



**Somos calidad,  
somos USC**

**Nanopartículas de plata sintetizadas por hongos como conservantes en cosméticos:  
Una Revisión de literatura**

**Autor**

**Katerin Yulieth Zuluaga Nitola**

**Químico Farmacéutico**

**Director**

**Yhors Alexander Ciro Monsalve**

**Grupo de Investigación: Química y Biotecnología (QUIBIO)**

**Línea de Investigación: Desarrollos tecnológicos y biotecnológicos**

**Facultad de Ciencias Básicas  
Programa de Química Farmacéutica  
Universidad Santiago de Cali  
Santiago de Cali - Colombia  
2026**

## IMPACTOS

<b>IMPACTO</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>BENEFICIARIO(S)</b>
<b>Económico</b>	Productos cosméticos con AgNP biosintetizadas que optimizan costos por su alta eficacia a bajas concentraciones.	Industria cosmética y consumidores.
<b>Responsabilidad social</b>	Conservantes alternativos con menor toxicidad y mayor seguridad en uso tópico.	Consumidores y empresas socialmente responsables.
<b>Científico</b>	Avances en biosíntesis fúngica, caracterización y evaluación de seguridad de AgNP.	Comunidad científica y académica.
<b>Indicadores de Gestión</b>	N.A	N.A
<b>Tecnológico</b>	Aplicación de nanotecnología verde y procesos biosintéticos limpios.	Sector biotecnológico e industrial.
<b>Técnico</b>	Metodologías para síntesis, formulación y funcionalización de AgNP.	Profesionales técnicos y formuladores.
<b>Ambiental</b>	Reducción del impacto ambiental frente a métodos químicos tradicionales.	Medio ambiente y comunidad en general.
<b>Social</b>	N.A	N.A
<b>Cultural</b>	N.A	N.A

# NANOPARTÍCULAS DE PLATA SINTETIZADAS POR HONGOS COMO CONSERVANTES EN COSMÉTICOS: UNA REVISIÓN DE LITERATURA

Katerin Yulieth Zuluaga Nitola<sup>1</sup> ([katerin.zuluaga00@usc.edu.co](mailto:katerin.zuluaga00@usc.edu.co))

<sup>1</sup>Grupo de Investigación QUIBIO, Programa de Química farmacéutica. Facultad de Ciencias Básicas. Universidad Santiago de Cali. Campus Pampalinda Calle 5 # 62-00. Santiago de Cali. Colombia

## RESUMEN

Se abordó la problemática de la conservación microbiológica en productos cosméticos, considerando los riesgos asociados al uso de conservantes sintéticos, tales como sensibilización e irritación cutánea. El objetivo del estudio fue analizar el potencial de las nanopartículas de plata (AgNP) biosintetizadas mediante hongos como conservantes cosméticos, a partir de la evaluación de su eficacia antimicrobiana, estabilidad en formulaciones, seguridad y viabilidad tecnológica. Para ello, se desarrolló una revisión de la literatura publicada entre 2021 y 2026. El análisis se estructuró en cuatro ejes temáticos: síntesis fúngica y caracterización fisicoquímica de las AgNP; estabilidad y compatibilidad en formulaciones cosméticas en comparación con conservantes tradicionales; evaluación del perfil toxicológico mediante estudios *in vitro* e *in vivo*; y análisis de ventajas, limitaciones, retos regulatorios y consideraciones ambientales.

Los resultados indicaron que diversas especies fúngicas produjeron AgNP mediante mecanismos intra y extracelulares, con tamaños predominantes entre 10 y 200 nm, morfología mayoritariamente esférica y recubrimiento proteico que facilitó la estabilización de las partículas. Las AgNP exhibieron un amplio espectro antibacteriano y antifúngico, funcionando como conservantes eficaces a bajas concentraciones, sin afectar la estabilidad de las formulaciones ni la compatibilidad con otros activos cosméticos. La toxicidad observada dependió del tamaño, la dosis y el recubrimiento, con limitada penetración cutánea y reducción de citotoxicidad mediante encapsulación o funcionalización. No obstante, persistieron incertidumbres relacionadas con la liberación de Ag<sup>+</sup>, la exposición crónica y los posibles impactos ambientales, así como vacíos regulatorios.

Se concluyó que las AgNP biosintetizadas por hongos representaron una alternativa prometedora y alineada con enfoques de síntesis verde; sin embargo, su aplicación requirió un control preciso de sus características fisicoquímicas, la validación de dosis seguras en condiciones reales de uso, la implementación de estrategias de reducción de toxicidad y el fortalecimiento de evaluaciones toxicológicas, ambientales y regulatorias que permitan una adopción responsable en la industria cosmética.

**Palabras clave:** Agentes conservantes nanométricos; biosíntesis extracelular fúngica; nanopartículas de plata biogénicas; perfil toxicológico cutáneo; preservación antimicrobiana cosmética.

## SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY FUNGI AS PRESERVATIVES IN COSMETICS: A LITERATURE REVIEW

### ABSTRACT

The issue of microbiological preservation in cosmetic products was addressed, considering the risks associated with the use of synthetic preservatives, such as skin sensitization and irritation. The objective of this study was to analyze the potential of silver nanoparticles (AgNPs) biosynthesized by fungi as cosmetic preservatives, based on the evaluation of their antimicrobial efficacy, formulation stability, safety, and technological viability. To this end, a review of the literature published between 2021 and 2026 was conducted. The analysis was structured around four

thematic axes: fungal synthesis and physicochemical characterization of AgNPs; stability and compatibility in cosmetic formulations compared with traditional preservatives; evaluation of the toxicological profile through *in vitro* and *in vivo* studies; and analysis of advantages, limitations, regulatory challenges, and environmental considerations.

The results indicated that various fungal species produced AgNPs through intra- and extracellular mechanisms, with predominant sizes between 10 and 200 nm, mostly spherical morphology, and a protein coating that facilitated particle stabilization. AgNPs exhibited a broad antibacterial and antifungal spectrum, acting as effective preservatives at low concentrations without affecting formulation stability or compatibility with other cosmetic actives. Observed toxicity depended on size, dose, and coating, with limited skin penetration and reduced cytotoxicity through encapsulation or functionalization. Nevertheless, uncertainties persisted regarding Ag<sup>+</sup> release, chronic exposure, and potential environmental impacts, as well as regulatory gaps.

It was concluded that fungal-biosynthesized AgNPs represent a promising alternative aligned with green synthesis approaches; however, their application requires precise control of their physicochemical characteristics, validation of safe doses under real-use conditions, implementation of toxicity-reduction strategies, and strengthening of toxicological, environmental, and regulatory evaluations to enable responsible adoption in the cosmetic industry.

**Keywords:** *Nanometric preservative agents; fungal extracellular biosynthesis; biogenic silver nanoparticles; cutaneous toxicological profile; cosmetic antimicrobial preservation.*

## HIGHLIGHTS

1. La biosíntesis fúngica permitió obtener nanopartículas de plata mayoritariamente esféricas (10–200 nm), estables y recubiertas por biomoléculas proteicas, mediante rutas intra y extracelulares, destacándose la síntesis a partir de extractos acuosos como la estrategia más limpia, reproducible y eficiente.
2. Las formulaciones cosméticas que incorporaron AgNP biosintetizadas mostraron una estabilidad fisicoquímica y microbiológica comparable o superior a la de conservantes convencionales, manteniendo compatibilidad con ingredientes activos y eficacia conservante a concentraciones muy bajas.
3. El perfil de seguridad toxicológica evidenció que las AgNP fúngicas presentan baja citotoxicidad en uso tópico controlado, con penetración cutánea limitada y reducción significativa de efectos adversos cuando se emplean tamaños adecuados y estrategias de encapsulación o funcionalización superficial.
4. El análisis crítico confirmó que las AgNP biosintetizadas constituyen una alternativa conservante prometedora y sostenible, aunque su aplicación industrial requiere control estricto del tamaño, estandarización del proceso, evaluación ambiental integral y fortalecimiento del marco regulatorio para garantizar un uso seguro y responsable.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un producto cosmético se define, según la Comunidad Andina (2018), como “toda sustancia o formulación destinada a ser puesta en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano (epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos) o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar o mejorar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales”. Esta definición resalta el carácter tópico y de uso frecuente de los cosméticos, lo que exige altos estándares de calidad, estabilidad e inocuidad para garantizar la seguridad del consumidor. Desde el punto de vista formulativo, los productos cosméticos constituyen sistemas multicomponentes complejos, diseñados para generar efectos sensoriales específicos sobre la piel y tejidos superficiales. Su estructura incluye una matriz base que actúa como vehículo y agente estructurante, confiriendo estabilidad fisicoquímica y propiedades reológicas adecuadas. Entre los componentes más relevantes se encuentran disolventes como el agua (ingrediente mayoritario en la mayoría de las formulaciones), tensioactivos, aceites, polímeros filmógenos y otros excipientes funcionales (Tang & Du, 2024).

No obstante, la elevada proporción de agua presente en muchos cosméticos genera un entorno favorable para la proliferación de microorganismos, tales como bacterias, hongos y levaduras, esta condición hace indispensable la incorporación de conservantes antimicrobianos, cuya función es inhibir el crecimiento microbiano mediante mecanismos como la alteración de membranas celulares, la inhibición de sistemas enzimáticos o la desnaturalización de proteínas. La ausencia de estos agentes convertiría a los cosméticos en potenciales reservorios de patógenos, incrementando el riesgo de infecciones cutáneas y reacciones adversas, especialmente en productos de aplicación tópica directa como cremas, lociones, sérums y cosméticos decorativos (Tang & Du, 2024).

Desde el marco regulatorio, el Reglamento (CE) N.º 1223/2009 de la Unión Europea define al conservante cosmético como una sustancia, de origen natural o sintético, cuya función principal es prevenir la proliferación de microorganismos en los productos cosméticos. Solo se permite el uso de conservantes incluidos en el Anexo V del reglamento, el cual contempla aproximadamente 60 sustancias autorizadas, con concentraciones que oscilan entre 0,0015 % y 2,5 %. Dicho listado se actualiza periódicamente e incluye restricciones recientes como la prohibición de la piritiona de zinc, limitaciones al ácido salicílico y sus sales y la obligatoriedad de advertir en el etiquetado la liberación de formaldehído cuando su concentración supere el 0,001 %. Cabe destacar que este anexo no contempla conservantes de origen natural, como aceites esenciales o extractos vegetales (Poddębniak & Kalinowska-Lis, 2024).

A pesar de su eficacia, numerosos conservantes sintéticos se han asociado con efectos adversos para la salud, entre las reacciones más frecuentes se encuentran la dermatitis alérgica de contacto, la urticaria, la irritación cutánea y la afectación de mucosas. Compuestos como la metilisotiazolinona han sido prohibidos en productos sin enjuague debido a su alto potencial sensibilizante, mientras que ciertas sales de amonio cuaternario, así como liberadores de formaldehído y tiomersal, presentan perfiles de toxicidad relevantes (Poddębniak & Kalinowska-Lis, 2024).

Un análisis de 325 formulaciones cosméticas comerciales evidenció la amplia prevalencia de conservantes sintéticos como fenoxietanol, benzoato de sodio, sorbato de potasio, alcohol bencílico y parabenos, especialmente en productos de aplicación sin enjuague, estos datos reflejan la exposición continua del consumidor a múltiples conservantes a lo largo del tiempo, lo que ha intensificado el debate sobre su seguridad y bioacumulación (Poddębniak & Kalinowska-Lis, 2024).

Diversas investigaciones han demostrado que algunos conservantes pueden inducir toxicidad, efectos genotóxicos y alteraciones endocrinas, incluso a bajas concentraciones, particularmente cuando existe una exposición prolongada; los efectos reportados incluyen cefaleas, alteraciones cognitivas, respuestas inmunológicas anómalas y a largo plazo, mayor riesgo de enfermedades crónicas como cáncer, trastornos cardiovasculares y patologías degenerativas, incluyendo la posible estimulación de tumores mamarios (Alkafajy & Abdul-Jabbar, 2020; Bae et al., 2021).

Ante estas preocupaciones, ha surgido un interés creciente en el uso de conservantes naturales, obtenidos a partir de fuentes vegetales o microbianas, como aceites esenciales, ácidos orgánicos y compuestos bioactivos como la

nisina; estas alternativas responden a la demanda de productos con etiquetado limpio y menor impacto toxicológico, aunque su aplicación puede verse limitada por factores como la estabilidad, el espectro antimicrobiano y la compatibilidad con ciertas formulaciones cosméticas (Khatkar et al., 2022).

En paralelo, la nanotecnología se ha consolidado como una herramienta innovadora en el desarrollo de cosméticos avanzados. La incorporación de nanomateriales permite mejorar la biodisponibilidad, estabilidad y eficacia de los ingredientes activos. Entre las nanoestructuras más empleadas se encuentran las nanoemulsiones, nanopartículas lipídicas sólidas, niosomas, nanocápsulas, dendrímeros y cubosomas, ampliamente utilizados para la liberación controlada y protección de compuestos sensibles (Cardoza et al., 2022; Abdulazeem et al., 2023).

Dentro de los nanomateriales metálicos, las nanopartículas de plata (AgNPs) representan aproximadamente el 12% de los nanomateriales utilizados en cosmética, debido a su potente actividad antimicrobiana frente a patógenos como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, esta propiedad las convierte en candidatas atractivas para su uso en productos como pastas dentales, tratamientos para el acné y formulaciones conservantes (Abdulazeem et al., 2023).

Tradicionalmente, las AgNPs se han sintetizado mediante métodos químicos y físicos, los cuales presentan desventajas significativas, incluyendo la generación de residuos tóxicos, alto consumo energético, necesidad de equipamiento sofisticado y riesgos de toxicidad asociados a los reactivos empleados. En respuesta, se han desarrollado estrategias de síntesis verde, utilizando plantas y microorganismos como agentes reductores y estabilizantes, lo que permite obtener nanopartículas más biocompatibles y ambientalmente sostenibles (Nasrollahzadeh et al., 2019).

En particular, la biosíntesis fúngica de nanopartículas de plata ofrece ventajas relevantes para aplicaciones cosméticas, ya que permite obtener partículas en rangos de tamaño adecuados (10–60 nm), recubiertas por biomoléculas proteicas que mejoran su estabilidad y biocompatibilidad, además, su eficacia antimicrobiana se alcanza a concentraciones muy bajas, cercanas a 1 ppm, reduciendo el riesgo de toxicidad cutánea y favoreciendo su uso seguro en formulaciones tópicas (Nasrollahzadeh et al., 2019).

Esta investigación tiene como objetivo examinar la literatura científica disponible sobre el potencial de las AgNPs biosintetizadas mediante hongos como agentes conservantes en productos cosméticos, analizando su eficacia antimicrobiana, su perfil de seguridad y su viabilidad tecnológica, así como parámetros clave relacionados con la estabilidad fisicoquímica, la penetración cutánea, la citotoxicidad y la compatibilidad con otros ingredientes activos.

## 2. METODOLOGÍA

La presente monografía se desarrolló mediante una revisión de literatura, con el propósito de analizar el uso de AgNPs biosintetizadas mediante hongos como agentes conservantes en formulaciones cosméticas. Este enfoque metodológico permite identificar los avances más relevantes en este campo, así como las limitaciones y vacíos existentes en la literatura científica, proporcionando una base conceptual sólida para futuras investigaciones aplicadas en cosmética.

La revisión se realizó y se organizó en cuatro secciones temáticas. La primera sección se orienta a comparar las distintas estrategias de producción de AgNP mediante diversas especies fúngicas, considerando los mecanismos de síntesis intracelular y extracelular, las condiciones de reacción y el papel de los metabolitos fúngicos en la reducción y estabilización de las AgNPs. Asimismo, se tiene en cuenta la caracterización fisicoquímica de las nanopartículas reportadas mediante técnicas como UV-Vis, TEM, DLS y FTIR, con el fin de evaluar su tamaño, morfología, distribución y estabilidad.

La segunda sección se centra en comparar la estabilidad fisicoquímica de formulaciones cosméticas que incorporan AgNPs biosintetizadas frente a aquellas que utilizan conservantes tradicionales, evaluando su comportamiento en distintos tipos de productos. Asimismo, se analiza la compatibilidad de las AgNPs con ingredientes activos comunes, identificando posibles interacciones que puedan afectar la estabilidad o la eficacia de las formulaciones.

La tercera sección analiza el perfil de seguridad toxicológica de las nanopartículas de plata a partir de estudios *in-vitro* e *in-vivo*, considerando aspectos como citotoxicidad, penetración cutánea, biocompatibilidad y posibles efectos adversos asociados a la exposición tópica. Este análisis permite valorar la viabilidad de las AgNPs biosintetizadas para su uso seguro en productos cosméticos y compararlas con los riesgos de conservantes sintéticos convencionales.

La cuarta sección realiza una discusión crítica sobre las ventajas y limitaciones del uso de AgNPs biosintetizadas como conservantes cosméticos, considerando su eficacia antimicrobiana, biocompatibilidad y enfoque sostenible. Además, se analizan los principales desafíos técnicos, regulatorios y éticos, así como las perspectivas futuras para el desarrollo de formulaciones cosméticas más seguras y ambientalmente responsables.

## **2.1. Búsqueda bibliográfica y criterios de inclusión y exclusión.**

### **2.1.1 Criterios de búsqueda:**

Se emplearon combinaciones de palabras clave en inglés, utilizando operadores booleanos, entre las que se incluyeron los términos: “Fungal production of silver nanoparticles”, “silver nanoparticles AND cosmetics”, “cosmetic preservatives AND stability AND compatibility”, “toxicity of silver nanoparticles and cosmetics” y “Advantages and limitations of silver nanoparticles in cosmetic formulations”. Estas ecuaciones de búsqueda permitieron recuperar estudios asociados tanto a los procesos de biosíntesis como a la evaluación de seguridad y eficacia de las nanopartículas en aplicaciones cosméticas.

Con el propósito de garantizar la vigencia de la información, se priorizaron artículos publicados en el periodo comprendido entre 2021 y 2026; no obstante, también se consideraron estudios de años anteriores (2019 y 2020) y documentos de referencia como reglamentos, que aportan bases conceptuales y metodológicas fundamentales para el desarrollo del tema.

### **2.1.2 Criterios de inclusión:**

Se incluyeron estudios que cumplieron los siguientes criterios:

Artículos originales, revisiones narrativas y revisiones sistemáticas publicados en revistas científicas arbitradas.

Investigaciones enfocadas en la síntesis de AgNPs mediante hongos.

Estudios que evaluaran el uso de AgNPs en formulaciones cosméticas o su potencial como agentes conservantes.

Publicaciones que analizaran propiedades fisicoquímicas, actividad antimicrobiana y perfil de seguridad toxicológica de las AgNPs.

### **2.1.3 Criterios de exclusión:**

Artículos duplicados, publicaciones no arbitradas.

Estudios con información incompleta, baja calidad metodológica o resultados poco concluyentes.

Investigaciones centradas exclusivamente en la síntesis química de nanopartículas, sin enfoque biológico o fúngico.

Publicaciones que no abordaran aplicaciones cosméticas ni aspectos relacionados con la conservación microbiológica o la seguridad.

### 3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Producción fúngica de AgNP: mecanismos de síntesis y caracterización fisicoquímica:

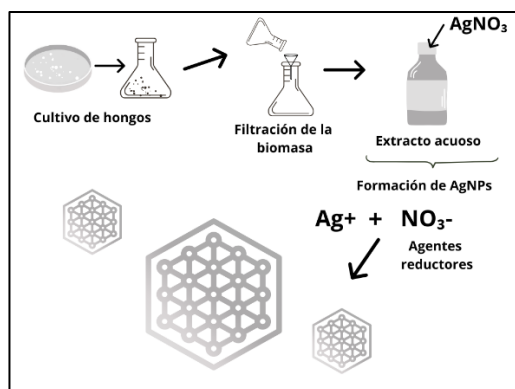
Para esta sección se realizó una búsqueda bibliográfica empleando el término “Fungal production of silver nanoparticles”, mediante la cual se identificaron un total de 100 artículos científicos. De estos, 85 publicaciones fueron excluidas al no cumplir con los criterios de actualidad establecidos para el estudio.

##### 3.1.1 Mécanismos de síntesis fúngica de AgNP:

La síntesis biológica AgNP se fundamenta en la sustitución de agentes reductores y estabilizantes químicos por biomoléculas no tóxicas, tales como proteínas, carbohidratos, enzimas y metabolitos antioxidantes producidos por organismos vivos, incluyendo bacterias, hongos, levaduras y plantas. Dentro de estos sistemas, los hongos filamentosos han demostrado ser especialmente eficientes para la producción de AgNPs, debido a su elevada capacidad de captación de iones metálicos, su resistencia a condiciones operativas adversas y su alta producción de proteínas extracelulares, las cuales favorecen simultáneamente los procesos de reducción y estabilización de las nanopartículas (Osorio-Echavarría et al., 2021; Santos et al., 2021).

La biosíntesis fúngica de AgNPs puede desarrollarse mediante dos enfoques principales: síntesis intracelular y extracelular. En la síntesis intracelular, los iones  $\text{Ag}^+$  penetran la célula fúngica y son reducidos en el interior, generando nanopartículas generalmente pequeñas y estables; sin embargo, este método implica etapas posteriores de ruptura celular y purificación, lo que limita su escalabilidad. En contraste, la síntesis extracelular se realiza fuera de la célula, ya sea utilizando directamente la biomasa fúngica o a partir de extractos acuosos libres de células, lo que simplifica la recuperación de las nanopartículas y mejora la reproducibilidad del proceso (Santos et al., 2021).

Entre las estrategias extracelulares, la síntesis empleando extractos acuosos fúngicos es considerada la más ventajosa, ya que las biomoléculas secretadas por los hongos actúan eficazmente como agentes reductores y estabilizantes, permitiendo la formación de AgNPs en un medio más limpio y con menor riesgo de contaminación por residuos celulares. Por esta razón, dicho método ha sido ampliamente adoptado en estudios recientes de biosíntesis microbiana de nanopartículas de plata (Santos et al., 2021).



**Figura 1.** Representación de la biosíntesis de nanopartículas de plata mediante la reacción del extracto acuoso extracelular (AE) libre de células obtenido del cultivo de hongos con  $\text{AgNO}_3$ . Elaboración propia. (Ribeiro et al., 2023)

Diversas especies fúngicas han sido reportadas como agentes efectivos para la biosíntesis de AgNPs, incluyendo *Aspergillus niger*, *A. flavus*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides*, *Fusarium solani*, *F. oxysporum*, *Penicillium brevicompactum*, *Trichoderma asperellum* y *Verticillium spp.* Asimismo, hongos como *Phanerochaete chrysosporium*, *Trametes trogii*, *Ganoderma enigmaticum* y *Bjerkandera adusta* han demostrado producir nanopartículas estables mediante reacciones con nitrato de plata en medios acuosos, confirmando el papel central de los metabolitos fúngicos en la reducción y estabilización del metal (Osorio-Echavarría et al., 2021).

En el caso particular de los hongos entomopatógenos, los reportes sobre su aplicación en la biosíntesis de AgNPs son relativamente recientes. Desde 2013, se han descrito estudios que emplean especies como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Isaria fumosorosea* y *Trichoderma harzianum*, las cuales permiten la obtención de nanopartículas mediante síntesis extracelular a partir de extractos acuosos, con tamaños ampliamente variables (10–200 nm) y morfologías diversas, tales como estructuras esféricas, triangulares y hexagonales, como se registra en la Tabla 1. (Santos et al., 2021).

A pesar de estos avances, el mecanismo exacto involucrado en la biosíntesis fúngica de AgNPs aún no se encuentra completamente esclarecido, no obstante, se ha propuesto la participación de enzimas oxidorreductasas, particularmente nitrato reductasas dependientes de NADPH, así como proteínas y metabolitos secundarios que varían entre especies y aislados, lo que justifica la necesidad de estudios comparativos detallados (Santos et al., 2021; Gürsoy, 2020).

**Tabla 1.** Registros del uso de hongos entomopatógenos en la biosíntesis de AgNP, con el método de síntesis utilizado, el diámetro y la morfología de las nanopartículas formadas, y las bacterias e insectos diana. (Santos et al., 2021)

Especies de hongos	Método de síntesis	Diámetro y morfología de las nanopartículas	Objetivo de bacterias	Objetivo de insectos
<i>Beauveria bassiana</i>	Extracelular	36,88 – 93 nm; esférico	-	<i>Aedes aegypti</i>
<i>Beauveria bassiana</i>	Extracelular	20,44-34,16 nm; esférico	<i>Escherichia coli</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Aedes aegypti</i> , <i>Anopheles stephensi</i> y <i>Culex quinquefasciatus</i>
<i>Beauveria bassiana</i>	Extracelular	10-50nm; esférico, triangular, hexagonal	<i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> y <i>Staphylococcus aureus</i>	-
<i>Beauveria bassiana</i>	Extracelular	40,14-289,13nm	-	-
<i>Metarhizium anisopliae</i>	Extracelular	132,3nm	-	-
<i>Isaria fumosorosea</i>	Extracelular	51,31-111,02nm; esférica	-	<i>Aedes aegypti</i> y <i>Culex quinquefasciatus</i>
<i>Isaria fumosorosea</i>	Extracelular	131,3nm	-	-
<i>Trichoderma harzianum</i>	Extracelular	10-20nm; forma irregular	-	<i>Aedes aegypti</i>

### 3.1.2 Técnicas de caracterización de AgNP sintetizadas mediante hongos:

Una vez obtenidas, AgNPs biosintetizadas son sometidas a un conjunto de técnicas de caracterización con el fin de confirmar su formación, composición, tamaño, estabilidad coloidal y morfología, para este fin, los estudios revisados emplean de manera sistemática técnicas como espectroscopia UV-Visible, dispersión dinámica de luz (DLS), microscopía electrónica (TEM, SEM, AFM), potencial zeta, índice de polidispersidad (PDI), espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (XRD), entre otras. La tabla 2 presenta de manera comparativa los principales estudios, el hongo empleado, el método y condiciones de síntesis, así como las técnicas de caracterización fisicoquímica utilizadas.

**Tabla 2.** Estudios seleccionados sobre biosíntesis fúngica de AgNP y su caracterización fisicoquímica.

Estudio	Hongo empleado	Método de síntesis	Condiciones de síntesis	Caracterización fisicoquímica
Santos et al. (2021)	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> , <i>Isaria fumosorosea</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	Extracelular (extracto acuoso)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, 72 h, oscuridad, agitación	UV-Vis (410–550 nm), DLS (40–289 nm), SEM, PDI (0,165–0,627)
Osorio-Echavarría et al. (2021)	<i>Bjerkandera adusta</i> (anamorfo)	Extracelular (filtrado fúngico y micelio)	AgNO <sub>3</sub> 0,5–1,5 mM, 30 °C, 144 h	UV-Vis (~430 nm), TEM, SEM (30–100 nm), FTIR
Ribeiro et al. (2023)	<i>Aspergillus spp.</i> , <i>A. tubingensis</i> , <i>B. ochroleuca</i> , <i>C. pini-ponderosae</i> , <i>E. nigrum</i> , <i>E. rostratum</i> , <i>F. proliferatum</i>	Extracelular (extracto acuoso libre de células)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, 28 °C, 150 rpm, 72 h	UV-Vis (~420 nm), DLS, TEM, PDI, potencial zeta, pH, FTIR
Gürsoy (2020)	<i>Aspergillus niger</i>	Extracelular (filtrado fúngico)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, 72 h, oscuridad	UV-Vis (420 nm), TEM, AFM (13–646 nm)
Sonbol et al. (2022)	<i>Phoma sp.</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Chaetomium sp.</i>	Extracelular + luz solar	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, 25 °C, 24 h	UV-Vis (400–450 nm), TEM (10–16 nm), DLS, EDX, FTIR
Basheer et al. (2023)	Hongos marinos ( <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> )	Extracelular (sobrenadante)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM	TEM (3,8–23 nm), estabilidad coloidal
Soleimani et al. (2022)	<i>Beauveria bassiana</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i>	Extracelular	pH 7,0; 60 °C	UV-Vis, TEM (23–101 nm), actividad antimicrobiana
Ahmad et al. (2024)	<i>Aspergillus niger</i> , <i>A. flavus</i> , <i>Penicillium chrysogenum</i>	Extracelular (filtrado celular)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, 25 °C	UV-Vis, SEM, FTIR, XRD
Abdel-Hadi et al. (2023)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Extracelular (sobrenadante)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM	UV-Vis (460 nm), DLS, TEM (50–100 nm), FTIR
Alves & Murray (2022)	<i>P. antarcticum</i> , <i>T. versicolor</i> y otros	Extracelular (extractos de estrés)	AgNO <sub>3</sub> 0,5 mM; pH 6–12; 20–90 °C; 1–6 h	UV-Vis, TEM (3–17 nm), EDS
Mistry et al. (2020)	<i>Aspergillus brunneoviolaceus</i>	Extracelular	—	UV-Vis (411 nm), TEM, XRD, propiedades ópticas
Yassin et al. (2021)	<i>Penicillium verrucosum</i>	Extracelular (filtrado acelular)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, oscuridad	UV-Vis (420 nm), TEM (2–20 nm), SEM, EDS, XRD
Al-Soub et al. (2022)	<i>Aspergillus flavus</i>	Extracelular (filtrado)	AgNO <sub>3</sub> 1 mM, pH 4, 27 °C, 144 h	UV-Vis (401 nm), TEM, DLS, FTIR, XRD
Al-Zaban et al. (2021)	<i>Alternaria spp.</i>	Extracelular	AgNO <sub>3</sub> 10 <sup>-3</sup> M, 72 h	UV-Vis, TEM, SEM, EDS, XRD, FTIR

Respecto a las propiedades fisicoquímicas, los tamaños medidos por microscopía electrónica de barrido fueron menores que los medidos por dispersión dinámica de luz (DLS). A través del DLS, la corona de proteína que rodea el ion metálico en las nanopartículas también se mide y, en consecuencia, el tamaño de las nanopartículas es mayor. Estos datos son interesantes ya que la corona de proteína puede interferir con la interacción de las nanopartículas con el objetivo. El índice de polidispersidad (IPD) está relacionado con la distribución del tamaño

de las AgNP, cuanto menor sea el IP, más homogéneo será el tamaño de las AgNP. También se puede observar que todas las AgNP son predominantemente esféricas, con pocas o ninguna formación de agregados. El valor de pH es un parámetro intrigante debido a su influencia en el tamaño, forma, dispersión y recubrimiento proteico de las AgNP. En el presente estudio, las AgNP con tamaños más grandes mostraron valores de pH más bajos. (Ribeiro et al., 2023)

La espectroscopia infrarroja por transformada de fourier de las AgNP mostró la presencia de grupos funcionales atribuidos a anillos aromáticos, grupos éter, carboxílicos y amida en su composición, que provienen de moléculas presentes en el AE. Estas moléculas actuaron como agentes reductores para la formación de las AgNP, o como agentes de recubrimiento que promueven la formación de la corona proteica y la estabilidad de las AgNP, se detectaron grupos funcionales adicionales y se atribuyeron a residuos de aminoácidos presentes en las cadenas laterales de las proteínas presentes en el AE. (Ribeiro et al., 2023)

**Tabla 3.** Propiedades fisicoquímicas de AgNPs biosintetizadas mediante diferentes hongos: tamaño (nm) por DLS y microscopía electrónica de transmisión (TEM), índice de polidispersidad (PDI), potencial zeta y valores de pH. (Ribeiro et al., 2023)

AgNPs	Tamaño (DLS)	Tamaño (TEM)	PDI	Potencial Zeta	pH
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Aspergillus spp.</i>	44,9 ± 4,1	33,3 ± 2,7	0,343	-1,04	6,0
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Aspergillus tubingensis</i>	43,4 ± 3,3	25,0 ± 6,5	0,080	-22,26	7,0
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Bionectria ochroleuca</i>	120,6 ± 3,5	21,8 ± 4,1	0,257	-2,19	7,5
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Cladosporium pini-ponderosae</i>	87,1 ± 3,4	35,8 ± 5,16	0,334	-1,59	5,0
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Epicoccum nigrum</i>	71,2 ± 6,7	28,0 ± 6,31	0,404	-33,28	5,0
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Exserohilum rostratum</i>	86,4 ± 6,4	22,1 ± 2,9	0,230	-14,40	4,5
AgNPs biosintetizadas mediante <i>Fusarium proliferatum</i>	59,6 ± 2,1	26,7 ± 5,3	0,199	-15,33	6,0

Finalmente, en el estudio de Mansoor et al (2021) se compara el hongo fuente de síntesis con la concentración efectiva inhibitoria frente a diferentes organismos objetivos como se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación de hongo fuente de síntesis con la concentración efectiva inhibitoria frente a diferentes organismos objetivos. (Mansoor et al., 2021)

Fuente de síntesis	Organismo objetivo	Concentración efectiva
<i>Penicillium chrysogenum</i> y <i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Trichophyton rubrum</i>	<i>P. chrysogenum</i> 0.5 µg/mL <i>A. oryzae</i> > 7.5 µg/mL
<i>Trichophyton rubrum</i> , <i>T. mentagrophytes</i> and <i>Microsporum canis</i>	<i>C. albicans</i>	4 µg/mL
<i>Pleurotus cornucopiae</i> var. <i>citrinopileatus</i>	Antifúngica <i>Candida spp.</i>	20, 40, y 60 mg/mL
<i>Penicillium italicum</i>	Resistente a múltiples fármacos <i>S. aureus</i> , <i>Shewanella putrefaciens</i> y <i>C. albicans</i>	25 µl/mL
<i>Arthroderma fulvum</i> (estado sexual (teleomorfo) del hongo dermatofito <i>Microsporum fulvum</i> )	<i>Candida sp.</i> y <i>Aspergillus sp</i>	0.125–4.00 µg/mL
<i>Fusarium oxysporum</i>	<i>Candida spp.</i> y <i>Cryptococcus spp</i>	<i>Candida spp.</i> 0.84–1.68 µg/mL <i>Cryptococcus spp.</i> 0.42 0.84 µg/mL
<i>Trichoderma harzianum</i>	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	0.15 × 1,012 y 0.31 × 1,012 NPs/mL
<i>Trichoderma harzianum</i> SYA.F4	<i>Helminthosporium sp.</i> , <i>Alternaria alternata</i> , <i>Phytophthora Arenaria</i> y <i>Botrytis sp</i>	100 µg/mL
<i>Arthroderma fulvum</i> (estado sexual (teleomorfo) del hongo dermatofito <i>Microsporum fulvum</i> )	<i>Fusarium sp</i>	0.125–4.00 µg/mL
<i>Aspergillus versicolor</i>	<i>S. sclerotiorum</i> y <i>Botrytis cinerea</i>	150 ppm
<i>Epicoccum nigrum</i>	<i>Fusarium solani</i> , <i>Sporothrix schenckii</i> , <i>Cryptococcus neoformans</i> , <i>Aspergillus flavus</i> , y <i>Aspergillus fumigatus</i>	0.125–1.00 µg/mL
<i>Guignardia mangiferae</i>	<i>Colletotrichum sp.</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> , y <i>Curvularia lunata</i>	1 mg/mL
<i>Fusarium solani</i>	Hongos asociados al trigo, la cebada y el maíz Phoma	1, 2, y 4%
<i>Alternaria alternata</i>	<i>Phoma glomerata</i> , <i>Phoma herbarum</i> , y <i>Fusarium semitectum</i>	20 µl/mL

### 3.2 Estabilidad y comportamiento fisicoquímico de formulaciones cosméticas que incorporan AgNPs frente a conservantes convencionales:

Para el desarrollo de esta sección se realizó inicialmente una revisión bibliográfica utilizando el criterio de búsqueda “silver nanoparticles AND cosmetics”. A partir de esta estrategia se identificaron un total de 50 artículos científicos, de los cuales 30 fueron excluidos por no cumplir con el criterio de actualidad temporal y 5 adicionales por no abordar directamente la temática de estudio.

De manera complementaria, se empleó el criterio de búsqueda “cosmetic preservatives AND stability AND compatibility”, obteniéndose igualmente 50 artículos. De este conjunto, se descartaron 35 publicaciones debido a su antigüedad y 1 artículo por falta de pertinencia con el objetivo de la investigación.

**Tabla 5.** Estabilidad y comportamiento fisicoquímico de formulaciones cosméticas que incorporan AgNPs.

Tipo de formulación	Conservante evaluado	Parámetros de estabilidad	Resultados relevantes	Compatibilidad con activos	Referencia
Leche corporal protectora UV-Vis	Nanopartículas de plata	Absorción UV-Vis, fotodegradación, tamaño y forma de AgNP, actividad antibacteriana, citotoxicidad.	Incremento de la banda de absorción UV-Vis respecto a la formulación sin AgNP; estabilidad del sistema híbrido, agente reductor y concentración de AgNO <sub>3</sub> .	El compuesto híbrido AgNP-extracto natural mejora la protección solar y presenta buena biocompatibilidad.	Arroyo et al. (2020)
Productos cosméticos comerciales	Nanopartículas de plata	Estabilidad en agentes de extracción, tamaño de partícula, concentración de Ag-NPs, análisis mediante sp-ICP-MS (Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente de partícula única) y TEM (Microscopía electrónica de transmisión)	Las nanopartículas de plata (Ag-NPs) presentaron una estabilidad condicionada por el agente de extracción; la solución de metanol al 0,1 % permitió optimizar la recuperación. El análisis evidenció la presencia de Ag-NPs con una amplia distribución de tamaños, detectándose partículas ≥ 33 nm mediante sp-ICP-MS.	Identificación de nanopartículas por debajo del límite de detección mediante TEM	Kantorová et al. (2021)
Cremas, geles tópicos, limpiadores faciales, jabones corporales, dentífricos y champús	Nanopartículas de plata	Estabilidad microbiológica; inhibición del crecimiento bacteriano y fúngico; eficacia en concentraciones bajas (0,0005–0,004 %)	Las Ag-NPs previenen el deterioro microbiano y mejoran la salud del consumidor al controlar bacterias asociadas a afecciones cutáneas, bucales y del cuero cabelludo.	Alta compatibilidad con activos cosméticos y farmacéuticos como flúor, agentes limpiadores, tensioactivos y compuestos dermatológicos sin afectar su eficacia.	Ong and Nyam (2022)
Cremas humectantes O/W	Nanopartículas de plata biogénicas (AgNP) vs. alcohol bencílico + etilhexilglicerina	Ensayo de eficacia conservante (UNE-EN ISO 11930); estabilidad microbiológica 30 días	Las AgNP (70 µg/mL) mostraron amplia actividad antimicrobiana frente a bacterias, levaduras y mohos, con	Totalmente compatibles con los ingredientes de la formulación; solubles en agua y de fácil incorporación	Mondéjar-López et al. (2021)

			eficacia conservante		
Cremas de protección solar	Nanopartículas de plata biogénicas (AgNP)	Estabilidad microbiológica; protección frente a radiación UV; actividad antioxidante	Las AgNP presentan amplio espectro antimicrobiano y alta capacidad antioxidante, contribuyendo a la estabilidad y eficacia del producto	Alta compatibilidad con ingredientes cosméticos y biorreductores de origen vegetal marino (algas y manglares); solubles en agua, seguras y viables para formulaciones de protección solar	Willian et al. (2023)
Productos cosméticos y de cuidado personal (pastas dentales, champús, tratamientos antiacné)	Nanopartículas de plata (nano plata / AgNP)	Estabilidad microbiológica; tamaño <100 nm; liberación controlada de iones Ag <sup>+</sup>	Presenta potente actividad antibacteriana y antifúngica frente a <i>S. epidermidis</i> , <i>E. coli</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>S. aureus</i> , entre otros, actuando como agente antiinfeccioso eficaz	Alta compatibilidad con formulaciones cosméticas; adecuada para sistemas con diversos activos sin comprometer su estabilidad ni eficacia	Abdulazeem, L., Hassan, F. G., Abed, M. J., Torki, W. S., & Naje, A. S. (2022).
Cremas fotoprotectoras (emulsión O/W)	Nanopartículas de plata (AgNP) biogénicas sintetizadas con extractos vegetales	Evaluación de FPS por método espectrofotométrico (ecuación de Mansur); pH (5,5–6,3); estabilidad física; viscosidad; prueba de parche	Las AgNP mostraron actividad fotoprotectora (FPS ≈ 0,60), estabilidad de la emulsión sin segregación de fases y propiedades fisicoquímicas adecuadas; contribuyen a la función fotoprotectora	Alta compatibilidad con extractos vegetales y otros nanomateriales cosméticos; adecuadas para formulaciones tópicas seguras y comercialmente viables	Shamaila et al. (2022)
Protectores solares, cremas, lociones, limpiadores y productos de maquillaje	Nanopartículas de plata (AgNP) (1–100 nm)	Estabilidad fisicoquímica; interacción con el microbioma cutáneo; persistencia y reactividad en la piel	Las AgNP interactúan inicialmente con el microbioma y luego con células superficiales de la piel, mostrando alto potencial funcional en cosmética	Compatibles con diversas formulaciones cosméticas; su seguridad y desempeño dependen de composición, tamaño, reactividad y comportamiento en la piel y el medio ambiente	Piluk et al. (2024)
Productos cosméticos avanzados (tratamientos antiacné,	Nanopartículas de plata (AgNP)	Estabilidad fisicoquímica; actividad antimicrobiana y antioxidante;	Las AgNP mejoran la protección UV, la estabilidad y textura del producto,	Alta compatibilidad con activos cosméticos; ampliamente utilizadas en la	Faraji et al. (2025)

protectores solares, anticaspa, productos antienvjecimiento y reparadores de la piel)		protección UV; penetración cutánea	presentan potente actividad antimicrobiana y antioxidante, contribuyen a efectos antienvjecimiento y aumentan la eficacia cosmética	industria, aunque requieren caracterización exhaustiva y regulación estricta por posibles riesgos de toxicidad y penetración cutánea	
Crema cosmeceúticas con enfoque sostenible	Nanopartículas de plata biogénicas (BbAgNP) sintetizadas con <i>Beauveria bassiana</i>	Tamaño promedio ≈ 41 nm; potencial zeta -23 mV; estabilidad térmica (25–100 °C); actividad antioxidante, antimicrobiana y fotoprotectora	Las BbAgNP mostraron amplio espectro antimicrobiano, actividad antioxidante (DPPH), baja toxicidad y aumentaron la protección solar de la crema hasta 2,6 veces sin afectar la estabilidad de la formulación	Alta compatibilidad con formulaciones cosmeceúticas; síntesis verde; ingredientes nanocosmeceúticos sostenibles y económicamente viables	Pillay et al. (2024)
Productos capilares (tintura de cabello)	Nanopartículas de plata (AgNP) encapsuladas en diatomita	Estabilidad de dispersión; tamaño uniforme; efectos de pH, temperatura, tiempo y concentración; solidez del color	Las AgNP soportadas en diatomita mostraron excelente estabilidad frente a agregación	Alta biocompatibilidad confirmada por ensayos de toxicidad dérmica y ocular <i>in vitro</i>	Tang et al. (2021)
Productos cosmeceúticos y de cuidado personal (tratamientos antiacné, crema, lociones)	Nanopartículas de plata (AgNP)	Propiedades fisicoquímicas; actividad antimicrobiana; evaluación de seguridad	Las AgNP presentan elevada eficacia antimicrobiana y son efectivas en el tratamiento del acné, destacándose entre las nanopartículas basadas en metales por sus beneficios funcionales en cosmeceútica	Alta eficacia cosmeceútica; requieren evaluación regulatoria rigurosa para minimizar riesgos asociados a toxicidad y sensibilidad cutánea; se promueven alternativas biocompatibles y síntesis verdes	Naveed et al. (2025)
Cosmeceúticos nanoformulados (cuidado de la piel, cabello, uñas y cuidado oral)	Nanopartículas de plata (AgNP)	Tamaño nanométrico (<100 nm); estabilidad en emulsiones y nanoemulsiones; liberación controlada cuando se emplean como nanotransportadores	Las AgNP contribuyen a la reducción del fotoenvjecimiento, arrugas y decoloración, mejoran la durabilidad y liberación controlada de fragancias y	Alta compatibilidad con sistemas nanoemulsionados y nanocápsulas; ampliamente adoptadas por la industria cosmeceútica global como parte de la tendencia creciente en nanocosmeceúticos	Włodarczyk and Kwarciak-Kozłowska (2021)

			aportan actividad antimicrobiana en múltiples categorías cosméticas		
Nanocremas dermatológicas para infecciones cutáneas	Nanopartículas de plata (AgNP) sintetizadas con <i>Curcuma caesia</i> (CcAgNP)	Tamaño ~200 nm; potencial zeta -15,9 mV; estabilidad coloidal; actividad antibacteriana (CMI, CMB, biopelícula)	Las CcAgNP mostraron alta eficacia antibacteriana frente a patógenos Gram-negativos multirresistentes ( <i>E. coli</i> y <i>K. pneumoniae</i> ), superando la ampicilina en modelos de celulitis; alteran la integridad de la membrana y el sistema antioxidante bacteriano	Alta compatibilidad para formulaciones tópicas, prometedor nanocosmético – dermocosmético para infecciones cutáneas, alineado con enfoques sostenibles e innovación en salud	Jaswanthika et al. (2025)
Cosméticos orales y dermatológicos (dentífricos, productos de cuidado de la piel, productos que se dejan actuar o se enjuagan)	Plata coloidal en nanoformas (AgNP)	Concentración notificada hasta 1 %; características fisicoquímicas y toxicológicas incompletas	La CE ha recibido notificaciones de productos cosméticos con nanoplata, pero la información presentada es insuficiente para una evaluación concluyente de seguridad	Presenta una elevada compatibilidad con formulaciones tópicas, lo que permite su incorporación segura y eficiente en productos de aplicación cutánea.	Noga et al. (2023)
Microemulsiones y nanoemulsiones con alto contenido de surfactantes no iónicos	Sistemas conservantes con y sin parabenos (PMEPBI, BP, PC)	Prueba de desafío; interacción conservante–surfactante; concentraciones de surfactantes (20–40 %)	Los surfactantes no iónicos (PHCO y PSO) inactivaron parabenos; los sistemas sin parabenos mostraron menor interferencia; PMEPI fue eficaz en nanoemulsiones.	La eficacia del conservante depende del tipo de surfactante, la proporción excipiente–conservante, la composición del sistema y la disponibilidad del conservante en la formulación.	De Oliveira Schmitt et al. (2022)

**Tabla 6.** Estabilidad y comportamiento fisicoquímico de formulaciones cosméticas que incorporan conservantes tradicionales.

Tipo de formulación	Conservante evaluado	Parámetros de estabilidad	Resultados relevantes	Compatibilidad con activos	Referencia
Productos de cuidado personal autoconservantes (champú, gel de ducha, crema)	Combinaciones sinérgicas de ingredientes multifuncionales (MFI) con actividad antimicrobiana	Actividad antimicrobiana (CMI); prueba de conservación hasta 28 días; estabilidad del producto	Las combinaciones sinérgicas de MFI mostraron mayor eficacia antimicrobiana que los componentes individuales y conservaron eficazmente las formulaciones durante 28 días	Alta compatibilidad con diferentes matrices cosméticas; adecuada interacción con otros ingredientes funcionales; permite formulaciones estables y seguras	Senthilkumar et al. (2024)
Emulsiones cosméticas antienvjecimiento	Mezclas sinérgicas de aceites esenciales ( <i>Thymus vulgaris</i> , <i>Origanum vulgare</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Lavandula angustifolia</i> , <i>Cinnamomum verum</i> )	Composición química (GC-MS); actividad antimicrobiana (FICI $\leq 0,375$ ); eficacia conservante (ISO 11930:2019); estabilidad oxidativa a 6 meses	Las mezclas ricas en timol, carvacrol y cinamaldehído mostraron actividad antimicrobiana de amplio espectro, reducción $\geq 50\%$ de CMI, cumplimiento ISO 11930, estabilidad oxidativa y extensión de la vida útil en 2–3 meses	Alta compatibilidad con formulaciones antienvjecimiento; buen desempeño sensorial ( $\geq 7,5/9$ ); alternativa sostenible y eficaz a conservantes sintéticos	Al-ebini et al. (2026)
Productos cosméticos y de cuidado personal (cremas, lociones, champús, geles)	Conservantes químicos tradicionales (piritionato de zinc, triclocarbán, piroctona olamina, parabenos, climbazol, IPBC, entre otros)	Estabilidad fisicoquímica; control microbiológico; efectos del pH, temperatura, solubilidad y partición O/W	Conservantes químicos garantizan la protección microbiológica del producto, pero existen preocupaciones sobre su seguridad a largo plazo	La compatibilidad depende de la formulación, el tipo de envase y la interacción con excipientes; sólidos minerales y orgánicos pueden reducir su eficacia; el uso de EDTA puede mejorar la penetración antimicrobiana	Alshehrei (2025)
Formulaciones cosméticas con surfactantes aniónicos y conservantes catiónicos	Conservantes catiónicos en presencia de especies aniónicas (sulfatos/sulfonatos y carboxilatos)	Interacción molecular (conductividad, CTI); prueba de desafío microbiológico; variación de entalpía	Se demostró que no todas las especies aniónicas inactivan conservantes catiónicos; las interacciones fuertes (sulfatos–catiónicos) reducen la eficacia conservante, mientras que interacciones débiles (carboxilatos)	Alta compatibilidad con sistemas que contienen aniones carboxilato; baja compatibilidad con sulfatos/sulfonatos; la correcta selección de excipientes permite un rendimiento antimicrobiano óptimo	Yuli et al. (2023)

			mantiene la actividad antimicrobiana		
Cosméticos para bebés y piel sensible (cremas, lociones, productos de higiene)	Conservantes tradicionales e ingredientes multifuncionales con actividad antimicrobiana	Cuantificación por HPLC y GC; límites de cuantificación; prueba de provocación microbiológica (USP); influencia de pH (4–6,5) y envase	Los contenidos de conservantes y multifuncionales estuvieron dentro de límites seguros; los sistemas conservantes superaron la prueba de desafío con reducciones $\geq 3$ log (bacterias) y $\geq 2$ log (hongos) y estabilidad hasta 28 días	Buena compatibilidad en formulaciones débilmente ácidas y envasadas en tubos plásticos; la eficacia conservante depende del pH, el tipo de sistema conservante y el envase, más que de la presencia individual de un conservante	Chen and Chang (2024)
Emulsiones cosméticas O/W (cremas tópicas)	Aceite esencial de <i>Lippia origanoides</i> (libre y microencapsulado)	Actividad antimicrobiana (CMI, CMB); estabilidad fisicoquímica (pH, centrifugación, estabilidad térmica); eficacia antioxidante; prueba comparativa con fenoxietanol/BHT	El aceite esencial mostró actividad antimicrobiana de amplio espectro con efecto bacteriostático y bactericida, las formulaciones con EO (especialmente microencapsulado) presentaron buena estabilidad física, térmica y microbiológica, manteniendo pH compatible con la piel	Alta compatibilidad con matrices cosméticas tópicas; mejora la estabilidad del pH y la aceptación sensorial; la microencapsulación favorece la estabilidad, control de liberación y potencial uso como conservante y antioxidante natural	Lopes et al. (2025)
Cosméticos, cosmeceúticos y productos de salud (cremas, lociones, geles, soluciones)	Parabenos (metil-, etil-, propil- y butilparabeno)	Propiedades fisicoquímicas; eficacia antimicrobiana; costo de producción; límites regulatorios	Los parabenos son conservantes eficaces, potentes y económicamente viables, con amplia aplicación en distintas formas farmacéuticas; sin embargo, su uso prolongado ha generado preocupaciones de seguridad por su detección en tejidos biológicos y posibles riesgos para la salud	Alta compatibilidad con múltiples formulaciones cosméticas; su uso está regulado por límites máximos de concentración para minimizar riesgos	Al-Halaseh et al. (2022)
Sérum antiedad para contorno de ojos	Sistema conservante y matriz cosmética seleccionados	Evaluación de seguridad (MSDS, CosIng, CIR, COSMILE);	La formulación mostró estabilidad fisicoquímica y farmacotécnica	Alta compatibilidad entre los ingredientes seleccionados;	Juncan et al. (2024)

	según MSDS e INCI	estabilidad fisicoquímica (4, 20 y 40 °C); calidad microbiológica y prueba de provocación	adecuada durante 30 días, cumplimiento de criterios microbiológicos y eficacia de la protección antimicrobiana mediante prueba de desafío	concentraciones dentro de límites regulatorios; adecuada interacción entre activos, conservantes y excipientes cosméticos	
Formulaciones cosméticas y farmacéuticas (soluciones, emulsiones, cremas y semisólidos)	Conservantes antimicrobianos (parabenos, fenoxietanol, alcohol bencílico, ácidos orgánicos, formaldehído y derivados)	Seguridad microbiológica; control de bacterias, hongos, levaduras y mohos; estabilidad del producto	El uso adecuado de conservantes previene la contaminación microbiana, evita el deterioro del producto y protege la salud del consumidor, garantizando la estabilidad, calidad y vida útil de los cosméticos	La compatibilidad del conservante con la forma farmacéutica y los excipientes es esencial; una selección adecuada asegura eficacia antimicrobiana sin alterar propiedades sensoriales ni funcionales del producto	Aachal and Khan (2023)
Emulsiones O/W tipo Pickering	Almidón de Zea mays + óxido de zinc + sistema conservante de amplio espectro	Estabilidad física (24 h, centrifugación); reología y textura; envejecimiento acelerado (40 °C, 3 meses); análisis sensorial	La incorporación de conservantes no afectó negativamente la estabilidad, viscosidad ni propiedades mecánicas; las formulaciones seleccionadas mantuvieron estabilidad fisicoquímica, pH y características organolépticas tras envejecimiento acelerado	Alta compatibilidad entre los agentes estabilizantes (almidón/ZnO) y los conservantes; permite mejorar la estabilidad sin comprometer la aplicación ni el perfil sensorial del producto	Tafuro et al. (2022)
Emulsiones cosméticas O/W autoconservantes	Reducción de actividad de agua mediante humectantes naturales + antimicrobianos multifuncionales	Actividad de agua ( $a_w$ ); prueba de provocación microbiológica; TEWL; hidratación cutánea	La reducción de $a_w$ ( $\approx 0,98 \rightarrow 0,87$ ) mediante humectantes naturales disminuyó significativamente el crecimiento microbiano; la adición de 0,5 % de caprilato de glicerilo y extracto de <i>Magnolia officinalis</i> aseguró una protección antimicrobiana eficaz y mejoró la	Alta compatibilidad cutánea; estrategia natural de autoconservación que sustituye conservantes convencionales y aporta beneficios fisiológicos a la piel	Nadarzynski et al. (2022)

			función barrera de la piel		
Cremas/emulsiones cosméticas para piel sensible y xerosis	Sistemas emulsionados con urea, acetato de tocoferilo y fenoxietanol	Reología (DWS); estabilidad ( $\Delta$ BS, TSI – Turbiscan); pH; estabilidad térmica (25–40 °C); microestructura	La estabilidad microestructural y reológica se correlacionó con mejor tolerabilidad cutánea; formulaciones optimizadas mantuvieron $\Delta$ BS y TSI bajos (< 1–1,5) incluso a 40 °C, con dosis uniforme, pH estable y menor exposición a surfactantes libres	Alta compatibilidad con piel sensible; selección adecuada de emolientes, ceras y conservante (fenoxietanol $\leq$ 1 %) aseguró estabilidad, buen perfil sensorial y seguridad microbiológica sin aumentar el riesgo de irritación	Mancuso et al. (2025)

Los conservantes químicos convencionales, como parabenos, fenoxietanol, piritionato de zinc, triclocarbán e IPBC, siguen siendo eficaces para la protección microbiológica de los cosméticos, pero su uso presenta limitaciones relacionadas con interacciones excipiente–conservante, pérdida de eficacia en presencia de ciertos surfactantes, restricciones regulatorias y preocupaciones de seguridad a largo plazo (Alshehrei, 2025; Al-Halaseh et al., 2022). En particular, se ha evidenciado que los surfactantes no iónicos pueden inactivar parabenos y que la eficacia conservante depende de la partición O/W, el pH y la composición de la formulación (De Oliveira Schmitt et al., 2022).

Frente a estos sistemas, las AgNPs presentan menor dependencia de la partición de fases y un mecanismo de acción múltiple basado en la liberación de  $Ag^+$  y la interacción directa con microorganismos, lo que reduce la interferencia de surfactantes y excipientes y explica su estabilidad en sistemas formulativos complejos (Piluk et al., 2024; Faraji et al., 2025). Las alternativas naturales y estrategias de autoconservación, como aceites esenciales y la reducción de la actividad de agua, han mostrado resultados prometedores, aunque presentan limitaciones sensoriales, variabilidad composicional y requerimiento de concentraciones elevadas, además de un espectro antimicrobiano más limitado en algunos casos (Al-ebini et al., 2026; Nadarzynski et al., 2022).

En comparación, las AgNPs ofrecen un amplio espectro antimicrobiano, estabilidad térmica y beneficios adicionales como actividad antioxidante y fotoprotectora, con alta compatibilidad con activos cosméticos y eficacia a concentraciones muy bajas, reduciendo la necesidad de sistemas sinérgicos complejos (Willian et al., 2023; Jaswanthika et al., 2025; Senthilkumar et al., 2024; Lopes et al., 2025). No obstante, su aplicación requiere una caracterización exhaustiva del tamaño, potencial zeta, liberación de  $Ag^+$ , penetración cutánea e impacto ambiental, con exigencias regulatorias comparables a las de los conservantes tradicionales, aunque con el valor añadido de la síntesis verde y el enfoque sostenible en el caso de AgNPs biogénicas (Piluk et al., 2024; Noga et al., 2023).

### 3.3 Evaluación del perfil de seguridad toxicológica de AgNP para uso cosmético:

Para esta sección se identificaron 100 artículos mediante el término de búsqueda “toxicity of silver nanoparticles and cosmetics”; de estos, 85 fueron descartados por criterios de temporalidad, 8 por haber sido incorporados previamente en la presente revisión y 1 adicional por no abordar directamente la temática de estudio.

Los estudios evidencian que las AgNPs son ampliamente empleadas en múltiples aplicaciones, incluyendo biodetección electrónica, textiles, cosméticos, protectores solares y dispositivos médicos, debido a sus propiedades antibacterianas y funcionales. Sin embargo, un número considerable de estudios *in vitro* reporta efectos citotóxicos asociados a la exposición a AgNP en diversas líneas celulares de mamíferos. (Jaswal and Gupta. 2021)

La literatura indica que la toxicidad de las AgNP sobre la salud humana está influenciada, en parte, por la liberación de iones de plata, los cuales contribuyen de manera significativa a los efectos adversos observados en las células. Adicionalmente, se identificó que la síntesis verde de nanopartículas de plata se asocia con una reducción de la toxicidad en comparación con otros métodos de producción. (Jaswal and Gupta. 2021)

Las nanopartículas de plata (AgNP) pueden ingresar al organismo por diversas vías, principalmente por ingestión, inhalación y contacto cutáneo; debido a su amplio uso en productos domésticos, cosméticos y biomédicos, la exposición humana puede ocurrir tanto en entornos ocupacionales como en escenarios de consumo. Una vez en contacto con el organismo, las AgNP pueden inducir procesos inflamatorios y estrés oxidativo en el sitio de exposición, atravesar distintas barreras biológicas y acceder a la circulación sistémica, donde se distribuyen hacia órganos específicos y generan efectos fisiopatológicos variables. (Ferdous and Nemmar 2020)

El contacto cutáneo constituye una vía importante de exposición a las AgNP, ya que pueden atravesar tanto la piel intacta como la lesionada y difundirse hacia capas más profundas, especialmente bajo exposiciones repetidas vinculadas al uso de cosméticos, textiles con propiedades antibacterianas y apósitos para heridas. Se ha descrito que esta ruta permite la penetración más allá del estrato córneo, con acumulación tisular y lesiones histopatológicas dependientes de la dosis, como la reducción del grosor de la epidermis y la capa papilar tras exposiciones agudas y subcrónicas. En el caso de los cosméticos, se estima que su aplicación puede representar alrededor del 20 % del uso total de AgNP. (Ferdous and Nemmar 2020)

Las AgNPs muestran citotoxicidad dependiente del tamaño, la dosis y el recubrimiento en diversos modelos celulares. En células pulmonares, concentraciones tan bajas como 0,6 nM ( $\approx 20$  nm) causan daño del ADN y muerte celular, mientras que en células bronquiales 6,25–50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  reducen significativamente la viabilidad y exposiciones crónicas de 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  inducen respuestas profibróticas. Las partículas más pequeñas ( $\approx 10$  nm) son las más tóxicas, asociadas a mayor liberación intracelular de  $\text{Ag}^+$ . (Ferdous and Nemmar 2020)

En hepatocitos, dosis de 1,95  $\mu\text{g}/10^6$  células o 40–160  $\mu\text{g}/\text{mL}$  provocan estrés oxidativo, aumento de LDH y citocinas, alteraciones del ciclo celular y apoptosis. En modelos intestinales,  $\approx 1$ –100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  ( $\approx 7$  nm) atraviesan la barrera epitelial. En queratinocitos, las AgNP no recubiertas reducen marcadamente la viabilidad, mientras que las recubiertas muestran menor toxicidad. En sangre, AgNP de 13–45 nm alteran coagulación y agregación plaquetaria a concentraciones  $\leq 100$   $\mu\text{g}/\text{mL}$ . En células madre, 0,5–50  $\mu\text{g}/\text{mL}$  disminuyen proliferación y función mitocondrial con apoptosis dosis-dependiente. (Ferdous and Nemmar 2020)

Los estudios *in vivo* confirman toxicidad órgano-específica y persistencia tisular (hasta 4 meses), con diferencias por sexo. En conjunto, el riesgo está determinado por tamaño ( $< 10$ –20 nm), dosis, recubrimiento y vía de exposición, persistiendo incertidumbres sobre el papel relativo de las formas iónicas vs. particuladas (Ferdous and Nemmar 2020)

Los estudios indican que, a las concentraciones empleadas en formulaciones cosméticas, las AgNP no presentan citotoxicidad significativa en células humanas. La penetración cutánea es limitada, con probabilidades estimadas entre 0,2 % y 2 % (0,002–0,02 ppm) cuando la barrera de la piel está comprometida, sin evidenciarse efectos citotóxicos asociados. Desde el punto de vista del tamaño, las nanopartículas  $< 10$  nm pueden penetrar parcialmente el estrato córneo, mientras que aquellas  $> 40$  nm alcanzan solo 5–8  $\mu\text{m}$ , sin acceder a capas cutáneas profundas. Ensayos de toxicidad dérmica aguda en modelos animales con formulaciones tóxicas de AgNP no mostraron efectos adversos celulares. En conjunto, estos resultados confirman que la citotoxicidad de las AgNP es dependiente del tamaño, la concentración y el estado de la piel, y que su uso tópico controlado presenta un perfil de seguridad favorable. (Husain et al. 2023)

Adicionalmente, las interacciones electrostáticas entre la superficie de las nanopartículas y biomoléculas cargadas se han relacionado con una mayor toxicidad, especialmente en AgNPs no recubiertas y a concentraciones elevadas. En este contexto, diversas estrategias de modificación superficial han demostrado ser eficaces para reducir la toxicidad, entre ellas la funcionalización con polietilenglicol, lípidos, polímeros y péptidos. De forma consistente, la conjugación de las AgNP con biomoléculas tioladas y fosfolípidos ha mostrado una mejora significativa en la biocompatibilidad y una reducción de los efectos citotóxicos en distintos modelos celulares. (Lekha et al., 2021)

La citotoxicidad de las AgNPs se asocia principalmente con su elevada reactividad superficial y la liberación intracelular de iones  $\text{Ag}^+$ , lo que promueve la generación de especies reactivas de oxígeno, la reducción de la actividad metabólica y la inducción de apoptosis en diversos tipos celulares, incluidos queratinocitos humanos. En este contexto, la encapsulación de AgNP se ha propuesto como una estrategia para mitigar su toxicidad al limitar el contacto directo de la superficie reactiva con las células. (Skóra et al., 2021)

En estudios realizados en células HaCaT, las AgNP encapsuladas en liposomas de L- $\alpha$ -fosfatidilcolina/colesterol formaron complejos homogéneos de aproximadamente 161 nm (Pdl = 0,171) sin presencia de nanopartículas libres. La encapsulación redujo la citotoxicidad en comparación con AgNP no encapsuladas, con disminuciones de aproximadamente 30 % a 100 nM y 10 % a 1 pM, evaluadas mediante ensayos de viabilidad celular y liberación de lactato deshidrogenasa. Adicionalmente, las nanopartículas encapsuladas mostraron una menor activación de caspasa-3 y una reducción significativa de ROS tras 1, 6, 48 y 72 h de exposición, lo que indica una atenuación de la apoptosis y del estrés oxidativo. En conjunto, estos resultados evidencian que la encapsulación liposomal disminuye de forma cuantificable la citotoxicidad de las AgNP en queratinocitos humanos, manteniendo su funcionalidad, y respalda su potencial uso en aplicaciones tópicas, como apósitos para heridas, donde la reducción del daño a células sanas es un requisito crítico. (Skóra et al., 2021)

En modelos celulares de colon humano, tanto normales (NCM460) como tumorales (HCT116), los resultados evidenciaron que la exposición a bajas concentraciones de AgNP (3–6  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) no produjo cambios significativos en la viabilidad celular ni en la expresión de marcadores de apoptosis. Sin embargo, concentraciones superiores ( $\geq 15 \mu\text{g}/\text{mL}$ ) indujeron una disminución progresiva de la viabilidad celular y un aumento del estrés oxidativo. De manera cuantitativa, a 60  $\mu\text{g}/\text{mL}$  la viabilidad se redujo hasta aproximadamente 60 % en células NCM460, mostrando una mayor sensibilidad en comparación con las células HCT116. Este efecto se asoció con un incremento dosis-dependiente de las especies reactivas de oxígeno, las cuales aumentaron en cerca de 50 % a 15  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y se duplicaron a 60  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , sin evidenciarse daño significativo de la membrana celular, según los niveles de LDH. (Jia et al., 2020)

Los análisis moleculares demostraron que las AgNP activan vías de apoptosis mediadas por estrés oxidativo, caracterizadas por el aumento de la fosforilación de P38, la sobreexpresión de P53, Bax y P21, y la regulación negativa de Bcl-2, lo que incrementa la relación Bax/Bcl-2 y favorece la muerte celular programada. En conjunto, estos resultados indican que las AgNP inducen citotoxicidad en células de colon humano de manera dependiente de la concentración, siendo seguras a dosis bajas, pero potencialmente dañinas a concentraciones superiores a 15  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . (Jia et al., 2020)

#### **3.4 Ventajas, limitaciones y desafíos del uso de nanopartículas de plata biosintetizadas en formulaciones cosméticas:**

Para esta sección se identificaron inicialmente 100 artículos utilizando el término de búsqueda “Advantages and limitations of silver nanoparticles in cosmetic formulations”. De este total, 85 estudios fueron excluidos por no cumplir con el criterio temporal establecido y 3 artículos adicionales se descartaron por no abordar de manera directa la temática objeto de análisis.

El desarrollo de la nanotecnología ha impulsado de manera significativa la innovación en la industria cosmética y cosmeceútica, favoreciendo la formulación de productos más eficaces y de mayor valor añadido, en este contexto, las AgNP han adquirido un papel relevante debido a sus destacadas propiedades antimicrobianas y antifúngicas, las cuales contribuyen a la protección de la piel, el cabello y las uñas frente a microorganismos patógenos, además de mejorar la estabilidad, la eficacia y la calidad estética de las formulaciones cosméticas (Hajleh et al., 2021). Estas características han favorecido su incorporación en diversos sectores industriales, como el alimentario, biomédico, textil y cosmético, donde se ha demostrado su capacidad para inhibir bacterias patógenas incluso a bajas concentraciones, asociada principalmente a su elevada relación superficie-volumen y alta reactividad química (Abbas et al., 2024; Gupta et al., 2022; Raszewska-Famielec & Flieger, 2022).

Desde el punto de vista funcional, las AgNP permiten mejorar la estabilidad de los ingredientes activos, optimizar su liberación y aumentar la biodisponibilidad, lo que se traduce en formulaciones cosméticas más duraderas y eficaces. Estas ventajas han impulsado su uso en productos de cuidado de la piel, maquillaje, esmaltes de uñas y formulaciones cosmeceúticas, donde se emplean como agentes antimicrobianos, antifúngicos y

antiinflamatorios, así como pigmentos funcionales en cosméticos de color (Hajleh et al., 2021; Ong & Nyam, 2022; Verma et al., 2025). Asimismo, se han desarrollado sistemas que combinan AgNP con antibióticos, antifúngicos y extractos vegetales, logrando potenciar su actividad antimicrobiana y ampliando su aplicación en productos tópicos y biomédicos (Burange et al., 2021).

Paralelamente al aumento de su uso, se han explorado diferentes métodos de síntesis de AgNP, destacándose la síntesis biológica o verde, especialmente a partir de residuos agroalimentarios y agrícolas, este enfoque se considera eficiente y sostenible, ya que permite valorizar materiales de desecho, reducir la contaminación ambiental y evitar el uso de reactivos químicos agresivos y costosos. Además, la síntesis verde resulta económicamente viable, requiere inversiones iniciales bajas, no demanda procesos complejos de separación y posibilita la obtención de nanopartículas con diversas formas y tamaños, lo que amplía su potencial funcional (Abbas et al., 2024; Rimsha Abbas., 2024). No obstante, estos métodos presentan limitaciones importantes, ya que la estabilidad y las características finales de las AgNP dependen de múltiples factores biológicos y fisicoquímicos, lo que dificulta el control preciso del tamaño y la morfología, limita la reproducibilidad y complica su producción a gran escala (Abbas et al., 2024).

A pesar de sus beneficios, el uso de AgNP plantea preocupaciones relevantes en términos de seguridad, su tamaño nanométrico facilita la penetración a través de la barrera cutánea, incluso en piel intacta, y permite su ingreso al organismo por inhalación, ingestión o absorción dérmica. Una vez en el organismo, estas partículas pueden atravesar barreras biológicas, acumularse en órganos como el hígado, el bazo, el cerebro y los riñones, y desencadenar efectos adversos como citotoxicidad, estrés oxidativo, inflamación, daño al ADN y alteraciones inmunológicas, especialmente tras exposiciones prolongadas (Hajleh et al., 2021; Burange et al., 2021; Samir, 2024; Raza & Lee, 2025). La toxicidad de las AgNP depende en gran medida de su tamaño y forma, siendo las partículas más pequeñas las más reactivas y peligrosas debido a su mayor capacidad para generar especies reactivas de oxígeno y liberar iones de plata ( $Ag^+$ ), lo que incrementa el daño celular (Abbas et al., 2024; Raszewska-Famielec & Flieger, 2022).

Además de los riesgos para la salud humana, las AgNP representan una preocupación ambiental significativa, ya que estas nanopartículas pueden liberarse durante la fabricación, el uso o la eliminación de productos cosméticos, persistir en el ambiente y acumularse en ecosistemas acuáticos, donde afectan microorganismos beneficiosos, invertebrados y peces incluso a bajas concentraciones. Su presencia puede alterar las cadenas tróficas, favorecer la bioacumulación y facilitar el transporte de contaminantes, generando impactos ecológicos a largo plazo (Hajleh et al., 2021; Gupta et al., 2022; Samir, 2024; Raza & Lee, 2025).

En este escenario, la evaluación regulatoria de las AgNP adquiere especial relevancia, sin embargo, la falta de normativas internacionales armonizadas dificulta una evaluación uniforme de los riesgos asociados a su uso. Aunque Europa cuenta con marcos regulatorios más estrictos, en otros contextos, como Estados Unidos, las recomendaciones de seguridad se han reforzado recientemente ante la creciente evidencia de posibles efectos adversos (Oliveira et al., 2022). Las agencias reguladoras enfatizan la necesidad de caracterizar detalladamente las propiedades fisicoquímicas de las AgNP y de realizar evaluaciones toxicológicas rigurosas, tanto agudas como crónicas, antes de su incorporación en productos cosméticos (Samir, 2024; Verma et al., 2025).

En conjunto, las AgNP representan una tecnología de alto potencial para la innovación cosmética y cosmeceútica, gracias a su potente actividad antimicrobiana y a su capacidad para mejorar la estabilidad y eficacia de las formulaciones. No obstante, su toxicidad potencial, los desafíos asociados a su síntesis y escalado, la persistencia ambiental y las limitaciones regulatorias hacen necesario un enfoque precautorio. El desarrollo de métodos de síntesis más controlados y sostenibles, junto con evaluaciones toxicológicas integrales y el fortalecimiento del marco regulatorio, resulta fundamental para garantizar un uso responsable de las AgNP y minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente (Abbas et al., 2024; Raza & Lee, 2025; Verma et al., 2025).

#### 4. CONCLUSIONES

Las AgNP obtenidas mediante síntesis fúngica se consolidan como una alternativa prometedora y sostenible para la industria cosmética, al ofrecer sistemas conservantes más seguros, biocompatibles y eficaces, con menor impacto toxicológico y ambiental que los métodos químicos tradicionales, gracias a su estabilidad, actividad antimicrobiana y al uso de procesos biotecnológicos respetuosos con el entorno.

Como consecuencia de la revisión, se concluyó que la incorporación de AgNP biosintetizadas podría disminuir la incidencia de reacciones adversas cutáneas asociadas a conservantes tradicionales; sin embargo, su aplicación práctica exige un control riguroso del tamaño, la concentración y la interacción con otros componentes de la formulación para garantizar la seguridad del consumidor.

A partir de las inferencias obtenidas, se propuso la hipótesis de que la naturaleza y composición de la corona fúngica modulan la liberación de iones plata y el equilibrio entre eficacia antimicrobiana y toxicidad cutánea, de igual manera, estrategias de encapsulación y funcionalización superficial pueden potenciar este balance protector.

Finalmente, se identificaron líneas de investigación futuras orientadas a la estandarización de procesos de biosíntesis, la evaluación de efectos crónicos y ambientales, el estudio de la interacción con el microbioma cutáneo y el desarrollo de marcos regulatorios específicos, aspectos clave para consolidar el uso responsable de nanopartículas biosintetizadas en la industria cosmética y cosmeceútica.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por concederme la fortaleza, la claridad y la constancia necesarias para alcanzar este significativo logro académico. Expreso mi profundo agradecimiento a mis padres: a mi madre, por su amor incondicional, su esfuerzo permanente para impulsarme a salir adelante y su apoyo inquebrantable; y a mi padre, por su comprensión y por ser ejemplo de perseverancia y sacrificio a lo largo de mi proceso formativo. A mi abuelita, le agradezco infinitamente por su ternura, sus enseñanzas y sus oraciones, que fueron un sostén fundamental en los momentos más difíciles. A Manuel, por su cariño, comprensión, su apoyo y su compañía durante esta etapa tan importante. A mi familia cercana, por su acompañamiento constante y por estar siempre pendientes de mí durante este camino. A todas las personas que me incluyeron en sus oraciones, gracias por su respaldo espiritual y su presencia continua. Asimismo, agradezco a los docentes que contribuyeron a mi formación académica compartiendo sus conocimientos y brindándome orientación. De manera especial, expreso mi gratitud a mi tutor, Yhors Ciro, por su dedicación, acompañamiento y valiosos aportes académicos, no solo en la elaboración de este trabajo, sino a lo largo de toda mi carrera. A todas las personas que hicieron parte de este proceso, les expreso mi sincero agradecimiento y espero que este logro las haga sentirse tan orgullosas como yo de haber contado con su apoyo.

#### 6. DECLARACION DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Los autores declaran que no han usado herramientas de inteligencia artificial (IA) en la creación de este artículo

#### 7. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses

#### 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achal, P., & Khan, N. (2023, December 31). *A review on microbial control and preservatives of cosmetics*. <https://ijrpas.com/HTMLPaper.aspx?Journal=International%20Journal%20of%20Research%20in%20Pharmacy%20and%20Allied%20Science;PID=2023-2-6-1>

Abbas, R., Luo, J., Qi, X., Naz, A., Khan, I. A., Liu, H., Yu, S., & Wei, J. (2024). *Silver nanoparticles: synthesis, structure, properties and applications*. *Nanomaterials*, 14(17), 1425. <https://doi.org/10.3390/nano14171425>

- Abdel-Hadi, A., Iqbal, D., Alharbi, R., Jahan, S., Darwish, O., Alshehri, B., Banawas, S., Palanisamy, M., Ismail, A., Aldosari, S., Alsaweed, M., Madkhali, Y., Kamal, M., & Fatima, F. (2023). *Myco-Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Bioactive Role against Pathogenic Microbes*. *Biology*, 12(5), 661. <https://doi.org/10.3390/biology12050661>
- Abdulazeem, L., Hassan, FG, Abed, MJ, Torki, WS y Naje, AS (2023). *Nanopartículas en cosméticos: lo que desconocemos sobre seguridad y riesgos ocultos. Una mini reseña*. *Global Nest Journal* , 25 (1), 1-5.
- Ahmad, N., Malik, M. A., Wani, A. H., & Bhat, M. Y. (2024). *Biogenic silver nanoparticles from fungal sources: Synthesis, characterization, and antifungal potential*. *Microbial Pathogenesis*, 193, 106742. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2024.106742>
- Al-ebini, Y., Al-Hasnaawei, S., M, R. M., Ray, S., Chennakesavulu, K., Sharma, V., & Messa, S. (2026). *Synergistic essential oil blends: chemical composition, antimicrobial activity and antioxidant properties for cosmetic preservation*. *Flavour and Fragrance Journal*. <https://doi.org/10.1002/ffj.70055>
- Al-Halaseh, L. K., Al-Adaileh, S., Mbaideen, A., Hajleh, M. N. A., Al-Samydai, A., Zakaraya, Z. Z., & Dayyih, W. A. (2022). *Implication of parabens in cosmetics and cosmeceuticals: Advantages and limitations*. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(8), 3265–3271. <https://doi.org/10.1111/jocd.14775>
- Alkafajy, SA y Abdul-Jabbar, RA (2020). *Efectos integrales de los parabenos en la fisiología humana*. *Ann Trop Med Salud Pública*,23(S20).
- Alshehrei, F. M. (2025). *Preservation of Cosmetics against Microbial Contamination*. *Mathews Journal of Dermatology*, 9(1). <https://doi.org/10.30654/mjde.10028>
- Alves, M. F., & Murray, P. G. (2022). *Biological Synthesis of Monodisperse Uniform-Size Silver Nanoparticles (AgNPs) by Fungal Cell-Free Extracts at Elevated Temperature and pH*. *Journal of Fungi*, 8(5), 439. <https://doi.org/10.3390/jof8050439>
- Al-Zaban, M. I., Mahmoud, M. A., & Alharbi, M. A. (2021). *A polyphasic approach to the characterization of potential silver-nanoparticles-producing and non-producing isolates of Alternaria species and antifungal activity against mycotoxigenic fungi*. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 290–302. <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1875876>
- Arroyo, G. V., Madrid, A. T., Gavilanes, A. F., Naranjo, B., Debut, A., Arias, M. T., & Angulo, Y. (2020). *Green synthesis of silver nanoparticles for application in cosmetics*. *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 55(11), 1304–1320. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1790953>
- Bae, JS, Lee, JD, Song, SW, Shin, HC, Choi, YK, Shin, CY, ... y Kim, KB (2021). *Estudio de toxicidad de dosis repetidas subcutáneas de butilparabeno durante trece semanas y su toxicocinética en ratas*. *Archivos de Toxicología*,95(6), 2037-2050.
- Basheer, M. A., Abutaleb, K., Abed, N. N., & Mekawey, A. A. (2023). *Mycosynthesis of silver nanoparticles using marine fungi and their antimicrobial activity against pathogenic microorganisms*. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 21(1), 127. <https://doi.org/10.1186/s43141-023-00572-z>
- Burange, P. J., Tawar, M. G., Bairagi, R. A., Malviya, V. R., Sahu, V. K., Shewatkar, S. N., Sawarkar, R. A., & Mamurkar, R. R. (2021). *Synthesis of silver nanoparticles by using Aloe vera and Thuja orientalis leaves extract and their biological activity: a comprehensive review*. *Bulletin of the National Research Centre/Bulletin of the National Research Center*, 45(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00639-2>
- Buzek, J. (2009). *Reglamento (CE) n.º 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre los productos cosméticos*. *Off. J. Eur. Union L* , 342 , 59.

Cardoza, C., Nagtode, V., Pratap, A., & Mali, S. N. (2022). *Emerging applications of nanotechnology in cosmeceutical health science: Latest updates*. *Health Sciences Review*, 4, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.hsr.2022.100051>

Chen, T., & Chang, H. (2024). *Deciphering trends in replacing preservatives in cosmetics intended for infants and sensitive population*. *Scientific Reports*, 14(1), 19053. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69624-9>

Comunidad Andina. (2018). *Decisión N° 833: Armonización de legislaciones en materia de productos cosméticos*. <https://www.comunidadandina.org/DocOficialesFiles/decisiones/DECISION833.docx>

De Oliveira Schmitt, P., Fischer, A. F., Da Silva, R. M. L., & Cruz, A. B. (2022). *Compatibility and efficiency of preservatives in emulsive cosmetics containing high surfactant content*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902022e191088>

Faraji, S. N., Karami-Darehnanaji, M., Takallu, S., Taqanaki, E. R., & Salmanpour, M. (2025). *Advances of gold and silver nanoparticles for various skincare and cosmetics*. In Elsevier eBooks (pp. 103–112). <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-30184-1.00010-7>

Ferdous, Z., & Nemmar, A. (2020). *Health impact of silver nanoparticles: A review of the biodistribution and toxicity following various routes of exposure*. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2375. <https://doi.org/10.3390/ijms21072375>

Gupta, V., Mohapatra, S., Mishra, H., Farooq, U., Kumar, K., Ansari, M., Aldawsari, M., Alalaiwe, A., Mirza, M., & Iqbal, Z. (2022). *Nanotechnology in Cosmetics and Cosmeceuticals—A review of latest advancements*. *Gels*, 8(3), 173. <https://doi.org/10.3390/gels8030173>

Hajleh, M. N. A., Abu-Huwajj, R., AL-Samydai, A., Al-Halaseh, L. K., & Al-Dujaili, E. A. (2021). *The revolution of cosmeceuticals delivery by using nanotechnology: A narrative review of advantages and side effects*. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(12), 3818–3828. <https://doi.org/10.1111/jocd.14441>

Husain, S., Nandi, A., Simnani, F. Z., Saha, U., Ghosh, A., Sinha, A., Sahay, A., Samal, S. K., Panda, P. K., & Verma, S. K. (2023). *Emerging trends in advanced translational applications of silver Nanoparticles: A Progressing Dawn of Nanotechnology*. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(1), 47. <https://doi.org/10.3390/jfb14010047>

Jaswal, T., & Gupta, J. (2021). *A review on the toxicity of silver nanoparticles on human health*. *Materials Today Proceedings*, 81, 859–863. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.266>

Jaswanthika, S., Ranjani, S., & Hemalatha, S. (2025). *Biocompatible silver nanoparticles to develop dermo-cosmetic and dermatological products for cellulitis*. *BioNanoScience*, 16(1). <https://doi.org/10.1007/s12668-025-02266-x>

Jia, M., Zhang, W., He, T., Shu, M., Deng, J., Wang, J., Li, W., Bai, J., Lin, Q., Luo, F., Zhou, W., & Zeng, X. (2020). *Evaluation of the genotoxic and oxidative damage potential of silver nanoparticles in human NCM460 and HCT116 cells*. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(5), 1618. <https://doi.org/10.3390/ijms21051618>

Juncan, A. M., Rus, L., Morgovan, C., & Loghin, F. (2024). *Evaluation of the Safety of Cosmetic Ingredients and Their Skin Compatibility through In Silico and In Vivo Assessments of a Newly Developed Eye Serum*. *Toxics*, 12(7), 451. <https://doi.org/10.3390/toxics12070451>

Kantorová, V., Loula, M., Kaňa, A., & Mestek, O. (2021). *Determination of silver nanoparticles in cosmetics using single particle ICP-MS*. *Chemical Papers*, 75(11), 5895–5905. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01763-z>

Khatkar, A. Nanda, A.; Narasimhan, B. *Problemas asociados a los conservantes y posibles alternativas*. *Currents. Trends Biotechnology*. 2022, 100–112.

Khodashenas, B. y Ghorbani, HR (2019). *Síntesis de nanopartículas de plata con diferentes formas*. Arabian Journal of Chemistry , 12 (8), 1823-1838.

Lekha, D. C., Shanmugam, R., Madhuri, K., Dwarampudi, L. P., Bhaskaran, M., Kongara, D., Tesfaye, J. L., Nagaprasad, N., Bhargavi, V. L. N., & Krishnaraj, R. (2021). *Review on Silver Nanoparticle synthesis Method, antibacterial activity, drug delivery vehicles, and toxicity Pathways: Recent advances and future aspects*. Journal of Nanomaterials, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/4401829>

Lopes, M. F., Gomes, S. M., Oliveira, W. P., & Santos, L. (2025). *Exploring the Antioxidant and Preservative Potential of Lippia origanoides Kunth Essential Oil in Pure and Encapsulated Forms for Cosmetic Applications*. Cosmetics, 12(4), 160. <https://doi.org/10.3390/cosmetics12040160>

Mancuso, A., Silletta, A., Verdiglione, M., D'Avanzo, N., Barone, A., Sacco, J., Cristiano, M. C., & Paolino, D. (2025). *Cosmetics for sensitive skin: Assessing rheological properties, stability, and safety*. Cosmetics, 12(6), 239. <https://doi.org/10.3390/cosmetics12060239>

Mansoor, S., Zahoor, I., Baba, T. R., Padder, S. A., Bhat, Z. A., Koul, A. M., & Jiang, L. (2021). *Fabrication of silver nanoparticles against fungal pathogens*. Frontiers in Nanotechnology, 3. <https://doi.org/10.3389/fnano.2021.679358>

Mistry, H., Thakor, R., Patil, C., Trivedi, J., & Bariya, H. (2020). *Biogenically proficient synthesis and characterization of silver nanoparticles employing marine procured fungi Aspergillus brunneoviolaceus along with their antibacterial and antioxidative potency*. Biotechnology Letters, 43(1), 307–316. <https://doi.org/10.1007/s10529-020-03008-7>

Mondéjar-López, M., López-Jiménez, A. J., Abad-Jordá, M., Rubio-Moraga, A., Ahrazem, O., Gómez-Gómez, L., & Niza, E. (2021). *Biogenic Silver Nanoparticles from Iris tuberosa as Potential Preservative in Cosmetic Products*. Molecules, 26(15), 4696. <https://doi.org/10.3390/molecules26154696>

Nadarzynski, A., Scholz, J., & Schröder, M. S. (2022). *Skin Barrier Enhancing Alternative Preservation Strategy of O/W Emulsions by Water Activity Reduction with Natural Multifunctional Ingredients*. Cosmetics, 9(3), 53. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9030053>

Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Sajadi, S. M., & Issaabadi, Z. (2019). *Green Nanotechnology*. In *Interface science and technology* (pp. 145–198). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813586-0.00005-5>

Naveed, M., Javed, T., Zavar, M. D., Shafqat, U., Taj, M. B., Wasim, M., Batool, M., & Zavar, M. A. (2025). *Applications of heavy metal-based nanoparticles in cosmetics: a comprehensive review*. Cutaneous and Ocular Toxicology, 44(1), 95–112. <https://doi.org/10.1080/15569527.2025.2472156>

Nevcihan GÜRSOY. (2020). *Fungus-mediated synthesis of silver nanoparticles (agnp) and inhibitory effect on aspergillus spp. in combination with antifungal agent*. Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, Sivas, 58140.

Noga, M., Milan, J., Frydrych, A., & Jurowski, K. (2023). *Toxicological Aspects, safety Assessment, and Green Toxicology of Silver Nanoparticles (AGNPS)—Critical Review: State of the Art*. International Journal of Molecular Sciences, 24(6), 5133. <https://doi.org/10.3390/ijms24065133>

Oliveira, C., Coelho, C., Teixeira, J. A., Ferreira-Santos, P., & Botelho, C. M. (2022). *Nanocarriers as Active Ingredients Enhancers in the Cosmetic Industry—The European and North America regulation challenges*. Molecules, 27(5), 1669. <https://doi.org/10.3390/molecules27051669>

Ong, W. T. J., & Nyam, K. L. (2022). *Evaluation of silver nanoparticles in cosmeceutical and potential biosafety complications*. Saudi Journal of Biological Sciences, 29(4), 2085–2094. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.01.035>

Osorio-Echavarría, J., Osorio-Echavarría, J., Ossa-Orozco, C. P., & Gómez-Vanegas, N. A. (2021). *Synthesis of silver nanoparticles using white-rot fungus Anamorphous Bjerkandera sp. R1: influence of silver nitrate concentration and fungus growth time*. Scientific Reports, 11(1), 3842. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82514-8>

Pillay, B., Amobonye, A., Bhagwat, P., & Pillai, S. (2024). *Beauveria bassiana facilitated silver nanoparticles in cosmetic formulation: Antimicrobial, antioxidant, and photocatalytic activity*. Nano-Structures & Nano-Objects, 39, 101300. <https://doi.org/10.1016/j.nanos.2024.101300>

Piluk, T., Faccio, G., Letsiou, S., Liang, R., & Freire-Gormaly, M. (2024). *A critical review investigating the use of nanoparticles in cosmetic skin products*. Environmental Science Nano, 11(9), 3674–3692. <https://doi.org/10.1039/d4en00489b>

Poddębniak, P., & Kalinowska-Lis, U. (2024). *A Survey of Preservatives Used in Cosmetic Products*. Applied Sciences, 14(4), 1581. <https://doi.org/10.3390/app14041581>

Raszewska-Famielec, M., & Flieger, J. (2022). *Nanoparticles for Topical application in the Treatment of skin Dysfunctions—An Overview of Dermo-Cosmetic and dermatological products*. International Journal of Molecular Sciences, 23(24), 15980. <https://doi.org/10.3390/ijms232415980>

Raza, M., & Lee, H. Y. (2025). *Review on Harnessing Silver Nanoparticles for therapeutic Innovations: A Comprehensive Review on Medical Applications, Safety, and Future Directions*. Current Topics in Medicinal Chemistry, 26. <https://doi.org/10.2174/0115680266405632250929122554>

Ribeiro, L. G., Roque, G. S. C., Conrado, R., & De Souza, A. O. (2023). *Antifungal activity of mycogenic silver nanoparticles on clinical yeasts and phytopathogens*. Antibiotics, 12(1), 91. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12010091>

Rimsha Abbas 1,2, Jingjing Luo 1,2, Xue Qi 1,2, Adeela Naz 1,2, Imtiaz Ahmad Khan 1,2, Haipeng Liu 1,2, Suzhu Yu 1,2,\* and Jun Wei 1,2,3. (2024). *Silver Nanoparticles: Synthesis, Structure, Properties and Applications*. Shenzhen Key Laboratory of Flexible Printed Electronics Technology, Harbin Institute of Technology (Shenzhen). 14, 1425. <https://doi.org/10.3390/nano14171425>

Samir, L. a. G. J. S. S. D. (2024). *Nanoparticales in cosmetics, What we don't know about safety and hidden risks. A mini-review*. Global NEST Journal. [https://journal.gnest.org/publication/gnest\\_04304](https://journal.gnest.org/publication/gnest_04304)

Santos, T. S., Silva, T. M., Cardoso, J. C., De Albuquerque-Júnior, R. L. C., Zielinska, A., Souto, E. B., Severino, P., & Da Costa Mendonça, M. (2021). *Biosynthesis of silver nanoparticles mediated by entomopathogenic fungi: antimicrobial resistance, nanopesticides, and toxicity*. Antibiotics, 10(7), 852. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070852>

Senthilkumar, K., Vijayalakshmi, A., Jagadeesan, M., Somasundaram, A., Pitchiah, S., Gowri, S. S., Alharbi, S. A., Ansari, M. J., & Ramasamy, P. (2024). *Preparation of self-preserving personal care cosmetic products using multifunctional ingredients and other cosmetic ingredients*. Scientific Reports, 14(1), 19401. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57782-9>

Shamaila, S., Jalil, A., Ishfaq, M., & Sharif, R. (2022). *Nano-technological aspects of zinc oxide and silver in cosmetics*. Journal of Applied Physics, 131(16). <https://doi.org/10.1063/5.0088069>

Shkreli, R., Terziu, R., Memushaj, L., & Dharmo, K. (2022). *Formulation and stability evaluation of a cosmetics emulsion loaded with different concentrations of synthetic and natural preservative*. Journal of Biological Studies, 5(1), 38–51. <https://doi.org/10.62400/jbs.v5i1.6373>

Skóra, B., Piechowiak, T., Szychowski, K. A., & Gmiński, J. (2021). *Entrapment of silver nanoparticles in L- $\alpha$ -phosphatidylcholine/cholesterol-based liposomes mitigates the oxidative stress in human keratinocyte (HaCaT)*

cells. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 166, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2021.06.006>

Soleimani, P., Mehrvar, A., Michaud, J., & Vaez, N. (2022). *Optimization of silver nanoparticle biosynthesis by entomopathogenic fungi and assays of their antimicrobial and antifungal properties*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 190, 107749. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2022.107749>

Sonbol, H., Mohammed, A. E., & Korany, S. M. (2022). *Soil fungi as biomediator in silver nanoparticles formation and antimicrobial efficacy*. Taylor & Francis. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.2147/IJN.S356724#d1e804>

Tafuro, G., Di Domenico, E., Costantini, A., Francescato, S., Busata, L., Baratto, G., & Semenzato, A. (2022). *Stability and Application Properties of Surfactant-Free cosmetic emulsions: An instrumental approach to evaluate their potential*. *Cosmetics*, 9(6), 123. <https://doi.org/10.3390/cosmetics9060123>

Tang, Y., Zhang, Z., Yang, S., Smith, G. J., & Liu, L. (2021). *Diatomite encapsulated AgNPs as novel hair dye cosmetics: Preparation, performance, and toxicity*. *Colloids and Surfaces B Biointerfaces*, 200, 111599. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.111599>

Tang, Z., & Du, Q. (2024). *Mechanism of action of preservatives in cosmetics*. *Journal of Dermatologic Science and Cosmetic Technology*, 1(4), 100054. <https://doi.org/10.1016/j.jdsct.2024.100054>

Verma, K., Papney, K., Saini, H., & Ledwani, L. (2025). *Nano miracles, big impact: An overview of nanoparticles in cosmetic industry*. *AIP Conference Proceedings*, 3253, 020003. <https://doi.org/10.1063/5.0247540>

Willian, N., Pardi, H., Fitriyah, D., & Yetti, R. D. (2023). *Silver nanoparticles in cosmetics: a new challenge using marine resources*. *BIO Web of Conferences*, 79, 12004. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237912004>

Włodarczyk, R., & Kwarciak-Kozłowska, A. (2021). *Nanoparticles from the Cosmetics and Medical Industries in Legal and Environmental Aspects*. *Sustainability*, 13(11), 5805. <https://doi.org/10.3390/su13115805>

Yassin, M. A., Elgorban, A. M., El-Samawaty, A. E. M., & Almunqedhi, B. M. (2021). *Biosynthesis of silver nanoparticles using *Penicillium verrucosum* and analysis of their antifungal activity*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(4), 2123–2127. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.01.063>

Yuli, I., Tzafrir, I., & Salama, P. (2023). *Compatibility Investigation of Cationic Surfactants with Anionic Species*. *Cosmetics*, 10(2), 45. <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020045>