados de la misma especie de *Trichoderma* pueden tener comportamientos distintos frente a un mismo organismo fitopatógeno (Michel-Aceves et al., 2020). Entre las especies más estudiadas se encuentran *T. harzianum* T22 y P66, *T. atroviride*, *T. virens*, *T. pertersensii*, *T. hamatum*, así como, las cepas *T. reesei* QM6a y RUT C-30 (modelos metabólicos), *T. lignorum* UAMH 5068 y *T. atroviride* S361 (Mesa Vanegas et al., 2020). De lo anterior, se evidencia el amplio potencial de los MS producidos por *Trichoderma* en diversas aplicaciones. Sin embargo, a pesar de los avances logrados, aún existen numerosos vacíos en el conocimiento sobre su biosíntesis y mecanismos de acción. Esta revisión compila una lista de 81 compuestos identificados en la literatura

científica reciente (2006-2023), lo cual constituye una valiosa herramienta para futuras investigaciones. Los hallazgos aquí presentados pueden contribuir al desarrollo de productos biológicos basados en *Trichoderma* para la agricultura sostenible en un contexto de cambio climático, las industrias farmacéutica y alimentaria, con base en la línea estrategia del Plan Tecnológico 2020 – 2030 del Centro de Formación Agroindustrial SENA Regional Huila.

Importancia de *Trichoderma* spp.

La diversidad metabólica de *Trichoderma* es notable, con la producción de una amplia gama de compuestos bioactivos, incluyendo péptidos no ribosomales, sideróforos, terpenos y pironas, que le confieren a *Trichoderma* propiedades antifúngicas y promotoras del crecimiento, producidos por más del 50% de las especies de este género, siendo *T. asperellum*, *T. viride*, *T. virens* y *T. harzianum* las más populares, lo que lo convierte en un organismo de gran interés en agricultura y biotecnología (Cortés Hernández et al., 2023). Estos metabolitos incluyen antioxidantes, antifúngicos, antibióticos, enzimas, azúcares, bioetanol y polifenoles, obtenidos a partir de la conversión de biomasa vegetal (Lakhdari et al., 2023; Mesa Vanegas et al., 2020; Salwan et al., 2019).

Además de sus MS, *Trichoderma* produce un conjunto enzimático que le permite llevar a cabo diversas funciones biológicas, como es el caso de las quitinasas y glucanasas, las cuales degradan la pared celular de hongos fitopatógenos, mientras que las proteasas participan en la regulación del crecimiento y desarrollo y, junto con otros factores, contribuyen a la capacidad de *Trichoderma* para promover el crecimiento vegetal y controlar enfermedades (Cortés Hernández et al., 2023). Adicionalmente, produce la enzima 1-aminociclopropano-1-carboxílico ácido desaminasa (ACCD), específicamente la especie *T. hamatum*, que interfiere en la biosíntesis del etileno y promueve el desarrollo vegetal a través de las giberelinas y a su vez *T. hamatum* actúa como potencial agente de control biológico mediante la expresión de sus MS (Brotman et al., 2013).

Dentro de este género, se encuentran compuestos llamados peptaiboles, como las tricorzaninas y tricovirinas, junto con la enzima peptaibol sintetasa. En 1932, se aislaron los primeros MS de *Trichoderma*, específicamente de la cepa *T. lignorum* UAMH 5068, siendo estos compuestos el viridino y la gliotoxina, ambos con actividad fungicida (Mesa Vanegas et al., 2020). Estos compuestos han captado la atención de científicos e investigadores debido a su potencial para formular nuevos productos beneficiosos para la salud, con una mayor vida útil, y por su importancia en la implementación de

estrategias ecoeficientes amigables con los ecosistemas, gracias a sus actividades bioactivas (González-León et al., 2022).

Metabolitos secundarios (MS) de importancia en la agricultura y biotecnología

Actualmente, la agricultura convencional enfrenta serios problemas medioambientales debido al uso indiscriminado de agroquímicos para controlar fitopatógenos, lo que provoca el deterioro de los suelos (afectando su calidad y salud) y la contaminación de fuentes hídricas, lo que conduce a la eutrofización (Hernández-Melchor et al., 2019; Reyes Palomino & Cano Ccoa, 2022). En este ámbito, *Trichoderma* spp. se ha consolidado como un aliado natural en la lucha contra los patógenos de las plantas. Estos hongos secretan una variedad de metabolitos con propiedades nematicidas, antibióticas, y antimicrobianas, inhibiendo el crecimiento de otros microorganismos y actuando como micoparásitos al debilitar y destruir hongos fitopatógenos (d'Errico et al., 2022; Z. Yang et al., 2012; Z. S. Yang et al., 2010). Además, estimula el crecimiento vegetal al mejorar la absorción de nutrientes y aumentar la tolerancia al estrés ambiental (Hernández-Melchor et al., 2019). También desempeña un papel crucial como agente biorremediador, adsorbiendo metales pesados y contribuyendo a la mitigación de la contaminación ambiental (Lakhdari et al., 2023; Mesa Vanegas et al., 2020; Pesántez & Castro, 2016).

Los MS producidos por *Trichoderma* spp. desempeñan un papel fundamental en la agricultura y la biotecnología, debido a que estos tienen múltiples funciones, como el biocontrol (Cruz Cardeñoso et al., 2015) y la supresión de patógenos mediante actividades antimicrobianas (antifúngicas, antibacterianas y antimicroalgas) (Chiboga P. et al., 2015), la promoción del crecimiento vegetal a través de reguladores del crecimiento y la degradación de residuos lignocelulósicos, su uso de compuestos volátiles y no volátiles lo cual lo convierte en un aliado valioso para el control de patógenos y la sostenibilidad del suelo (Hernández-Melchor et al., 2019).

Bio-control y supresión de patógenos

Trichoderma es ampliamente utilizado en la lucha contra hongos fitopatógenos. Su eficacia se basa en la síntesis de compuestos antimicrobianos y su empleo mediante mecanismos como antibiosis, parasitismo y competencia por espacio y nutrientes (Hernández-Melchor et al., 2019). En particular, dentro del contexto de la antibiosis, *Trichoderma* produce una variedad de sustancias en la zona de la rizosfera, entre las

cuales se destacan los compuestos antimicrobianos o antagonicos (López-Ferrer et al., 2017), que inhiben directamente el crecimiento de patógenos, incluyendo entre estos, proteínas, enzimas y antibióticos que actúan contra otros hongos (Cortés Hernández et al., 2023). Asimismo, induce respuestas locales y en algunos casos, la necrosis en los patógenos circundantes, mostrando ciertos productos derivados de los genes de virulencia de *Trichoderma* que actúan como activadores de los mecanismos de defensa en las plantas (González-León et al., 2022). Ataca directamente a otros hongos patógenos compitiendo por espacio, nutrientes y liberando enzimas que degradan las paredes celulares de los patógenos, mediante el mecanismo micoparasitismo, como es el caso de la fuerte actividad antifúngica mostrada por *T. harzianum* contra los hongos *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria* sp., y *Fusarium solani* (Mesa Vanegas et al., 2020). *Trichoderma* también es capaz de producir elicitores que inducen la defensa vegetal contra patógenos e insectos (Cortés Hernández et al., 2023). Dentro de esta función, los principales MS de *Trichoderma* son el ácido harziánico, acetaldehídos, alameticinas, tricholinas, peptaiboles, antibióticos, massolactona, gliovirina, glisoperonas, ácido heptéldico, aldehído fórmico, gliotoxina, harzianolide (PUBCHEM, 2024m), konigininas, 6-Pentyl-2Hpyran-2-one, trichokoninas, viridina, ácido salicílico, ácido jazmónico y compuestos orgánicos volátiles (COVs) entre otros (Cortés Hernández et al., 2023; Keswani et al., 2014) (tabla 1).

Promoción del crecimiento vegetal

Este hongo simbiote, produce compuestos que pueden promover el crecimiento y desarrollo de las plantas, llamados promotores o reguladores de crecimiento vegetal (CPGV), como es el caso de los elicitores, auxinas, geberelinas y ácidos orgánicos como el glucónico, fumárico, y cítrico, los cuales benefician a las plantas estimulando el crecimiento de raíces y brotes mediante la disminución del pH del suelo y propiciando la solubilidad de fosfatos, magnesio Mg, hierro Fe y manganeso Mn, vitales para el metabolismo vegetal, optimizando así, la tolerancia al estrés abiótico, y a su vez, mejorando la salud y fertilidad del suelo, así como, la productividad de los cultivos (Cortés Hernández et al., 2023; Hernández-Melchor et al., 2019). Por otra parte, este hongo ha demostrado ser una alternativa ante el estrés hídrico por carencia de agua, debido a la liberación de ácido trans-abscísico, una hormona procedente de isoprenoide que regula el cierre estomático impidiendo la pérdida del agua y, por ende, la eliminación de humedad en las plantas (Cortés Hernández et al., 2023).

Degradación de residuos lignocelulósicos

Trichoderma es un hongo metabólicamente versátil, siendo capaz de usar una amplia variedad de biomasa vegetal, incluyendo oligosacáridos como sucralosa, rafinosa y polisacáridos como la celulosa (por sus enzimas con propiedades celulolíticas) (Hernández-Melchor et al., 2019), inulina, pectina y almidón, así como sustratos más complejos como suero de leche, hidrocarburos del petróleo, plaguicidas, siendo capaz incluso de utilizar y degradar residuos lignocelulósicos constituidos de celulosa (40-55%), hemicelulosa (25-50%), y lignina (10-40%), para la generación de metabolitos útiles como el etanol (Fernandes Primo, 2020; Hernández-Melchor et al., 2019).

Biorremediación

La biorremediación de suelos contaminados con xenobióticos, compuestos químicos extraños al medio ambiente, como pesticidas y metales pesados, debido a su capacidad de degradar compuestos tóxicos y mejorar la calidad del suelo, son cruciales para la agricultura sostenible y la protección del medio ambiente. Es de tener en cuenta que el MS (3H)-benzoxazolinone, ha demostrado una fuerte actividad en el control de arvenses por lo que es considerado un herbicida (Keswani et al., 2014) Tabla 1.

Metabolitos secundarios de importancia en la industria alimentaria

En la industria alimentaria, los MS de *Trichoderma* se utilizan como conservantes naturales, prolongando la vida útil de los alimentos y mejorando su calidad sensorial y nutricional (Lakhdari et al., 2023). Dentro de este contexto, se destaca por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, lo que lo convierte en un ingrediente clave en el desarrollo de tecnologías de conservación de alimentos. Por ejemplo, enzimas hidrolíticas, como las celulasas y xilasas, se utilizan en la producción de productos alimenticios, en la formulación de biofilms, en los recubrimientos comestibles y en la producción de compuestos con propiedades funcionales, como antioxidantes y saborizantes naturales (García Díaz et al., 2022). Además, los compuestos bioactivos como los flavonoides, terpenoides y alcaloides pueden ser usados en la formulación de alimentos funcionales, ofreciendo mayor vida útil, efectos saludables, así como ecoeficiencia al hacer uso de biofábricas para su producción controlada (Hernández-Melchor et al., 2019). Dado que las micotoxinas producidas por

Alternaria spp. contaminan una amplia variedad de alimentos, desde frutas y hortalizas hasta productos procesados, es necesario controlar la presencia de este hongo en los cultivos (Pavón Moreno et al., 2012). *Trichoderma* se presenta como una alternativa biológica para reducir la contaminación por micotoxinas, mejorando así la calidad y seguridad de los alimentos que consumimos (Hernández-Melchor et al., 2019)

Metabolitos secundarios de importancia en la industria farmacéutica

Los MS han demostrado ser una fuente invaluable de compuestos bioactivos con aplicaciones en la industria farmacéutica. Dentro de este campo, destacan por su actividad antimicrobiana (antibacteriana y antifúngica), propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, así como por su potencial anticancerígeno (Lakhdari et al., 2023; Mesa Vanegas et al., 2020; Salwan et al., 2019).

En este contexto, *Trichoderma* se destaca como un organismo productor de una amplia gama de compuestos de interés (polifenoles, flavonoides y alcaloides) con propiedades antimicrobianas, antioxidantes y anticancerígenas (Mesa Vanegas et al., 2020). Su potencial para la biosíntesis de moléculas bioactivas lo posiciona como una herramienta en la búsqueda de nuevos fármacos (Lakhdari et al., 2023; Mesa Vanegas et al., 2020; Salwan et al., 2019). La gliotoxina (Tabla 1) es un metabolito secundario de particular interés debido a su amplia gama de actividades biológicas. Entre sus propiedades destacan la inmunosupresión, la inducción de apoptosis en células inmunitarias, la inhibición de la farnesil transferasa y del proteasoma 20S, confiriéndole a la gliotoxina características antibióticas, antifúngicas, antivirales y antitumorales. (Keswani et al., 2014; Mesa Vanegas et al., 2020). Además, se ha evaluado *in vitro* la capacidad de *T. harzianum* para producir MS con potencial biotecnológico. Los compuestos derivados de esta especie podrían reemplazar a los sintéticos en la formulación de diversos productos, considerando la eficacia demostrada de esta cepa contra patógenos como *S. sclerotiorum*, *Alternaria* sp. y *F. solani*. (Lakhdari et al., 2023). La exposición a micotoxinas producidas por *Alternaria* sp. puede causar diversas enfermedades en humanos y animales, incluyendo rinitis alérgica, asma y rinosinusitis crónica, debido a que estas toxinas han demostrado tener efectos nocivos a nivel celular, incluyendo genotoxicidad, mutagenicidad, carcinogenicidad y citotoxicidad (Pavón Moreno et al., 2012). La queratitis fúngica causada por *F. solani* (Mena et al., 2015) es una infección ocular grave que requiere un tratamiento especializado. Por otro lado, el peptaibol paracelsina A, aislado de *T. reesei* y *T. asperellum*, ha demostrado una

prometedora actividad antibiótica contra bacterias Gram positivas (Michel-Aceves et al., 2020), como se muestra en la Tabla 1.

Los anteriores hallazgos sugieren un potencial terapéutico para el tratamiento de infecciones bacterianas. Unos de los compuestos más interesantes encontrados dentro de esta revisión, son las konigininas A – B, a las cuales se les demostró actividad antimicrobiana, anticancerígena, inmunosupresora y antiofídica, siendo esta última de suma importancia a la hora de tratar mordeduras de serpientes (Fernandes Primo, 2020).

Tabla 1.

*MS producidos por el género **Trichoderma** spp. con sus respectivas fórmulas y especies.*

No.	Nombre	Fórmula	Especies de <i>Trichoderma</i>	Referencia
1	(10E)-isocyclonerotriol	C15H28O3	<i>T. citrinoviride</i> A-WH-20-3	(Zhang et al., 2021)
2	(10Z)-isocyclonerotriol	C15H28O3	<i>T. citrinoviride</i> A-WH-20-3	(Zhang et al., 2021)
3	(3H)-benzoxazolinone	C7H5NO2	<i>Trichoderma</i> spp.	(Keswani et al., 2014)
4	(Methyldisulfanyl) methane	C4H12S3	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024n; Salwan et al., 2019)
5	(Z)-11-Hexadecenal	C16H30O	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
6	2-heptanone	C7H14O	<i>T. atroviride</i> ATCC 74058	(PUBCHEM, 2024c; Stoppacher et al., 2010)
7	11-methoxy-9-cyclone- ren-3,7-diol	C16H30O3	<i>T. harzianum</i> X-5	(Zhang et al., 2021)
8	14-Methyl-8-hexadecyn- 1-ol	C17H32O	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
9	1-octen-3-ol	C8H16O	<i>T. atroviride</i> ATCC 74058	(Stoppacher et al., 2010)
10	3-Carene	C10H16	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
11	2-Methoxy-3- methylpyrazine	C6H8N2O	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
12	Trichodermol	C15H22O3	<i>T. asperellum</i>	(Cheng et al., 2009)
13	3-Méthyl mercaptopropanal	C4H8OS	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)

No.	Nombre	Fórmula	Especies de <i>Trichoderma</i>	Referencia
14	6-pentil-a-piron (6PP)	C10H14O2	<i>T. harzianum</i> M10, <i>T. atroviride</i> P1, <i>T. harzianum</i> (T12)	(Mesa Vanegas et al., 2020)
15	3-octanol	C8H18O	<i>T. atroviride</i> ATCC 74058	(Stoppacher et al., 2010)
16	8-acoren-3,11-diol	C15H26O2	<i>T. harzianum</i> X-5	(Zhang et al., 2021)
17	Bisorbicilinol	C28H32O8	<i>Trichoderma</i> spp.	(Fernandes Primo, 2020; PUBCHEM, 2024d)
18	p-Cymene	C10H14	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
19	Allyl 2-Nitrophenylpyruvate Oxime	C12H12N2O5	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
20	Aspergillazine A	C20H20N2O8S	<i>T. harzianum</i> D13	(Sun et al., 2016; Zhao et al., 2020)
21	9,17-Octadecadienal, (Z)	C18H32O	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
22	Biperiden	C21H29NO	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
23	Methyl stearate	C19H38O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
24	Cedrene	C15H24	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024b; Salwan et al., 2019)
25	Pentadecanoic acid	C15H30O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
26	Koninginin U	C12H18O3	<i>T. koningiopsis</i> QA-3	(Fernandes Primo, 2020)
27	Koninginin V	C20H34O6	<i>T. koningiopsis</i> QA-3	(Fernandes Primo, 2020)
28	Limonene/(+)-Limonene	C10H16	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
29	Linoleic acid	C18H32O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
30	Monolinolein TMS	C27H54O4Si2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
31	Microsphaeropsis B	C15H20O4	<i>Trichoderma</i> sp. 307	(Zhang et al., 2021)
32	Nafuredin C	C22H34O4	<i>T. harzianum</i> D13	(Zhao et al., 2020)
33	Heptelídic acid/Koningic acid	C15H20O5	<i>T. koningii</i> M3947	(Mesa Vanegas et al., 2020)
34	Hexan-1-ol	C6H14O	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
35	Hexanoic acid/caproic acid	C6H12O2	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
36	Methyl linolelaidate	C19H34O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)

No.	Nombre	Fórmula	Especies de <i>Trichoderma</i>	Referencia
37	Massoia lactone	C10H16O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
38	Methyl dihydrojasmonate	C13H22O3	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024i; Salwan et al., 2019)
39	Emodin	C15H10O5	<i>T. polysporum</i> , <i>T. viride</i>	(Keswani et al., 2014; PUBCHEM, 2024l)
40	Camphor	C10H16O	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024e; Salwan et al., 2019)
41	Myrcene	C10H16	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024j; Salwan et al., 2019)
42	Nafuredin A	C22H32O4	<i>T. harzianum</i> D13.	(Zhao et al., 2020)
43	Homoharzianic acid	C20H29NO6	<i>Trichoderma</i> spp.	(Fernandes Primo, 2020; PUBCHEM, 2024h)
44	Gliotoxin	C13H14N2O4S2	<i>T. lignorum</i> UAMH 5068	(Keswani et al., 2014; Mesa Vanegas et al., 2020)
45	Erucylamide	C22H43NO	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
46	Ethyl linoleate	C20H36O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
47	Ethylene	C2H4	<i>T. hamatum</i>	(Ghisalberti EL & Rowland CY, 1993; González-León et al., 2022)
48	Ethylene sulfate	C2H4O4S	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
49	Carbolic acid/Fenol	C6H6O	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024a; Salwan et al., 2019)
50	Copaene	C15H24	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
51	Paracelsin A	C88H145N23O24	<i>T. reseei</i> Simmon, <i>T. asperellum</i>	(Michel-Aceves et al., 2020; PUBCHEM, 2024f; Ritieni A et al., 1995)
52	Palmitic acid, methyl ester	C17H34O2	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
53	Octacosane	C28H58	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024k; Salwan et al., 2019)
54	Cyclonerodiol	C15H28O2	<i>T. harzianum</i>	(Keswani et al., 2014; PUBCHEM, 2024f)
55	Nafuredin C	C22H34O4	<i>T. harzianum</i> D13	(Zhao et al., 2020)
56	Harzianoic acid A	C14H20O5	<i>T. harzianum</i> LZDX-32-08	(Zhang et al., 2021)
57	Glycerol 1-oleate, diacetate	C25H48O8	<i>T. harzianum</i>	(Lakhdari et al., 2023)
58	Harzianic acid (HA)	C19H27NO6	<i>T. harzianum</i> M10, <i>T. atroviride</i> P1, <i>T. harzianum</i> (T12)	(García et al., 2006)
59	(-) trichodermadione A	Sin información	<i>T. atroviride</i> S361	(Kong et al., 2018)

No.	Nombre	Fórmula	Especies de <i>Trichoderma</i>	Referencia
60	Harzianolide	C13H18O3	<i>T. Cerinum</i> , <i>T. harzianum</i>	(Keswani et al., 2014)
61	Nonanal	C9H18O	<i>Trichoderma</i> spp.	(PUBCHEM, 2024g; Salwan et al., 2019)
62	Harzianol F	C20H32O2	<i>T. atroviride</i> B7 de <i>C. coccinea</i> var. <i>Mollis</i>	(Zhang et al., 2021)
63	Harzianol G	C20H34O2		(Zhang et al., 2021)
64	Harzianol H	C20H34O2		(Zhang et al., 2021)
65	Harzianol I	C20H34O		(Zhang et al., 2021)
66	Harzianol J	C20H30O2		(Zhang et al., 2021)
67	Himachalene	C15H24	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
68	Harzianum A	C23H28O6	<i>T. harzianum</i> , <i>T. arundinaceum</i> , <i>T. brevicompactum</i> (CGMCC19618)	(Sun et al., 2016)
69	Harziphilone	C15H18O4	<i>T. harzianum</i>	(Keswani et al., 2014; PUBCHEM, 2024f)
70	Heptane	C7H16	<i>Trichoderma</i> spp.	(Salwan et al., 2019)
71	Koninginin A, B, C	C16H28O4	<i>T. koningii</i> , <i>T. koningiopsis</i> , <i>T. neokoningii</i> , <i>T. aureoviride</i> , <i>T. ovalisporum</i>	(Fernandes Primo, 2020)
72	koninginin D, F, H	C16H26O5		(Fernandes Primo, 2020)
73	koninginin E	C16H26O4		(Fernandes Primo, 2020)
74	Koninginin G	C16H30O5		(Fernandes Primo, 2020)
75	Koninginin I, J, S	C16H24O5		(Fernandes Primo, 2020)
76	Koninginin K	C16H24O6		(Fernandes Primo, 2020)
77	Koninginin L, M, N, O	C16H24O4		(Fernandes Primo, 2020)
78	Koninginin P	C16H26O5	<i>Trichoderma</i> spp.	(Fernandes Primo, 2020)
79	Koninginin Q	C17H28O5	<i>Trichoderma</i> spp.	(Fernandes Primo, 2020)
80	Koninginin R	C18H28O6	<i>Trichoderma</i> spp.	(Fernandes Primo, 2020)
81	Koninginin T	C17H28O6	<i>T. koningiopsis</i> QA-3	(Fernandes Primo, 2020)

Además, nueve de los MS encontrados presentan actividad antifúngica, siendo los más relevantes Gliotoxina, 6-pentil- α -piron (6PP) y el ácido harziánico, también se encontraron 6 promotores y reguladores del crecimiento de plantas, entre estos los más relevantes vuelven a ser 6-pentil- α -piron (6PP) y el ácido harziánico junto con el etileno, la cual es una hormona clave en la regulación de diversos procesos de crecimiento y desarrollo como la maduración de fruta, la senescencia de hojas y respuesta al estrés (Tabla 1).

Además de los compuestos ya mencionados, *Trichoderma* produce otros MS con actividad antimicrobiana y defensa vegetal, como son los polifenoles, flavonoides, taninos, alcoholes, y compuestos volátiles, diterpenos tetracíclicos (harziandiona) y sesquiterpenos (Hernández-Melchor et al., 2019). Dentro de los MS mas importantes producidos por *Trichoderma* están, el ácido harziánico y el 6-pentil-a-piron (6PP) los cuales han evidenciado propiedades antifúngicas, dónde *T. harzianum* (T12) mostró una alta capacidad antagónica contra los hongos *Rhizoctonia solani*, *S. cepivorum*, *Sclerotium rolfii*, *Fusarium* sp., *P. brassicae* y *Phytohthora* sp., logrando reducciones de la incidencia de estas enfermedades en dependencia de ellas y de las condiciones ambientales (Tabla 1).

T. harzianum T22 y *T. harzianum* P66 también mostraron control de la enfermedad causada por *R. solani*, este tipo de MS muestra dos de las actividades biológicas relevantes de *Trichoderma*, su actividad antioxidante y antifúngica, lo que le confiere un rol de alta importancia a la hora de generar productos benéficos para la agricultura, la salud, inocuos y con una vida útil garantizada. Otros compuestos con actividades biológicas de interés: (-) trichodermadiona A, cepa *T. atroviride* S361, el paracelsin A de *T. reseei* Simmon y *T. asperellum* (Kong et al., 2018; PUBCHEM, 2024k).

La Tabla 1 muestra un compilado con 81 metabolitos secundarios de interés, entre los cuales se destacan, gracias a sus propiedades, los MS ácido harziánico, alameticinas, harziandione, tricoteceno, tricodermin, harzianum A, tricholinas, peptaiboles, 6-pentil- α -pirona, gliovirina, ácido heptéldico, aldehído fórmico, gliotóxina y viridina los cuales se caracterizan por sus actividades de antibiosis y micoparasitismo. Esta tabla aporta información básica de cada MS que ha sido reportada con alguna actividad biológica a partir del género de hongos *Trichoderma*, no obstante, esta lista representa una riqueza de recursos bioactivos diversos que sugieren que este género es extremadamente versátil y que se adapta a diferentes entornos. La variedad de actividades biológicas reportadas, desde propiedades antimicrobianas hasta los efectos en el crecimiento vegetal, destaca la importancia de

estos en múltiples campos. Como se trató anteriormente, algunos de los MS reportados podrían ser la base para el desarrollo de nuevos medicamentos y tratamientos, a su vez, su potencial como agentes de biocontrol y promotores del crecimiento vegetal puede revolucionar prácticas agrícolas sostenibles, por último, podría enriquecer productos funcionales con beneficios para la salud.

Conclusiones

El género *Trichoderma* spp. emerge como un organismo modelo en el campo de la biotecnología, con un amplio rango de aplicaciones en agricultura, los alimentos y la salud. Su capacidad para producir metabolitos secundarios bioactivos y su papel como agente de biocontrol lo convierten en una herramienta prometedora para el desarrollo de soluciones sostenibles y eficaces para combatir enfermedades de las plantas y promover el crecimiento vegetal.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia, ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento en este artículo.

Agradecimientos

Los autores brindan su continuo reconocimiento y agradecimiento al Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del SENA, SENNOVA, por financiar este artículo de investigación mediante el proyecto de investigación aplicada y semilleros de investigación SGPS 12255 - 2024.

Declaración de la IA Generativa y las tecnologías asistidas por IA en el proceso de redacción

Durante la preparación de este artículo, los autores utilizaron Microsoft Copilot (GPT-4) para la edición lingüística del manuscrito. Tras utilizar esta herramienta/servicio, los autores revisaron y editaron el contenido según fuera necesario y asumieron la plena responsabilidad del contenido de la publicación.

Referencias bibliográficas

- Brotman, Y., Landau, U., Cuadros-Inostroza, Á., Takayuki, T., Fernie, A. R., Chet, I., Viterbo, A., & Willmitzer, L. (2013). Trichoderma-Plant Root Colonization: Escaping Early Plant Defense Responses and Activation of the Antioxidant Machinery for Saline Stress Tolerance. *PLoS Pathogens*, 9(3). HYPERLINK “<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003221>”<https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1003221>
- Cheng, J. L., Zhou, Y., Lin, F. C., Zhao, J. H., & Zhu, G. N. (2009). Trichodermol (4-hydroxy-12,13-epoxy-trichothec-9-ene). *Acta Crystallographica Section E: Structure Reports Online*, 65(11). <https://doi.org/10.1107/S1600536809044080>
- Chiboga P., H., Gómez B., G., & Garcés E., K. (2015). Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo: *Trichoderma spp.* para el control biológico de enfermedades. *Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura - OEA*.
- Cortés Hernández, F. del C., Alvarado Castillo, G., & Sánchez Viveros, G. (2023). Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sostenible: una revisión. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 25(2), 62–76. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v25n2.111384>
- Cruz Cardeñosa, M., Matín, R., Chamorro, I., Rubio, B., Alonso, A., Carrero, I., Pardal, J. A., Hermosa, R., de Medeiros, H., Poveda, J., Pérez, E., & Monte, E. (2015). Trichoderma y su aplicación en agricultura como agente de control biológico y como hongo beneficioso para las plantas. *Microbiología de plantas. Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias CIALE*, 54–55.
- d’Errico, G., Greco, N., Vinale, F., Marra, R., Stillittano, V., Davino, S. W., Woo, S. L., & D’Addabbo, T. (2022). Synergistic Effects of Trichoderma harzianum, 1,3 Dichloropropene and Organic Matter in Controlling the Root-Knot Nematode Meloidogyne incognita on Tomato. *Plants*, 11(21). <https://doi.org/10.3390/plants11212890>
- Fernandes Primo, R. K. (2020). *Estudo químico e biológico de linhagens de Trichoderma da Amazônia*.
- García Díaz, E., Valenzuela_Quintanar, A. I., Troncoso-Rojas, R., Gonzalez-Mendoza, D., & Tiznado-Hernández, M. E. (2022). Metabolitos Bioactivos de Trichoderma para el Control de Hongos Postcosecha en Frutas y Hortalizas. Capítulo 14. Metabolitos bioactivos de Trichoderma para el control de hongos postcosecha en frutas y hortalizas. En L. C. Montoya Ballesteros, M. E. Tiznado Hernández, T. J. Madera Santana, J. F. Ayala Zabala, & G. A. González Aguilar (Eds.), *Tecnología, Ingeniería y Biotecnología de Alimentos de origen vegetal: aprovechamiento de sus subproductos*.

- García, R., Riera, R., Zambrano, C., & Gutiérrez, L. (2006). Desarrollo de un fungicida biológico a base de una cepa del hongo *Trichoderma harzianum* proveniente de la región andina venezolana. *Fitosanidad*, 10(2), 115-121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209116102005>
- Ghisalberti EL, & Rowland CY. (1993). Antifungal metabolites from *Trichoderma harzianum*. *Journal of Natural Products*, 56(10), 1799–1804. <https://doi.org/10.1021/np50100a020>.
- González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., Mercado-Flores, Y., González-León, Y., Ortega-Bernal, J., Anducho-Reyes, M. A., & Mercado-Flores, Y. (2022). *Bacillus subtilis* y *Trichoderma*: Características generales y su aplicación en la agricultura. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 25. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.520>
- Hernández-Melchor, D. J., Ferrera-Cerrato, R., & Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 35(1), 98-112. <https://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902019005000205>
- Hernández-Ochandía, D., Rodríguez, M. G., Peteira, B., Miranda, I., Arias, Y., & Martínez, B. (2015). Efecto de cepas de *Trichoderma asperellum* Samuels, Lieckfeldt y Nirenberg sobre el desarrollo del tomate y *Meloidogyne incognita* (Kofoid Y White) Chitwood. *Rev. Protección Veg*, 30(2), 139–147. https://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1010-27522015000200008&script=sci_arttext&tlng=en
- Keswani, C., Mishra, S., Sarma, B. K., Singh, S. P., & Singh, H. B. (2014). Unraveling the efficient applications of secondary metabolites of various *Trichoderma* spp. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 98(2), 533–544. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5344-5>
- Kong, Z., Jing, R., Wu, Y., Guo, Y., Geng, Y., Ji, J., Qin, L., & Zheng, C. (2018). *Trichoderma* A and B from the solid culture of *Trichoderma atroviride* S361, an endophytic fungus in *Cephalotaxus fortunei*. *Fitoterapia*, 127, 362–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fitote.2018.04.004>
- Lakhdari, W., Benyahia, I., Bouhenna, M. M., Bendif, H., Khelafi, H., Bachir, H., Ladjal, A., Hammi, H., Mouhoubi, D., Khelil, H., Alomar, T. S., AlMasoud, N., Boufafa, N., Boufahja, F., & Dehliz, A. (2023). Exploration and Evaluation of Secondary Metabolites from *Trichoderma harzianum*: GC-MS Analysis, Phytochemical Profiling, Antifungal and Antioxidant Activity Assessment. *Molecules*, 28(13). <https://doi.org/10.3390/molecules28135025>

- López-Ferrer, U. del C., Brito-Vega, H., López-Morales, D., Salaya-Dominguez, J. M., & Gómez-Méndez, E. (2017). PAPEL DE Trichoderma EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES - CACAOTAL COMO UN AGENTE ANTAGÓNICO. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 91–100. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93950595003>
- Mena, R., Carrasco, E., Godoy-Martínez, P., Stchigel, A. M., Cano-Lira, J. F., & Zaror, L. (2015). Un caso de queratitis micótica por Fusarium solani en Valdivia, Chile. *Revista Iberoamericana de Micología*, 32(2), 106–110. <https://doi.org/10.1016/j.riam.2013.12.001>
- Mesa Vanegas, A. M., Marín Pavas, D. A., & Calle Osorno, J. (2020). Metabolitos secundarios en Trichoderma spp. y sus aplicaciones biotecnológicas agrícolas. *Actualidades Biológicas*, 41(111), 1–13. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a02>
- Michel-Aceves, A. C., Hernández-Morales, Javier., Toledo-Aguilar, Rocío., Sabino López, J. E., & Romero-Rosales, Teolincacihuatl. (2020). CAPACIDAD ANTAGÓNICA DE Trichoderma spp. NATIVA CONTRA Phytophthora parasitica Y Fusarium oxysporum AISLADOS DE CULTIVOS DE JAMAICA. *SciELO. Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3).
- Patil, A. S., Patil, S. R., & Paikrao, H. M. (2016). Trichoderma Secondary Metabolites: Their Biochemistry and Possible Role in Disease Management. En D. K. Choudhary & A. Varma (Eds.), *Microbial-mediated Induced Systemic Resistance in Plants* (pp. 69–102). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0388-2_6
- Pavón Moreno, M. Á., González Alonso, I., Martín de Santos, R., & García Lacarra, T. (2012). Importancia del género Alternaria como productor de micotoxinas y agente causal de enfermedades humanas. En *Nutrición Hospitalaria* (Vol. 27, Número 6, pp. 1772–1781). <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.6.6017>
- Pesántez, M., & Castro, R. (2016). Potencial de cepas de Trichoderma spp. para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo. *Biotecnología Vegetal. Instituto de Biotecnología Vegetal*, 16(4), 251–256.
- PUBCHEM. (2024a). Carboic acid/Fenol. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Phenol>
- PUBCHEM. (2024b). Cedrene. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cedrene>

- PUBCHEM. (2024c). Compound Summary for 2-Heptanone COMPOUND_CID_8051. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Heptanone>
- PUBCHEM. (2024d). Compound Summary for Bisorbicilinol. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Bisorbicillinol>
- PUBCHEM. (2024e). Compound Summary for Camphor. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Camphor>
- PUBCHEM. (2024f). Compound Summary for Cyclonerodiol. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Cyclonerodiol>
- PUBCHEM. (2024g). Compound Summary for Harziphilone. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Harziphilone>
- PUBCHEM. (2024h). Compound Summary for Homoharzianic acid. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Homoharzianic-acid>
- PUBCHEM. (2024i). Compound Summary for Methyl dihydrojasmonate. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methyl-dihydrojasmonate>
- PUBCHEM. (2024j). Compound Summary for Myrcene. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Myrcene>
- PUBCHEM. (2024k). Compound Summary for Paracelsin A. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/16132361>
- PUBCHEM. (2024l). Emodin. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Emodin>
- PUBCHEM. (2024m). Harzianolide. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Harzianolide>
- PUBCHEM. (2024n). (Methyldisulfanyl)methane. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information.* <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/12232>

- PUBCHEM. (2024o). Nonanal. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Nonanal>
- PUBCHEM. (2024p). Octacosane. *National Library of Medicine. National Center for Biotechnology Information*. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Octacosane>
- Rashad, Y. M., & Abdel-Azeem, A. M. (2020). Recent Progress on Trichoderma Secondary Metabolites. En A. E.-L. Hesham, R. S. Upadhyay, G. D. Sharma, C. Manoharachary, & V. K. Gupta (Eds.), *Fungal Biotechnology and Bioengineering* (pp. 281–303). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41870-0_12
- Reyes Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Ritieni A, Fogliano V, Nanno D, Randazzo G, Altomare C, Perrone G, Bottalico A, Maddau L, & Marras F. (1995). Paracelsin E, a new peptaibol from *Trichoderma saturnisporum*. *J Nat Prod*, 58(11), 1745–1748. <https://doi.org/10.1021/np50125a017>. PMID: 8594152.
- Salwan, R., Rialch, N., & Sharma, V. (2019). Bioactive volatile metabolites of *Trichoderma*: An overview. En *Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms: Discovery and Applications* (pp. 87–111). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_5
- Soto Alanis, K., Jiménez Hernández, N., & Chávez Avilés, M. N. (2017). Análisis del efeto de los compuestos orgánicos volátiles producidos por *Trichoderma* spp, para el biocontrol de mancha en red en *Hordeum vulgare*, ocasionada por el fitopatógeno *Dreschelera teres*. *Jóvenes en la Ciencia*, 3.
- Stoppacher, N., Kluger, B., Zeilinger, S., Krska, R., & Schuhmacher, R. (2010). Identification and profiling of volatile metabolites of the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride* by HS-SPME-GC-MS. *Journal of Microbiological Methods*, 81(2), 187–193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mimet.2010.03.011>
- Sun, J., Pei, Y., Li, E., Li, W., Hyde, K. D., Yin, W. B., & Liu, X. (2016). A new species of *Trichoderma hypoxylon* harbours abundant secondary metabolites. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep37369>
- Yang, Z. S., Li, G. H., Zhao, P. J., Zheng, X., Luo, S. L., Li, L., Niu, X. M., & Zhang, K. Q. (2010). Nematicidal activity of *Trichoderma* spp. and isolation of an active compound.

- World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(12), 2297–2302. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0410-y>
- Yang, Z., Yu, Z., Lei, L., Xia, Z., Shao, L., Zhang, K., & Li, G. (2012). Nematicidal effect of volatiles produced by *Trichoderma* sp. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 15(4), 647–650. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2012.08.002>
- Yin, Y., Tan, Q., Wu, J., Chen, T., Yang, W., She, Z., & Wang, B. (2023). The Polyketides with Antimicrobial Activities from a Mangrove Endophytic Fungus *Trichoderma lentiforme* ML-P8-2. *Marine Drugs*, 21(11). <https://doi.org/10.3390/md21110566>
- Zhang, J. L., Tang, W. L., Huang, Q. R., Li, Y. Z., Wei, M. L., Jiang, L. L., Liu, C., Yu, X., Zhu, H. W., Chen, G. Z., & Zhang, X. X. (2021). *Trichoderma*: A Treasure House of Structurally Diverse Secondary Metabolites With Medicinal Importance. En *Frontiers in Microbiology* (Vol. 12). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.723828>
- Zhao, D. L., Zhang, X. F., Huang, R. H., Wang, D., Wang, X. Q., Li, Y. Q., Zheng, C. J., Zhang, P., & Zhang, C. S. (2020). Antifungal Nafuredin and Epithiodiketopiperazine Derivatives From the Mangrove-Derived Fungus *Trichoderma harzianum* D13. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01495>

Residuos agroindustriales como plataforma sostenible para la síntesis verde de nanopartículas de plata: Un artículo de revisión

Agroindustrial Waste as a Sustainable Platform for the Green Synthesis of Silver Nanoparticles: A review

Jonatan Valencia-Payan^{1*}, Jhonatan Gutiérrez-Garaviz¹, Sandra Patricia Medina²

¹Grupo de investigación GIDESTH, Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios, Regional Huila, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. jvalenciap@sena.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-7828-2808>.

¹Grupo de investigación GIDESTH, Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios, Regional Huila, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. jgutierrezg@sena.edu.co. <https://orcid.org/0000-0002-6843-146X>.

²Centro de la Industria, la Empresa y los Servicios, Regional Huila, Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA. spmedina@sena.edu.co.

*Autor de correspondencia: jvalenciap@sena.edu.co

Como citar:

Valencia-Payan, J., Gutiérrez-Garaviz, J., & Medina, S. P. (2024). Residuos agroindustriales como plataforma sostenible para la síntesis verde de nanopartículas de plata: Un artículo de revisión. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 10(4), 56-75.



Resumen

Las nanopartículas de plata (AgNPs) son agentes de gran interés por su aplicación en medicina, agricultura y remediación ambiental. Sin embargo, los métodos tradicionales para su síntesis presentan inconvenientes como el uso de productos químicos tóxicos y costos altos. Los residuos de cultivos, como cáscaras de cacao, passifloras, cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, entre otros, son ricos en compuestos bioactivos que pueden actuar como agentes reductores y estabilizadores en la síntesis de AgNPs. Este enfoque “verde” no solo reduce el impacto ambiental, sino que también agrega valor a los residuos. La presente revisión aborda los diferentes tipos de residuos utilizados, los mecanismos de síntesis, las técnicas de caracterización y las aplicaciones de las AgNPs sintetizadas. Se discuten los beneficios

ambientales y económicos, como la reducción de residuos y la creación de productos de valor agregado. Finalmente, se presentan los desafíos y perspectivas futuras de esta área, destacando la necesidad de optimizar los procesos de síntesis y la evaluación de la toxicidad de las AgNPs obtenidas. El uso de residuos agroindustriales para la síntesis verde de AgNPs se presenta como una estrategia prometedora para una nanotecnología más sostenible.

Palabras clave. Nanopartículas de plata, química verde, valorización de residuos, compuestos bioactivos.

Abstract

Silver nanoparticles (AgNPs) are of great interest due to their applications in medicine, agriculture, and environmental remediation. However, traditional synthesis methods have drawbacks, such as the use of toxic chemicals and high costs. Agricultural waste, such as cocoa husks, passion fruit peels, rice husk, sugarcane bagasse, among others, are rich in bioactive compounds that can act as reducing and stabilizing agents in the synthesis of AgNPs. This “green” approach not only reduces environmental impact but also adds value to the waste. This review addresses the different types of residues used, the synthesis mechanisms, characterization techniques, and applications of the synthesized AgNPs. Environmental and economic benefits, such as waste reduction and the creation of value-added products, are discussed. Finally, the challenges and future perspectives of this field are presented, highlighting the need to optimize synthesis processes and evaluate the toxicity of the obtained AgNPs. The use of agro-industrial waste for the green synthesis of AgNPs is presented as a promising strategy for a more sustainable nanotechnology.

Keywords. Silver Nanoparticles, green chemistry, waste valorization, bioactive compounds.

Introducción

La nanotecnología ha emergido como un campo multidisciplinario con un enorme potencial para revolucionar diversos sectores, incluyendo la medicina, la agricultura, la electrónica y la ciencia de los materiales. En este contexto, las nanopartículas de plata (AgNPs) han ganado una atención considerable debido a sus propiedades únicas, como su actividad antimicrobiana de amplio espectro, conductividad eléctrica y propiedades ópticas (Sánchez-López, Gomes, Esteruelas, Bonilla, Laura López-Machado, et al., 2020; Silveira et al., 2022; Thirumurugan et al., 2012). Estas propiedades han impulsado el uso de AgNPs en una amplia gama de aplicaciones, desde la medicina y la agricultura hasta la electrónica y la remediación ambiental (Burduşel et al., 2018; Flores-Contreras et al., 2024a; Sánchez-López, Gomes, Esteruelas, Bonilla, López-Machado, et al., 2020; Syafiuddin et al., 2017; Zhang et al., 2016).

Si bien los métodos tradicionales de síntesis de AgNPs ofrecen un gran potencial en diversas aplicaciones, también presentan desafíos significativos, pues estos métodos suelen ser costosos, demandan altas cantidades de energía y generan residuos tóxicos, lo que plantea serias preocupaciones ambientales y de salud; y a su vez ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles y eficientes para la síntesis de estas partículas (Andreani et al., 2017; Beyene et al., 2017; Calderón-Jiménez et al., 2017; Jorge de Souza et al., 2019; Tortella et al., 2020)

La búsqueda de métodos de síntesis más sostenibles ha impulsado el desarrollo de rutas “verdes” que utilizan sistemas biológicos como plantas, bacterias, hongos, algas, entre otros, para producir nanopartículas, mientras se reduce el uso de productos químicos tóxicos, y se aprovecha la abundancia y el bajo costo de los recursos biológicos (Flores-Contreras et al., 2024a; Khan et al., 2022; Parveen et al., 2016; Rajakumar et al., 2023; Singh et al., 2016; Verma et al., 2019; Virkutyte & Varma, 2013).

En este contexto, los residuos agroindustriales, subproductos generados en grandes cantidades por las industrias agrícolas y de alimentos, han surgido como una materia prima prometedora para la síntesis verde de AgNPs (Ali et al., 2020; Bartolucci et al., 2020; Bastos-Arrieta et al., 2018; Hernández-Díaz et al., 2021; Pal et al., 2019; Peralta-Videa et al., 2016; Silva et al., 2019). Estos residuos son ricos en compuestos bioactivos, como polifenoles, flavonoides y proteínas, que pueden actuar como agentes reductores y estabilizadores en la síntesis de AgNPs (Alarcón et al., 2021; Bastos-Arrieta et al., 2018; Chung et al., 2016; Flores-Contreras et al., 2024a; González-Conde et al., 2023; Wei et al., 2022).

Por otra parte, el departamento del Huila, una región caracterizada por su diversidad agrícola y alta producción de cultivos de café, cacao, plátano, y frutas tropicales entre otros, genera una gran cantidad de residuos agroindustriales que, a menudo, son subutilizados o descartados sin un procesamiento adecuado (Gómez et al., 2020). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, estos residuos representan una fuente valiosa de compuestos bioactivos que podrían ser aprovechados para la síntesis verde de AgNPs, contribuyendo así, no solo a la valorización de estos subproductos, sino también al desarrollo de tecnologías más sostenibles en la región.

Este artículo de revisión tiene como objetivo proporcionar una descripción general del uso de residuos agroindustriales en la síntesis verde de AgNPs, específicamente aquellos de interés para el departamento del Huila. Se examinarán los diferentes tipos de residuos utilizados, los mecanismos de síntesis implicados, las técnicas de caracterización empleadas y las diversas aplicaciones de las AgNPs sintetizadas. Además, se discutirán los beneficios ambientales, así como los desafíos y las perspectivas futuras.

Métodos de síntesis verde de AgNPs a partir de residuos agroindustriales

La síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) es un enfoque ecológicamente amigable que utiliza entidades biológicas como plantas y microorganismos para producir nanopartículas, el cual está alineado con los principios de sostenibilidad y biocompatibilidad, evitando el uso de productos químicos tóxicos que generalmente están involucrados en los métodos de síntesis convencionales (Banerjee & Ravishankar Rai, 2022; Yadav & Tare, 2024). La síntesis verde implica principalmente la reducción de iones de plata a nanopartículas de plata utilizando materiales biológicos, como los extractos de plantas ricos en fitoquímicos, usados comúnmente como agentes reductores y estabilizadores, como son los flavonoides, los terpenoides y los polifenoles, que facilitan la reducción de iones de plata y estabilizan las nanopartículas, eliminando la necesidad de agentes estabilizantes tóxicos (Odongo et al., 2022).

Es importante destacar que la elección del material vegetal puede influir en el tamaño y la funcionalidad de las nanopartículas, siendo las plantas etnobiomédicas como *Azadirachta indica* y *Hibiscus rosa-sinensis* conocidas por producir nanopartículas con propiedades terapéuticas mejoradas (Odongo et al., 2022). Además, los microorganismos también juegan un papel significativo en la síntesis verde de AgNPs, pues estos pueden ser cultivados *In vitro* a gran escala, proporcionando un método rentable y escalable para la producción de nanopartículas (Consolo et al., 2020).

Por otro lado, el mecanismo de síntesis implica la resistencia microbiana a los iones metálicos, resultando en la formación de bio-nanopartículas de varios tamaños y formas (Banerjee & Ravishankar Rai, 2022), en donde los factores claves que influyen el proceso incluyen la temperatura de reacción, el pH y la concentración de iones metálicos, que afectan el tamaño y la aglomeración de las nanopartículas, por lo que es necesario su control para obtener nanopartículas más pequeñas y no aglomeradas, las cuales poseen una mayor actividad microbiana y por ende una mejor efectividad en la administración de fármacos (Backx et al., 2021). A pesar de las ventajas, los desafíos como la aglomeración de partículas y la aparición de resistencia microbiana a las AgNPs deben ser abordados, por lo que en futuras investigaciones debe incluirse la optimización de los parámetros de síntesis y la exploración de terapias combinadas para mejorar la eficacia y estabilidad de las AgNPs en diversas aplicaciones (Backx et al., 2021; Yadav & Tare, 2024).

Residuos agroindustriales utilizados en síntesis de AgNPs

A continuación, se presentan algunos ejemplos de residuos agroindustriales que han sido utilizados con éxito en la síntesis de AgNPs, y que resultan de interés para el sector agroindustrial, así como, se pueden observar en la **Tabla 1**, las principales características de las AgNPs obtenidas mediante reducción biogénica utilizando distintos residuos agroindustriales de interés para el departamento del Huila.

Cáscaras de cacao.

Los compuestos bioactivos presentes en los extractos de cáscaras de vainas de cacao (ECVC), son ricos en polifenoles, flavonoides y otras moléculas bioactivas que influyen significativamente en la morfología y la estabilidad de las AgNPs, siendo crucial en la síntesis biogénica de estas partículas (Belwal et al., 2022; Efavi et al., 2022). Estos compuestos facilitan la reducción de los iones de plata (Ag^+) a plata elemental (Ag^0), lo que lleva a la formación de nanopartículas. Además, la presencia de compuestos fenólicos y flavonoides, confirmada por la espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), indica su implicación en la reducción y estabilización de las AgNPs, proporcionando una capa protectora que mejora la estabilidad de las nanopartículas (Efavi et al., 2022). La morfología de las AgNPs sintetizadas con ECVC está influenciada por los compuestos bioactivos específicos presentes, como es el caso de las bandas de resonancia plasmónica superficial (SPR) observadas en la espectroscopía UV-visible que indican variaciones en el tamaño y la distribución de las partículas, en donde las AgNPs derivadas de la vaina de cacao muestran un SPR de 440 nm, lo que sugiere un tamaño de partícula mayor en comparación con los derivados de las hojas de cacao (Efavi et al., 2022). Los estudios de microscopía electrónica de transmisión (TEM) revelan además que las AgNPs son monodispersas y esféricas, con tamaños que oscilan entre 6 y 18 nm, según la parte específica de la planta de cacao utilizada para la extracción (Thatikayala et al., 2019). Por otra parte, la estabilidad de estas nanopartículas también se ve afectada por los compuestos bioactivos, como se ha evidenciado en AgNPs derivadas de la cáscara de cacao, en donde las mediciones del potencial zeta, que indican la carga superficial y la estabilidad de las nanopartículas, muestran que las AgNPs tienen un potencial zeta de -0,93 mV, lo que sugiere una estabilidad moderada (Efavi et al., 2022). Ahora, los compuestos bioactivos formadores de capas protectoras contribuyen a esta estabilidad al evitar la aglomeración y proporcionar una barrera protectora contra los factores ambientales.

Residuos de café.

Los compuestos bioactivos presentes en los extractos de residuos de café, en particular los restos de café usados (RCU) resultantes de la preparación de café, ya sea por filtración, prensa francesa, o cualquier otro método de preparación, influyen significativamente en la morfología y la estabilidad de las AgNPs a través de su función como agentes reductores y estabilizadores (Flores-Contreras et al., 2024b). Los RCU son ricos en compuestos fenólicos, incluidos los ácidos cafeoilquínicos, que son cruciales para la síntesis ecológica de las AgNPs. Estos compuestos facilitan la reducción de los iones de plata a nanopartículas de plata y proporcionan una capa protectora que estabiliza las nanopartículas, lo que evita la aglomeración y garantiza una distribución de tamaños estrecha (Yust et al., 2022; Zuorro et al., 2022). El proceso de síntesis que utiliza extractos de RCU da como resultado AgNPs altamente cristalinas con una distribución de tamaño estrecha, como lo demuestran técnicas como la dispersión dinámica de luz (DLS), la microscopía electrónica de transmisión (TEM) y la difracción de rayos X (XRD) (Keijok et al., 2019). En condiciones óptimas, las AgNPs producidas tienen un tamaño promedio de aproximadamente 10 nm y muestran un potencial zeta que oscila entre -30,5 y -20,7 mV, lo que indica una buena estabilidad (Zuorro et al., 2022). Por otro lado, la presencia de compuestos fenólicos, en particular los ácidos cafeoilquínicos, mejora las propiedades antioxidantes de las nanopartículas, lo que contribuye a su estabilidad y a sus posibles aplicaciones en diversos campos (Yust et al., 2022). Además, se ha demostrado que el uso de extractos de hojas de café arábica, que son ricos en ácido 5-cafeoilquínico (5-CQA), producen AgNPs altamente estables, pues este compuesto actúa como agente de protección, proporcionando estabilidad y permitiendo que las nanopartículas se utilicen en aplicaciones de detección sensibles, como la detección de L-cisteína, debido a su afinidad por los grupos tiol (Harsha Haridas et al., 2023). Esto pone de manifiesto la versatilidad de los compuestos bioactivos derivados del café a la hora de mejorar las propiedades funcionales de las AgNPs. En general, los compuestos bioactivos de los extractos de residuos del café, en particular los ácidos fenólicos y cafeoilquínicos, desempeñan un papel crucial en la síntesis ecológica de las AgNPs al influir en su morfología y estabilidad, facilitando no solo la reducción y la estabilización de las nanopartículas, sino que también mejora sus propiedades funcionales, lo que las hace adecuadas para diversas aplicaciones, incluidas las actividades biodetectoras y antimicrobianas (Harsha Haridas et al., 2023).

Residuos de pasifloras.

La síntesis de AgNPs utilizando extracto de hoja de maracuyá (*Passiflora edulis*) ha permitido obtener nanopartículas estables y no tóxicas, debido a que los compuestos bioactivos presentes en el extracto actúan como agentes reductores y estabilizantes, como lo evidencia el análisis FTIR (Duraiyarasan et al., 2024). Las micrografías SEM muestran que las AgNPs sintetizadas presentan una morfología predominantemente esférica, y los difractogramas de XRD confirman su estructura cristalina (Duraiyarasan et al., 2024). Estos resultados subrayan el potencial de los extractos de *Passiflora* para la síntesis de nanopartículas con propiedades controladas. De manera similar, los extractos de *Passiflora foetida* han demostrado ser versátiles en la síntesis de AgNPs, debido a que su capacidad de formar ligandos de recubrimiento, que influyen en la morfología y estabilidad de las nanopartículas, está determinada por la presencia de alcanos, grupos aromáticos y compuestos nitro en estos extractos. Estas nanopartículas exhiben una variedad de formas, incluyendo esféricas y hexagonales, con tamaños que van de 40 nm a 100 nm, como lo muestran los estudios de TEM (Palanisamy et al., 2024). La concentración del extracto y las condiciones de síntesis, como la exposición a la luz solar o la temperatura ambiente, influyen significativamente en el tamaño y la forma de las nanopartículas, como lo demuestran los cambios en la resonancia plasmónica superficial (Lade & Patil, 2022; Palanisamy et al., 2024). Además, el análisis FTIR ha identificado grupos funcionales como alcanos, aminas y ácidos carboxílicos como agentes reductores clave, contribuyendo a la estabilidad y actividad antimicrobiana de las AgNPs (Lade & Patil, 2022). Estos resultados subrayan el potencial de los compuestos bioactivos en los extractos de *Passiflora* para la síntesis de nanopartículas con propiedades controladas y aplicaciones biomédicas.

Residuos de viticultura.

Los residuos de uva han demostrado ser una fuente rica en compuestos bioactivos capaces de sintetizar AgNPs con propiedades únicas. Estudios recientes han revelado que compuestos como el ácido oleanólico y los compuestos fenólicos actúan como agentes reductores y estabilizantes, influyendo en el tamaño, forma y estabilidad de las nanopartículas (Baroi et al., 2024; De La Cruz-Puma et al., 2024; Miškovská et al., 2024a; Quynh et al., 2024). Por ejemplo, la cáscara de *Vitis heyneana* ha sido utilizada para sintetizar AgNPs cuasi-esféricas con propiedades antimicrobianas y antioxidantes significativas (Quynh et al., 2024). Asimismo, los extractos de orujo de uva han permitido obtener AgNPs con tamaños de cristal pequeños y propiedades

antioxidantes y antimicrobianas mejoradas (Baroi et al., 2024). Incluso los tallos de uva han sido utilizados para sintetizar AgNPs estables, donde las condiciones de reacción influyen en la morfología y estabilidad de las nanopartículas (De La Cruz-Puma et al., 2024). Además, el extracto etanólico de residuos de poda de *Vitis vinifera* ha dado lugar a AgNPs con una estabilidad excepcional a largo plazo (Miškovská et al., 2024a). Estos resultados subrayan el potencial de los residuos de uva como una fuente sostenible de compuestos bioactivos para la síntesis de AgNPs con propiedades controladas y aplicaciones biomédicas.

Tabla 1.

Características de las AgNPs obtenidas mediante Reducción biogénica utilizando distintos residuos agroindustriales.

Residuo agroindustrial	Componente Bioactivo principal	Estabilidad	Tamaño de las AgNPs (nm)	Aplicaciones	Referencia
Cáscaras de cacao	Compuestos fenólicos y flavonoides	Potencial zeta de -0.93 mV (estabilidad moderada)	6-18	Antimicrobiano	(Efavi et al., 2022; Thatikayala et al., 2019; Belwal et al., 2022)
Residuos de café	Ácidos cafeoilquínicos, compuestos fenólicos	Potencial zeta de -30.5 a -20.7 mV (buena estabilidad)	10	Biosensores, antimicrobianos	(Zuorro et al., 2022; Yust et al., 2022; Haridas et al., 2023)
Residuos de pasifloras	Alcanos, grupos aromáticos, compuestos nitro	Potencial zeta de -1.93 mV (estabilidad moderada)	40 a 100	Biosensores, propiedades antimicrobianas	(Duraiyarasan, P., et al, 2024; Palanisamy, D. S., et al, 2023; Lade, B., & Patil, A., 2022)
Residuos de viticultura	Ácido oleanólico, compuestos fenólicos	Potencial zeta de -28.5 a -20.7 mV (buena estabilidad)	4 a 11	Estabilidad excepcional mantenida por hasta un año, eficacia antimicrobiana y biocompatibilidad	(Quynh, P. H., et al, 2024; Quynh, P. H., et al, 2024; Rosa, M., et al, 2024; Miškovská, A., et al, 2024)

Nota: Elaboración propia.

Caracterización de las AgNPs sintetizadas

Las AgNPs se caracterizan utilizando una variedad de técnicas para comprender sus propiedades estructurales, morfológicas y ópticas, siendo cruciales para determinar el tamaño, la forma y la composición de las nanopartículas, lo que a su vez influye en sus aplicaciones en diversos campos. La Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM) se utiliza con frecuencia para determinar el tamaño y la morfología de las AgNPs, midiendo el tamaño promedio de las partículas de AgNPs sintetizadas mediante un método electroquímico, revelando tamaños que varían de 3.27 nm a 4.23 nm dependiendo de la concentración (Jaimez Layna et al., 2024). De manera similar, el análisis TEM de AgNPs modificadas con lignina mostró tamaños medianos entre 12 y 15 nm, lo que indica alta uniformidad y circularidad (Maršík et al., 2024). La difracción de rayos X (XRD) es otra técnica comúnmente utilizada para analizar la estructura cristalina de las AgNPs, pues los patrones de XRD pueden confirmar la presencia de plata metálica al identificar picos característicos, como los observados a 38.11° y 64.42° en las AgNPs sintetizadas electroquímicamente (Jaimez Layna et al., 2024). La XRD también reveló la estructura cúbica de las AgNPs modificadas con lignina, con información adicional sobre el enlace Ag-O (Maršík et al., 2024). La espectroscopía UV-Vis se utiliza para estudiar las propiedades ópticas de las AgNPs, particularmente su resonancia de plasmón superficial (SPR), que identificó picos de absorción entre 422 nm y 429 nm para las AgNPs, lo que indica sus características ópticas (Jaimez Layna et al., 2024). Además, la SPR es una característica crítica que influye en las aplicaciones de las nanopartículas en detección y catálisis (Khalid et al., 2024). Otras técnicas que se emplean para una mayor caracterización son la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y la Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), en dónde, FTIR ayuda a comprender las interacciones químicas y los grupos funcionales presentes en la superficie de la nanopartícula, como se observó en las AgNPs sintetizadas utilizando extracto de *Mentha spicata* L., y SEM proporciona detalles morfológicos adicionales que complementan los hallazgos de TEM (Khalid et al., 2024; Tosun & Özgür, 2024). Estos métodos de caracterización proporcionan colectivamente una comprensión integral de las AgNPs, permitiendo su aplicación personalizada en campos como la medicina, la electrónica y la ciencia ambiental (Tosun & Özgür, 2024). La integración de estas técnicas asegura un análisis robusto de las AgNPs, facilitando su uso efectivo en diversos dominios tecnológicos.

Aplicaciones de las AgNPs sintetizadas a partir de residuos agroindustriales

La síntesis de AgNPs a partir de residuos agrícolas y agroindustriales representa una estrategia sostenible y versátil con amplias aplicaciones en los sectores biomédico y ambiental. Por ejemplo, las AgNPs derivadas de la cáscara de *Pithecellobium dulce* han demostrado poseer potentes propiedades antibacterianas, antioxidantes y anticancerígenas (Suriyakala et al., 2024). De manera similar, las AgNPs sintetizadas a partir de *Pittosporum undulatum* han mostrado eficacia contra bacterias y larvas de mosquitos, además de ser biocompatibles (Narayanan et al., 2024). En el ámbito vitivinícola, las AgNPs derivadas de residuos han demostrado ser agentes antimicrobianos efectivos y biocompatibles (Miškovská et al., 2024b).

Más allá de las aplicaciones biomédicas, las AgNPs sintetizadas a partir de residuos agroindustriales han mostrado un gran potencial en el tratamiento de aguas residuales ya que su capacidad catalítica facilita la degradación de colorantes orgánicos, abordando un problema ambiental relevante (Rani et al., 2024). Además, estas nanopartículas han sido incorporadas en compuestos de celulosa para mejorar las propiedades térmicas y mecánicas de dispositivos electrónicos, ampliando así sus aplicaciones (Devarajan et al., 2024).

En resumen, la síntesis verde de AgNPs a partir de residuos agroindustriales ofrece una alternativa sostenible y eficiente para obtener nanopartículas multifuncionales con aplicaciones prometedoras en diversos campos, desde la salud hasta el medio ambiente y la electrónica.

Desafíos y perspectivas futuras

La síntesis de AgNPs utilizando residuos agroindustriales presenta tanto desafíos como perspectivas futuras prometedoras, siendo este enfoque, parte de una tendencia más amplia hacia la producción sostenible y ecológica de nanopartículas, aprovechando la abundancia y el bajo costo de materiales de desecho agrícola como tallos, hojas, semillas y bagazo (Bartolucci et al., 2020; Flores-Contreras et al., 2024b). La síntesis verde de AgNPs a través de métodos mediados por plantas se destaca por su simplicidad y su reducido impacto ambiental en comparación con los métodos químicos convencionales. Uno de los principales desafíos en el uso de residuos agroindustriales para la síntesis de AgNPs es la variabilidad en la composición del material crudo, lo cual puede afectar la consistencia y calidad de las nanopartículas producidas, dado que

esta variabilidad requiere de un control cuidadoso de los parámetros de síntesis, como la temperatura, el pH y las concentraciones de reactivos, para lograr las propiedades deseadas de las nanopartículas (Flores-Contreras et al., 2024b; Mülhopt et al., 2018; Pantoja & Coral, 2018; Souto et al., 2020). Además, es necesario abordar problemas relacionados con la homogeneización y el rendimiento de las nanopartículas, así como su posible toxicidad, para asegurar una aplicación segura, especialmente en áreas sensibles como la conservación de alimentos. A pesar de estos desafíos, el uso de residuos agroindustriales para la síntesis de AgNPs ofrece beneficios significativos, como el bajo consumo de energía y la rentabilidad, además de que las nanopartículas resultantes exhiben propiedades valiosas, como la actividad antimicrobiana, que pueden aprovecharse en aplicaciones como la conservación de alimentos y la acuicultura, donde ayudan a manejar infecciones patógenas y mejorar la calidad del agua (Hernández-Díaz et al., 2021; Sánchez-López, Gomes, Esteruelas, Bonilla, López-Machado, et al., 2020; Torres-Giner et al., 2020). La investigación futura debe centrarse en optimizar los métodos de síntesis para mejorar la estabilidad y funcionalidad de las AgNPs, así como en desarrollar protocolos de seguridad integrales para mitigar los posibles riesgos para la salud humana y el medio ambiente. En conclusión, aunque la síntesis de AgNPs a partir de residuos agroindustriales enfrenta desafíos relacionados con la variabilidad del material y la seguridad, tiene un considerable potencial para la producción sostenible de nanopartículas, por lo que la continua investigación y desarrollo en esta área podría conducir a aplicaciones más amplias y a la mejora de los estándares de seguridad, desbloqueando todo el potencial de las AgNPs en diversas industrias.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia ni relaciones personales conocidas que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este documento en este artículo.

Agradecimientos

Los autores brindan su continuo reconocimiento y agradecimiento al Sistema de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico del SENA, SENNOVA, por financiar este artículo de investigación mediante el proyecto SGPS-12425-2024.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, H., Tolmos, M., Villacrés, N., & Huarote, E. (2021). Química verde-Una alternativa eco-amigable en la obtención de nanopartículas de Ag⁰. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(3), 298-306. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.354>
- Ali, Md. A., Ahmed, T., Wu, W., Hossain, A., Hafeez, R., Islam Masum, Md. M., Wang, Y., An, Q., Sun, G., & Li, B. (2020). Advancements in Plant and Microbe-Based Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Antimicrobial Activity against Plant Pathogens. *Nanomaterials*, 10(6), 1146. <https://doi.org/10.3390/nano10061146>
- Andreani, T., Nogueira, V., Pinto, V. V., Ferreira, M. J., Rasteiro, M. G., Silva, A. M., Pereira, R., & Pereira, C. M. (2017). Influence of the stabilizers on the toxicity of metallic nanomaterials in aquatic organisms and human cell lines. *Science of The Total Environment*, 607–608, 1264–1277. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.098>
- Backx, B. P., dos Santos, M. S., dos Santos, O. A. L., & Filho, S. A. (2021). The Role of Biosynthesized Silver Nanoparticles in Antimicrobial Mechanisms. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 22(6), 762–772. <https://doi.org/10.2174/1389201022666210202143755>
- Banerjee, K., & Ravishankar Rai, V. (2022). Silver nanoparticles synthesis mechanisms. En *Green Synthesis of Silver Nanomaterials* (pp. 607–625). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824508-8.00025-3>
- Baroi, A. M., Fierascu, I., Ghizdareanu, A.-I., Trica, B., Fistos, T., Matei (Brazdis), R. I., Fierascu, R. C., Firinca, C., Sardaescu, I. D., & Avramescu, S. M. (2024). Green Approach for Synthesis of Silver Nanoparticles with Antimicrobial and Antioxidant Properties from Grapevine Waste Extracts. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(8), 4212. <https://doi.org/10.3390/ijms25084212>
- Bartolucci, C., Antonacci, A., Arduini, F., Moscone, D., Fraceto, L., Campos, E., Attaallah, R., Amine, A., Zanardi, C., Cubillana-Aguilera, L. M., Palacios Santander, J. M., & Scognamiglio, V. (2020). Green nanomaterials fostering agrifood sustainability. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 125, 115840. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115840>
- Bastos-Arrieta, J., Florido, A., Pérez-Ràfols, C., Serrano, N., Fiol, N., Poch, J., & Villaescusa, I. (2018). Green Synthesis of Ag Nanoparticles Using Grape Stalk Waste Extract for the Modification of Screen-Printed Electrodes. *Nanomaterials*, 8(11), 946. <https://doi.org/10.3390/nano8110946>

- Belwal, T., Cravotto, C., Ramola, S., Thakur, M., Chemat, F., & Cravotto, G. (2022). Bioactive Compounds from Cocoa Husk: Extraction, Analysis and Applications in Food Production Chain. *Foods*, 11(6), 798. <https://doi.org/10.3390/foods11060798>
- Beyene, H. D., Werkneh, A. A., Bezabh, H. K., & Ambaye, T. G. (2017). Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs), a review. *Sustainable Materials and Technologies*, 13, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.08.001>
- Burduşel, A.-C., Gherasim, O., Grumezescu, A. M., Mogoantă, L., Fikai, A., & Andronescu, E. (2018). Biomedical Applications of Silver Nanoparticles: An Up-to-Date Overview. *Nanomaterials*, 8(9), 681. <https://doi.org/10.3390/nano8090681>
- Calderón-Jiménez, B., Johnson, M. E., Montoro Bustos, A. R., Murphy, K. E., Winchester, M. R., & Vega Baudrit, J. R. (2017). Silver Nanoparticles: Technological Advances, Societal Impacts, and Metrological Challenges. *Frontiers in Chemistry*, 5. <https://doi.org/10.3389/fchem.2017.00006>
- Chung, I.-M., Park, I., Seung-Hyun, K., Thiruvengadam, M., & Rajakumar, G. (2016). Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles: Their Characteristic Properties and Therapeutic Applications. *Nanoscale Research Letters*, 11(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1257-4>
- Consolo, V. F., Torres-Nicolini, A., & Alvarez, V. A. (2020). Mycosinthesized Ag, CuO and ZnO nanoparticles from a promising *Trichoderma harzianum* strain and their antifungal potential against important phytopathogens. *Scientific Reports* 2020 10:1, 10(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77294-6>
- De La Cruz-Puma, R. M., Vega-Chacón, J., Raúl Jauja-Ccana, V., Villa, J. E. L., & La Rosa-Toro, A. (2024). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using grape stalk extract. *Journal of Molecular Liquids*, 403, 124927. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2024.124927>
- Devarajan, M. M., Kumaraguruparan, G., Nagarajan, K. J., & Vignesh, C. (2024). Production of hybrid AgNPs - TEMPO-mediated oxidation cellulose composite from jackfruit peduncle agro-waste and its thermal management application in electronic devices. *International Journal of Biological Macromolecules*, 254, 127848. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127848>
- Duraiyaran, P., Subramaniyan, P., Melvin, A., Siva, G., Venkatesh, S., & Rafi, K. M. (2024). Facile Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Passiflora edulis* and Its Efficacy Against the Breast Cancer Cell Line. En *Biotechnology of Medicinal Plants with Antiallergy Properties* (pp. 251–264). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-1467-4_9

- Efavi, J. K., Nyankson, E., Kyeremeh, K., Manu, G. P., Asare, K., & Yeboah, N. (2022). Monodispersed AgNPs Synthesized from the Nanofactories of Theobroma cacao (Cocoa) Leaves and Pod Husk and Their Antimicrobial Activity. *International Journal of Biomaterials*, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/4106558>
- Flores-Contreras, E. A., González-González, R. B., Pablo Pizaña-Aranda, J. J., Parra-Arroyo, L., Rodríguez-Aguayo, A. A., Iñiguez-Moreno, M., González-Meza, G. M., Araújo, R. G., Ramírez-Gamboa, D., Parra-Saldívar, R., & Melchor-Martínez, E. M. (2024a). Agricultural waste as a sustainable source for nanoparticle synthesis and their antimicrobial properties for food preservation. *Frontiers in Nanotechnology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnano.2024.1346069>
- Flores-Contreras, E. A., González-González, R. B., Pablo Pizaña-Aranda, J. J., Parra-Arroyo, L., Rodríguez-Aguayo, A. A., Iñiguez-Moreno, M., González-Meza, G. M., Araújo, R. G., Ramírez-Gamboa, D., Parra-Saldívar, R., & Melchor-Martínez, E. M. (2024b). Agricultural waste as a sustainable source for nanoparticle synthesis and their antimicrobial properties for food preservation. *Frontiers in Nanotechnology*, 6, 1346069. <https://doi.org/10.3389/FNANO.2024.1346069/BIBTEX>
- Gómez, D., Investigación, M. G.-E. S. De, & 2020, undefined. (2020). Los cultivos agrícolas en el Huila: Análisis de cambios y tendencias. *journalusco.edu.co*, 5(1), 89–103. <https://www.journalusco.edu.co/index.php/erasmus/article/view/2489>
- González-Conde, M., Vega, J., López-Figueroa, F., García-Castro, M., Moscoso, A., Sarabia, F., & López-Romero, J. M. (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Its Combination with Pyropia columbina (Rhodophyta) Extracts for a Cosmeceutical Application. *Nanomaterials*, 13(6), 1010. <https://doi.org/10.3390/nano13061010>
- Harsha Haridas, E. S., Bhattacharya, S., Varma, M. K. R., & Chandra, G. K. (2023). Bioinspired 5-caffeoylquinic acid capped silver nanoparticles using Coffee arabica leaf extract for high-sensitive cysteine detection. *Scientific Reports*, 13(1), 8651. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-34944-9>
- Hernández-Díaz, J. A., Garza-García, J. J. O., Zamudio-Ojeda, A., León-Morales, J. M., López-Velázquez, J. C., & García-Morales, S. (2021). Plant-mediated synthesis of nanoparticles and their antimicrobial activity against phytopathogens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(4), 1270–1287. <https://doi.org/10.1002/JSFA.10767>
- Jaimez Layna, G., Mejía García, C., Díaz Valdés, E., Guillén Cervantes, Á., Rojas Morales, M. de L., Avendaño Ibarra, M., Bautista Ramírez, M. E., & Lozano Rojas, K. J. (2024). Synthesis and characterization of silver nanoparticles by electrochemical

- method. *Materials Express*, 14(7), 1072–1077. <https://doi.org/10.1166/mex.2024.2715>
- Jorge de Souza, T. A., Rosa Souza, L. R., & Franchi, L. P. (2019). Silver nanoparticles: An integrated view of green synthesis methods, transformation in the environment, and toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.095>
- Keijok, W. J., Pereira, R. H. A., Alvarez, L. A. C., Prado, A. R., da Silva, A. R., Ribeiro, J., de Oliveira, J. P., & Guimarães, M. C. C. (2019). Controlled biosynthesis of gold nanoparticles with *Coffea arabica* using factorial design. *Scientific Reports* 2019 9:1, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52496-9>
- Khalid, Z., Javed, A., Alyas, T., Shaheen, S., Nazish, M., Khalid, R., Obaid, S. Al, Ansari, M. J., & Kamal, A. (2024). Biosynthesis, structural characterization of silver nanoparticles synthesized using an eco-friendly method with *Mentha spicata* L. extract and their antimicrobial activity and toxicological risk assessment. *Results in Chemistry*, 7, 101487. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101487>
- Khan, F., Shariq, M., Asif, M., Siddiqui, M. A., Malan, P., & Ahmad, F. (2022). Green Nanotechnology: Plant-Mediated Nanoparticle Synthesis and Application. *Nanomaterials*, 12(4), 673. <https://doi.org/10.3390/nano12040673>
- Lade, B., & Patil, A. (2022). Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized Using Leaf Extract of *Passiflora Foetida* Linn. *Journal of Sustainable Materials Processing and Management*, 2(2). <https://doi.org/10.30880/jsmpm.2022.02.02.008>
- Maršík, D., Thoresen, P. P., Maťátková, O., Masák, J., Sialini, P., Rova, U., Tsikourkitoudi, V., Christakopoulos, P., Matsakas, L., & Jarošová Kolouchová, I. (2024). Synthesis and Characterization of Lignin-Silver Nanoparticles. *Molecules*, 29(10), 2360. <https://doi.org/10.3390/molecules29102360>
- Miškovská, A., Michailidu, J., Kolouchová, I. J., Barone, L., Gornati, R., Montali, A., Tettamanti, G., Berini, F., Marinelli, F., Masák, J., Čejková, A., & Maťátková, O. (2024a). Biological activity of silver nanoparticles synthesized using viticultural waste. *Microbial Pathogenesis*, 190, 106613. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106613>
- Miškovská, A., Michailidu, J., Kolouchová, I. J., Barone, L., Gornati, R., Montali, A., Tettamanti, G., Berini, F., Marinelli, F., Masák, J., Čejková, A., & Maťátková, O. (2024b). Biological activity of silver nanoparticles synthesized using viticultural waste. *Microbial Pathogenesis*, 190, 106613. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106613>

- Mülhopt, S., Diabaté, S., Dilger, M., Adelhelm, C., Anderlohr, C., Bergfeldt, T., de la Torre, J. G., Jiang, Y., Valsami-Jones, E., Langevin, D., Lynch, I., Mahon, E., Nelissen, I., Piella, J., Puntos, V., Ray, S., Schneider, R., Wilkins, T., Weiss, C., & Paur, H. R. (2018). Characterization of Nanoparticle Batch-To-Batch Variability. *Nanomaterials* 2018, Vol. 8, Page 311, 8(5), 311. <https://doi.org/10.3390/NANO8050311>
- Narayanan, M., Alshiekheid, M. A., & Saravanan, M. (2024). Antibacterial, mosquito larvicidal, and cytotoxicity potential of AgNPs synthesized using *Pittosporum undulatum* under in vitro conditions. *Environmental Research*, 260, 119585. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.119585>
- Odongo, S. A., Lugasi, S. O., Okumu, F. O., Onani, M. O., Lagat, S. C., & Agong, S. G. (2022). Biogenically Synthesized Silver/Gold Nanoparticles, Mechanism and their Applications: A Review. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 1–18. <https://doi.org/10.9734/ajocs/2022/v11i219116>
- Pal, G., Rai, P., & Pandey, A. (2019). Green synthesis of nanoparticles: A greener approach for a cleaner future. En *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles* (pp. 1–26). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00001-0>
- Palanisamy, D. S., Gounder, B. S., Selvaraj, K., Kandhasamy, S., Alqahtani, T., Alqahtani, A., Chidambaram, K., Arunachalam, K., Alkahtani, A. M., Chandramoorthy, H. C., Sharma, N., Rajeshkumar, S., & Marwaha, L. (2024). Synergistic antibacterial and mosquitocidal effect of *Passiflora foetida* synthesized silver nanoparticles. *Brazilian Journal of Biology*, 84. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.263391>
- Pantoja, K. A. T., & Coral, D. F. (2018). Temperature Controller for a Nanoparticle Synthesis System. *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ANDESCON.2018.8564577>
- Parveen, K., Banse, V., & Ledwani, L. (2016). *Green synthesis of nanoparticles: Their advantages and disadvantages*. 020048. <https://doi.org/10.1063/1.4945168>
- Peralta-Videa, J. R., Huang, Y., Parsons, J. G., Zhao, L., López-Moreno, L., Hernández-Viezcás, J. A., & Gardea-Torresdey, J. L. (2016). Plant-based green synthesis of metallic nanoparticles: scientific curiosity or a realistic alternative to chemical synthesis? *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s41204-016-0004-5>
- Quynh, P. H., Ninh, T. T. T., Tinh, N. Q., Van Thu, N., Van Thanh, D., Nguyen, D. D., Thanh Hai, C., & Tam, K. T. (2024). *Vitis heyneana* extract mediated synthesis of silver nanoparticles with high bioactive and colorimetric sensing properties. *Materials Research Express*, 11(7), 075002. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad5c2f>

- Rajakumar, G., Sudha, P. N., & Thiruvengadam, M. (2023). Synthesis, Bioactivity Evaluation and Application of Plant-Based Nanoparticles. *Molecules*, 28(12), 4783. <https://doi.org/10.3390/molecules28124783>
- Rani, G., Bala, A., Ahlawat, R., Nunach, A., & Chahar, S. (2024). Recent Advances in Synthesis of AgNPs and Their Role in Degradation of Organic Dyes. *Comments on Inorganic Chemistry*, 1–29. <https://doi.org/10.1080/02603594.2024.2312394>
- Sánchez-López, E., Gomes, D., Esteruelas, G., Bonilla, L., Laura López-Machado, A., Galindo, R., Cano, A., Espina, M., Ettcheto, M., Camins, A., Silva, A. M., Durazzo, A., Santini, A., García, M. L., & Souto, E. B. (2020). Metal-based nanoparticles as antimicrobial agents: an overview. *mdpi.com* E Sánchez-López, D Gómez, G Esteruelas, L Bonilla, AL López-Machado, R Galindo *Nanomaterials*, 2020•mdpi.com, 10, 292. <https://doi.org/10.3390/nano10020292>
- Sánchez-López, E., Gomes, D., Esteruelas, G., Bonilla, L., López-Machado, A. L., Galindo, R., Cano, A., Espina, M., Ettcheto, M., Camins, A., Silva, A. M., Durazzo, A., Santini, A., García, M. L., & Souto, E. B. (2020). Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview. *Nanomaterials 2020, Vol. 10, Page 292, 10(2)*, 292. <https://doi.org/10.3390/NANO10020292>
- Silva, L. P., Pereira, T. M., & Bonatto, C. C. (2019). Frontiers and perspectives in the green synthesis of silver nanoparticles. En *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles* (pp. 137–164). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102579-6.00007-1>
- Silveira, R., Angioletto, E., Arcaro, S., & Gomes, T. (2022). Nanopartículas de prata: síntese, atividade antibacteriana e comparativo com um desinfetante comum. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, 19, e2638. <https://doi.org/10.4322/2176-1523.20222638/PDF/TMM-19-E2638.PDF>
- Singh, P., Kim, Y.-J., Zhang, D., & Yang, D.-C. (2016). Biological Synthesis of Nanoparticles from Plants and Microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588–599. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2016.02.006>
- Souto, E. B., Silva, G. F., Dias-ferreira, J., Zielinska, A., Ventura, F., Durazzo, A., Lucarini, M., Novellino, E., & Santini, A. (2020). Nanopharmaceutics: Part II—Production Scales and Clinically Compliant Production Methods. *Nanomaterials 2020, Vol. 10, Page 455, 10(3)*, 455. <https://doi.org/10.3390/NANO10030455>
- Suriyakala, G., Sathiyaraj, S., Paranthaman, U. G., Velmurugan, R., Jayashan, S. S., Babujanarthanam, R., Tungphatthong, C., & Sukrong, S. (2024). Agro-waste mediated silver nanoparticles from *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth

- fruit peel and their multifaceted biomedical applications. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 38, 101189. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101189>
- Syafiuddin, A., Salmiati, Salim, M. R., Beng Hong Kueh, A., Hadibarata, T., & Nur, H. (2017). A Review of Silver Nanoparticles: Research Trends, Global Consumption, Synthesis, Properties, and Future Challenges. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(7), 732–756. <https://doi.org/10.1002/jccs.201700067>
- Thatikayala, D., Jayarambabu, N., Banothu, V., Ballipalli, C. B., Park, J., & Rao, K. V. (2019). Biogenic synthesis of silver nanoparticles mediated by Theobroma cacao extract: enhanced antibacterial and photocatalytic activities. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(18), 17303–17313. <https://doi.org/10.1007/s10854-019-02077-3>
- Thirumurugan, G., Dhanaraju, M. D., Thirumurugan, G., & Dhanaraju, M. D. (2012). Silver Nanoparticles: Real Antibacterial Bullets. *Antimicrobial Agents*. <https://doi.org/10.5772/32450>
- Torres-Giner, S., Prieto, C., & Lagaron, J. M. (2020). Nanomaterials to Enhance Food Quality, Safety, and Health Impact. *Nanomaterials 2020, Vol. 10, Page 941, 10(5)*, 941. <https://doi.org/10.3390/NANO10050941>
- Tortella, G. R., Rubilar, O., Durán, N., Diez, M. C., Martínez, M., Parada, J., & Seabra, A. B. (2020). Silver nanoparticles: Toxicity in model organisms as an overview of its hazard for human health and the environment. *Journal of Hazardous Materials*, 390, 121974. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121974>
- Tosun, N. G., & Özgür, A. (2024). Synthesis methods and characterization parameters of silver nanoparticles. En *Silver Nanoparticles for Drug Delivery* (pp. 39–65). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15343-3.00005-X>
- Verma, A., Gautam, S. P., Bansal, K. K., Prabhakar, N., & Rosenholm, J. M. (2019). Green Nanotechnology: Advancement in Phytoformulation Research. *Medicines*, 6(1), 39. <https://doi.org/10.3390/medicines6010039>
- Virkutyte, J., & Varma, R. S. (2013). *Green Synthesis of Nanomaterials: Environmental Aspects* (pp. 11–39). <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1124.ch002>
- Wei, S., Hao, M., Tang, Z., Zhou, T., Zhao, F., & Wang, Y. (2022). Non-medicinal parts of safflower (bud and stem) mediated sustainable green synthesis of silver nanoparticles under ultrasonication: optimization, characterization, antioxidant, antibacterial and anticancer potential. *RSC Advances*, 12(55), 36115–36125. <https://doi.org/10.1039/D2RA06414F>
- Yadav, J., & Tare, H. (2024). Silver Nanoparticles as Antimicrobial Agents: Mechanisms, Challenges, and Applications. *INTERNATIONAL JOURNAL OF*

PHARMACEUTICAL QUALITY ASSURANCE, 15(01), 546–553. <https://doi.org/10.25258/ijpqa.15.1.82>

Yust, B. G., Rao, N. Z., Schwarzmann, E. T., & Peoples, M. H. (2022). Quantification of Spent Coffee Ground Extracts by Roast and Brew Method, and Their Utility in a Green Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles. *Molecules*, 27(16), 5124. <https://doi.org/10.3390/molecules27165124>

Zhang, X.-F., Liu, Z.-G., Shen, W., & Gurunathan, S. (2016). Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(9), 1534. <https://doi.org/10.3390/ijms17091534>

Zuorro, A., Iannone, A., Miglietta, S., & Lavecchia, R. (2022). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Spent Coffee Ground Extracts: Process Modelling and Optimization. *Nanomaterials*, 12(15), 2597. <https://doi.org/10.3390/nano12152597>