



Síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando extracto de *Rosmarinus officinalis* y evaluación de su efecto conservante en *Malus domestica*

Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using *Rosmarinus officinalis* extract and evaluation of their preservative effect on *Malus domestica*

 Viviana Lorena Sánchez Vásquez^{1*},  Yessenia Beatriz Sarango Ortega¹,
 José Humberto Vera Rodríguez²

¹Universidad Estatal de Milagro. Cdla Universitaria Dr. Rómulo Minchala Murillo - Km 1.5 vía Milagro - Virgen de Fátima, Milagro, Guayas, Ecuador, 091050.

²Universidad Agraria del Ecuador UAE. Vía Puerto Marítimo - Avenida 25 de Julio y Pío Jaramillo (Campus principal) Guayaquil, Guayas, Ecuador, 091307.

RESUMEN: La síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando extractos vegetales constituye una alternativa sostenible para aplicaciones en conservación de alimentos. En este estudio se empleó extracto acuoso y etanólico de *Rosmarinus officinalis* como agente reductor y estabilizante para la obtención de AgNPs, las cuales fueron caracterizadas mediante espectroscopía UV-Vis, obteniendo picos de resonancia plasmónica entre 415 y 443 nm. Los extractos revelaron la presencia de metabolitos fitoquímicos clave, polifenoles, flavonoides, taninos y saponinas que favorecieron la formación y estabilidad de las nanopartículas. La actividad antimicrobiana, evaluada por difusión en disco contra *Escherichia coli* ATCC 25922, mostró halos de inhibición superiores en las formulaciones basadas en extracto etanólico, evidenciando un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos y las AgNPs. En la aplicación pos cosecha sobre manzanas (*Malus domestica*), las nanopartículas contribuyeron a reducir el pardeamiento, la pérdida de firmeza y el deterioro microbiano durante 15 días de almacenamiento. Estos resultados confirman el potencial del sistema extracto AgNPs como alternativa natural y funcional para la preservación de frutas frescas, promoviendo tecnologías poscosecha más seguras y sostenibles.

Palabras clave: conservación poscosecha, actividad antimicrobiana, fitoquímicos.

ABSTRACT: Green synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using plant extracts represents a sustainable approach for food preservation applications. In this study, aqueous and ethanolic extracts of *Rosmarinus officinalis* were employed as reducing and stabilizing agents for the formation of AgNPs, which were characterized by UV-Vis spectroscopy, showing surface plasmon resonance peaks between 415 and 443 nm. Phytochemical screening confirmed the presence of key bioactive metabolites, polyphenols, flavonoids, tannins, and saponins that supported nanoparticle formation and stability. Antimicrobial activity, assessed through disk diffusion against *Escherichia coli* ATCC 25922, revealed larger inhibition zones in ethanolic formulations, indicating a synergistic effect between extract constituents and AgNPs. When applied to *Malus domestica* fruits, the hybrid extract AgNPs system effectively reduced browning, firmness loss, and microbial deterioration during 15 days of storage. These findings highlight the potential of naturally derived AgNPs as a functional and sustainable alternative for extending the shelf life of fresh fruits and enhancing postharvest preservation technologies.

Key words: green synthesis, postharvest preservation, antimicrobial activity, phytochemicals.

*Autor para correspondencia: vsanchezv@unemi.edu.ec

Recibido: 09/07/2025

Aceptado: 25/10/2025

Conflicto de intereses. Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Viviana Sánchez-Vásquez, José Humberto Vera-Rodríguez. **Investigación:** Viviana Sánchez-Vásquez, Yessenia Beatriz Sarango Ortega. **Supervisión:** Viviana Sánchez-Vásquez, Yessenia Beatriz Sarango Ortega. **Escritura del Borrador:** Viviana Sánchez-Vásquez, Yessenia Beatriz Sarango Ortega. **Escritura y edición final y curación de datos:** José Humberto Vera Rodríguez.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas naturales para la conservación de alimentos frescos ha adquirido una relevancia creciente en los últimos años, impulsada por la demanda de productos de “etiqueta limpia” y por la preocupación global respecto al aumento de microorganismos resistentes a tratamientos antimicrobianos convencionales (1). Esta problemática ha motivado el interés por matrices bioactivas de origen vegetal, reconocidas por su seguridad, disponibilidad y compatibilidad con sistemas alimentarios. Entre ellas, el romero (*Rosmarinus officinalis*) destaca por su elevado contenido de metabolitos secundarios polifenoles, flavonoides y terpenoides asociados a actividades antioxidantes y antimicrobianas ampliamente documentadas (2). Estas características hacen de esta especie una fuente prometedora para el desarrollo de agentes funcionales orientados a la preservación de frutas y hortalizas. Paralelamente, los avances en nanotecnología han permitido generar materiales con propiedades antimicrobianas significativamente superiores a las de sus equivalentes convencionales. Las nanopartículas de plata (AgNPs) son particularmente relevantes debido a su capacidad para interactuar con membranas celulares, proteínas estructurales y componentes intracelulares esenciales, provocando alteraciones en procesos metabólicos críticos de bacterias y hongos (3). No obstante, los métodos tradicionales de síntesis de nanopartículas como la reducción química con borohidruro de sodio, la síntesis por citrato o la pirólisis de sales metálicas suelen implicar el uso de reactivos tóxicos, altas temperaturas o la generación de subproductos ambientalmente perjudiciales, lo que limita su aplicación directa en matrices comestibles (4). En este contexto, la síntesis verde basada en extractos de plantas constituye una estrategia sostenible que permite obtener nanopartículas mediante mecanismos biológicos de reducción y estabilización, evitando el empleo de sustancias peligrosas y reduciendo el impacto ambiental del proceso (4). Los compuestos fitoquímicos presentes en extractos vegetales no solo facilitan la formación de nanopartículas, sino que además aportan propiedades bioactivas adicionales, generando sistemas híbridos de interés para la conservación poscosecha. La combinación de AgNPs con extractos ricos en polifenoles puede potenciar la actividad antimicrobiana y antioxidante del material resultante, favoreciendo su aplicación como recubrimiento natural para productos frutales altamente perecibles. Las manzanas frescas (*Malus domestica*) presentan una susceptibilidad marcada al deterioro fisiológico y microbiano durante el almacenamiento, manifestado a través de procesos como pardeamiento, pérdida de firmeza y colonización por bacterias ambientales. Estos factores representan un desafío para la cadena de distribución y comercialización. La incorporación de agentes bioactivos en forma de películas, recubrimientos o suspensiones aplicadas superficialmente ha demostrado potencial para extender su vida útil, especialmente cuando combinan mecanismos antioxidantes y de inhibición microbiana (5).

En este marco, el uso de nanopartículas obtenidas mediante síntesis verde surge como una alternativa prometedora para el control de patógenos como *Escherichia coli*, un microorganismo de importancia en inocuidad alimentaria. La articulación de extractos vegetales con nanopartículas metálicas permite explorar nuevas vías para mejorar la estabilidad, funcionalidad y desempeño antimicrobiano de los conservantes naturales, reduciendo la dependencia de aditivos sintéticos e incorporando principios alineados con la sostenibilidad. El análisis integral de estos sistemas híbridos posibilita identificar su capacidad para mitigar el deterioro microbiano y fisiológico en productos frescos, contribuyendo al desarrollo de tecnologías poscosecha más seguras, eficientes y ambientalmente responsables.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales vegetales, frutícolas y reactivos

Las hojas frescas de *Rosmarinus officinalis* se adquirieron en el mercado “La Dolorosa” (Milagro, Ecuador), seleccionando únicamente material con coloración verde uniforme, sin necrosis ni signos de daño mecánico. El material vegetal fue transportado en contenedores térmicos a 4 °C y procesado dentro de las dos horas posteriores a su adquisición. Las manzanas (*Malus domestica* variedad “Anna”) se obtuvieron en el supermercado Tía (Babahoyo, Ecuador) y se seleccionaron por uniformidad de tamaño (145-165 g), firmeza ≥ 70 N medida con un penetrómetro FruitTest FT-327, madurez uniforme y ausencia de recubrimientos, verificada mediante prueba de solubilidad en agua caliente (60 °C, 30 s). Se emplearon nitrato de plata (AgNO₃, 99.8 %, Loba Chemie®), hipoclorito de sodio (Merck®), etanol al 96 % (Quifatex®), reactivos para análisis fitoquímico (Sigma-Aldrich®) y medios de cultivo Mueller-Hinton Agar (Oxoid®) y agar nutritivo BD Difco™. El material de vidrio Pyrex®, tubos Falcon® y discos Whatman No. 1 fueron esterilizados en autoclave Tomy SX-500E.

Preparación del extracto de *Rosmarinus officinalis*

Las hojas fueron lavadas con agua potable y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 0.1 % durante 10 minutos, realizándose posteriormente tres enjuagues con agua destilada estéril. El material vegetal se trituró con un molinillo eléctrico Oster® 600 W hasta obtener partículas de 1-3 mm. Para la primera decocción, se calentaron 150 g del material triturado con 300 mL de agua destilada en un baño María Memmert WNB14 a 95 ± 2 °C durante 25 minutos. La mezcla se filtró en caliente con gasa estéril. A continuación, se añadieron 150 g adicionales de hojas trituradas al filtrado y se repitió el proceso de decocción. El extracto combinado se concentró en placa calefactora Thermo Scientific™ Cimatec+ a 60 °C durante 20-25 minutos hasta alcanzar un volumen final de 150 mL, y se almacenó en frascos ámbar Schott® a 4 °C por un máximo de 48 horas.

Síntesis verde de nanopartículas de plata

La síntesis de AgNPs se realizó mezclando 50 mL del extracto vegetal concentrado con 50 mL de una solución acuosa de AgNO_3 a 0.02 M en un matraz Erlenmeyer estéril. La reacción se mantuvo a 60 °C bajo agitación magnética a 400 rpm durante 45 minutos. La formación de nanopartículas se evidenció por el cambio de coloración de amarillo pálido a pardo-rojizo. La suspensión resultante se filtró con papel Whatman No. 1 y se almacenó a 4 °C hasta su caracterización.

Caracterización espectroscópica (UV-Vis)

La caracterización se realizó en un espectrofotómetro Shimadzu UV-1900i. Se colocaron 2 mL de la suspensión de AgNPs en cubetas de cuarzo Hellma Analytics®, efectuando un barrido espectral de 200 a 800 nm con intervalo de paso de 1 nm y agua destilada como blanco. La presencia del pico de Resonancia de Plasmón Superficial (RPS) confirmó la formación de nanopartículas metálicas.

Análisis fitoquímico cualitativo

El análisis fitoquímico de los extractos acuoso, acidulado y etanólico se efectuó según métodos convencionales para detectar metabolitos secundarios. La presencia de saponinas se evaluó mediante la prueba de espuma, agitando 5 mL del extracto durante 30 segundos y observando la estabilidad de la espuma tras 10 minutos. Los compuestos fenólicos se identificaron mezclando 1 mL del extracto con tres gotas de FeCl_3 al 1 % y registrando cambios característicos de coloración. Los flavonoides se determinaron mediante la reacción de Shinoda, añadiendo un fragmento de magnesio metálico y HCl concentrado a 2 mL del extracto. Los taninos se detectaron agregando gelatina al 1 % y NaCl al 10 % a 2 mL del extracto, considerando positiva la formación de precipitado. Los azúcares reductores se evaluaron mediante la prueba de Fehling, calentando la mezcla a 90 °C durante cinco minutos y observando la formación de precipitado rojo ladrillo. Todas las pruebas se realizaron en duplicado con blanco de agua destilada.

Evaluación de la actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana se evaluó frente a *Escherichia coli* ATCC 25922 mediante el método de difusión en disco. La cepa se reactivó en agar nutritivo BD Difco™ a 37 °C durante 24 horas y se ajustó a 0.5 McFarland con un densitómetro Grant Instruments® BioDenser 2. Las placas de Mueller-Hinton Agar fueron inoculadas con 100 μL del inóculo por extensión y se colocaron discos Whatman No. 1 impregnados con 20 μL de cada formulación de AgNPs. Se incluyeron control negativo (extracto sin nanopartículas) y positivo (gentamicina 10 μg). Las placas se incubaron a 37 °C durante 24 horas y los halos de inhibición se midieron con un vernier digital Mitutoyo®.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos para absorbancia, longitud de onda, halos de inhibición y parámetros fisicoquímicos se procesaron mediante estadística descriptiva,

reportando media \pm desviación estándar ($n = 3$). El análisis se realizó utilizando el software R, versión 4.3.1 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria). Todas las gráficas y cálculos asociados se generaron dentro del mismo entorno estadístico.

Ensayo de conservación pos cosecha en manzanas

El efecto conservante se evaluó en un diseño completamente al azar con tres tratamientos: control negativo (sin recubrimiento), control positivo (emulsión de cera de abejas) y tratamiento con la suspensión AgNPs-romero. La emulsión de cera se preparó fundiendo 5 g de cera de abejas BeeFarm® a 90 °C y emulsionándola con 250 mL de agua destilada hirviendo, agitando a 800 rpm durante 30 minutos. Las manzanas se desinfectaron con agua clorada (10 ppm), se secaron en flujo laminar Telstar Bio-II-A y se trató cada fruto con 1.5 mL de la formulación correspondiente mediante un atomizador Preval®. Tras un secado de 30 minutos a 25 ± 2 °C, los frutos se almacenaron durante 15 días a temperatura ambiente. Se evaluó pérdida de peso, firmeza (penetrómetro FT-327), pardeamiento superficial y apariencia visual, obteniéndose registros fotográficos con una cámara Canon EOS T7 bajo iluminación controlada.

RESULTADOS

Caracterización visual y espectroscópica de nanopartículas de plata (AgNPs)

La síntesis verde de AgNPs utilizando extracto acuoso de *Rosmarinus officinalis* mostró una evidencia visual inmediata de reducción, reflejada en la transición del color amarillo pálido del extracto hacia tonalidades pardo-rojizas tras el proceso de calentamiento. Este cambio cromático es consistente con la formación de nanopartículas metálicas y se observó de forma homogénea en todas las formulaciones preparadas.

La caracterización mediante espectrofotometría UV-Visible presentó un pico bien definido de Resonancia de Plasmón Superficial (RPS) entre 415 y 443 nm, con variaciones dependientes de la proporción extracto- AgNO_3 . Los espectros exhibieron curvas simétricas sin presencia de hombros laterales, lo cual sugiere una distribución relativamente homogénea del tamaño de partícula. La absorbancia máxima osciló entre 2.257 ± 0.011 y 2.334 ± 0.009 , indicando una alta estabilidad coloidal.

Análisis fitoquímico cualitativo

El análisis fitoquímico preliminar evidenció la presencia de metabolitos secundarios relevantes para la síntesis verde de nanopartículas. En la [Tabla 2](#) se presentan los resultados obtenidos mediante pruebas cualitativas para tres tipos de extractos (destilado, acidulado y etanólico).

Estos resultados confirman diferencias en la disponibilidad de metabolitos reductores según el solvente utilizado, lo que concuerda con las variaciones espectrales observadas en la caracterización UV-Vis.

Tabla 1. Espectroscopia UV-Vis de AgNPs sintetizadas con diferentes proporciones extracto-AgNO₃

Extracto-AgNO ₃	Longitud de onda (nm)	Absorbancia (au)
10:5	440 ± 1	2.263 ± 0.012
5:5	424 ± 2	2.309 ± 0.010
10:5 (AA)	443 ± 1	2.257 ± 0.011
5:5 (AA)	426 ± 1	2.302 ± 0.014
10:5 (AE)	415 ± 3	2.334 ± 0.009
5:5 (AE)	418 ± 2	2.328 ± 0.011

AD = extracto destilado, AA = extracto acidulado, AE = extracto etanólico

Tabla 2. Presencia de metabolitos secundarios en extractos de *Rosmarinus officinalis*

Metabolitos	Extracto destilado (AD)	Extracto acidulado (AA)	Extracto etanólico (AE)
Saponinas	+	-	+
Azúcares reductores	+	+++	+
Compuestos fenólicos	+++	++	+++
Flavonoides	++	++	+++
Taninos	++	+	+++
Terpenos	+	+	++

(+= bajo; ++ = moderado; +++ = alto)

Actividad antimicrobiana de AgNPs frente a *Escherichia coli* ATCC 25922

La actividad antimicrobiana evaluada por el método de difusión en disco reveló halos de inhibición significativos para todas las formulaciones de AgNPs derivadas de los tres tipos de extractos. El extracto etanólico (AE) presentó los valores más altos, alcanzando halos de 16.2 ± 0.5 mm, mientras que los extractos destilados (AD) y acidulados (AA) mostraron actividades moderadas, entre 5.1 ± 0.3 mm y 11.8 ± 0.4 mm.

Tabla 3. Actividad antimicrobiana de formulaciones AgNPs-romero frente a *E. coli* ATCC 25922

Tratamiento	Halo (mm)	Media ± DE	Tukey (p ≤ 0.05)
AE 10:5	16 mm	16.2 ± 0.5	a
AE 5:5	14 mm	14.0 ± 0.6	a
AD 10:5	9 mm	9.1 ± 0.4	b
AD 5:5	6 mm	5.8 ± 0.3	b
AA 10:5	11 mm	11.8 ± 0.4	b
AA 5:5	5 mm	5.2 ± 0.2	b

El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos (ANOVA, p < 0.05). Las formulaciones provenientes del extracto etanólico mostraron la actividad antimicrobiana más elevada.

Conservación poscosecha de manzanas tratadas con AgNPs-romero

Durante el período de 15 días a temperatura ambiente, los frutos del grupo control negativo mostraron deterioro progresivo desde el día 5, caracterizado por pardeamiento superficial, pérdida de turgencia y aparición de manchas. El control positivo (cera de abejas) mostró retraso moderado del deterioro.

Las manzanas tratadas con la suspensión de AgNPs-romero mantuvieron sus características organolépticas durante todo el período experimental, con menor pérdida de peso y mayor firmeza respecto a los controles.

Tabla 4. Evaluación fisicoquímica de manzanas durante almacenamiento (día 15)

Tratamiento	Pérdida de Peso (%)	Firmeza (n)	Pardeamiento (0-4)
Control negativo	12.8 ± 0.7	52.1 ± 1.2	3.5 ± 0.2
Control positivo	8.4 ± 0.5	59.0 ± 1.0	2.6 ± 0.3
AgNPs-Romero	4.1 ± 0.4	67.8 ± 1.4	0.8 ± 0.1

El tratamiento AgNPs-romero presentó valores significativamente superiores en firmeza (p < 0.05) y en retención de peso, además de un pardeamiento sustancialmente menor.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que los extractos de *Rosmarinus officinalis* poseen un notable potencial para la síntesis verde de nanopartículas de plata, lo que coincide con estudios que destacan la utilidad de compuestos naturales como alternativas sostenibles para la preservación y el control microbiano en alimentos (6). La presencia de metabolitos secundarios identificados en los extractos indica un papel relevante en los procesos de reducción y estabilización de nanopartículas, lo cual se alinea con reportes que atribuyen a los polifenoles y terpenoides una capacidad significativa para modular reacciones redox y favorecer la formación de estructuras nanoestructuradas estables (7). El intervalo de picos de resonancia plasmónica observado en esta investigación (415-443 nm) es consistente con valores típicos descritos para nanopartículas de plata sintetizadas mediante extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos (8). La variabilidad registrada entre los extractos acuosos y etanólicos se relaciona con diferencias en la composición fitoquímica extraída, fenómeno ampliamente reconocido en la literatura, donde la polaridad del solvente determina la eficiencia de extracción y la naturaleza de los metabolitos predominantes (9). En cuanto a la actividad antimicrobiana, los halos de inhibición obtenidos frente a *Escherichia coli* confirman un efecto sinérgico entre los metabolitos del extracto y las nanopartículas de plata. Esta sinergia ha sido documentada previamente, donde la combinación de agentes polifenólicos con nanometales potencia los efectos de permeabilización de membranas,

desestabilización estructural y generación de estrés oxidativo en microorganismos patógenos (10). Además, la superioridad observada en los tratamientos basados en extractos etanólicos concuerda con estudios que señalan que los solventes orgánicos favorecen la extracción de compuestos con mayor actividad antioxidante y antimicrobiana (3). El efecto conservante observado en manzanas frescas tratadas con la formulación híbrida AgNPs-extracto representa un resultado relevante para aplicaciones poscosecha.

La reducción en pardeamiento, pérdida de firmeza y aparición de daños microbiológicos se alinea con investigaciones que destacan la utilidad de recubrimientos bioactivos y nanopartículas metálicas para prolongar la calidad de frutas durante el almacenamiento (5). Esta evidencia es congruente con desarrollos recientes orientados hacia películas comestibles y recubrimientos funcionalizados capaces de incorporar agentes antimicrobianos y antioxidantes de origen natural (10).

Finalmente, la nanotecnología aplicada a sistemas alimentarios continúa posicionándose como una estrategia con potencial significativo para la mejora de la inocuidad y la vida útil de productos perecibles. Sin embargo, es necesario considerar aspectos relacionados con estabilidad, migración y percepción del consumidor para su futura implementación industrial. Estudios recientes enfatizan la importancia de evaluar estos factores como parte del desarrollo responsable de tecnologías basadas en nanopartículas para uso alimentario (9).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demuestran que el extracto de *officinalis* constituye un agente bioactivo eficaz para la síntesis verde de nanopartículas de plata, gracias a su riqueza en polifenoles, flavonoides y otros metabolitos secundarios capaces de reducir y estabilizar iones metálicos sin necesidad de emplear reactivos químicos agresivos. Las AgNPs generadas presentaron características ópticas consistentes con nanopartículas bien formadas y estables, con picos de resonancia plasmónica en el rango característico para plata sintetizada mediante especies vegetales.

La evaluación antimicrobiana evidenció que las formulaciones híbridas extracto AgNPs ejercen una actividad inhibitoria significativa frente a *Escherichia coli*, confirmando un efecto sinérgico entre los compuestos fitoquímicos del extracto y la acción biocida de la plata. Este comportamiento se reforzó en los tratamientos obtenidos con extracto etanólico, los cuales presentaron halos de inhibición superiores y mayor consistencia en la respuesta microbiana.

En la aplicación poscosecha, la incorporación de estas nanopartículas en tratamientos superficiales de manzanas frescas permitió reducir el pardeamiento, disminuir la pérdida de firmeza y limitar la colonización microbiana visible durante el almacenamiento, extendiendo la estabilidad del fruto y su apariencia comercial. Estos hallazgos respaldan el potencial de las AgNPs de origen vegetal como alternativa natural y sostenible para la conservación de frutas perecibles.

En conjunto, el estudio confirma la viabilidad técnica de integrar extractos de romero y nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde en estrategias de preservación poscosecha, ofreciendo una opción funcional con propiedades antimicrobianas y antioxidantes que podría sustituir parcial o totalmente a los conservantes sintéticos. Para avanzar hacia una implementación industrial, se recomienda profundizar en análisis de migración, estabilidad a largo plazo, evaluación toxicológica y aceptación del consumidor, con el fin de garantizar la inocuidad y sostenibilidad de su uso en sistemas alimentarios reales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Novais, C.; Molina, A.K.; Abreu, R.M.V.; Santo-Buelga, C.; Ferreira, I.C.F.R.; Pereira, C.; Barros, L. Natural I. J. Agric. Food Chem. 2022, 70, 2789-2805. Available from: doi: <http://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07533>.
2. Meziane, H.; Zraibi, L.; Albusayr, R.; Bitari, A.; Oussaid, A.; Hammouti, B.; Touzani, R. *Rosmarinus Officinalis* Linn. Unveiling its multifaceted nature in nutrition, diverse applications, and advanced extraction methods. J. Umm Al-Qura Univ. Appl. Sci. 2025, 11, 9-37. Available from: doi: <http://doi.org/10.1007/s43994-024-00144-y>.
3. Adeyemi, J.O.; Fawole, O.A. Metal-based nanoparticles in food packaging and coating technologies: A Review. Biomolecules 2023, 13, 1092. Available from: doi: <http://doi.org/10.3390/biom13071092>.
4. Pardo, L.; Arias, J.; Molleda, P. Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extracto de hojas de romero (*Rosmarinus Officinalis* L.) y su uso como conservante. La Granja 2021, 35. Available from: doi: <http://doi.org/10.17163/lgr.n35.2022.04>.
5. Solano-Doblado, L.G.; Alamilla-Beltrán, L.; Jiménez-Martínez, C. Películas y recubrimientos comestibles funcionalizados. TIP Rev. Espec. In Cienc. Quím.-Biológicas. 2018, 21, 30-42. Available from: doi: <http://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2018.0.153>.
6. Karnwal, A.; Malik, T. Exploring the untapped potential of naturally occurring antimicrobial compounds: novel advancements in food preservation for enhanced safety and sustainability. Front. Sustain. Food Syst. 2024, 8, 1307210. Available from: doi: <http://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1307210>.
7. Liao, Z.; Ali, M.H.; Tu, D.; Xiong, S.; Suleiman, N. Public Acceptance on nanotechnology in edible food material: An Empirical Study from China. Int. J. Econ. Manag. 2025, 19, 67-84. Available from: doi: <http://doi.org/10.47836/ijeam.19.1.05>.
8. Flores-Villa, E.; Sáenz-Galindo, A.; Castañeda-Facio, A.O.; Narro-Céspedes, R.I. Romero (*Rosmarinus Officinalis* L.): Su origen, importancia y generalidades de sus metabolitos secundarios. TIP Rev. Espec. En Cienc. Quím.-Biológicas 2020, 23. Available from: doi: <http://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.266>.

9. Guidotti-Takeuchi, M.; De Moraes Ribeiro, L.N.D.M.; Dos Santos, F.A.L.; Rossi, D.A.; Lucia, F.D.; De Melo, R.T. Essential oil-based nanoparticles as antimicrobial agents in the food industry. *Microorganisms* 2022, 10, 1504. Available from: doi: <http://doi.org/10.3390/microorganisms10081504>.
10. Colín-Álvarez, M.D.L.; Calderón-Domínguez, G.; Rojas-Candelas, L.E.; Rentería-Ortega, M. Revisión: Aplicación de la nanotecnología como innovación en recubrimientos alimentarios. *Pädi Bol. Científico Cienc. Básicas E Ing. ICBI* 2024, 12, 21-33. Available from: doi: <http://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial.12127>.