



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Odontología
Especialidad en Endodoncia



**Eficacia antimicrobiana del uso de nanopartículas de plata como irrigante en
endodoncia: revisión sistemática**

PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN ENDODONCIA

PRESENTA:

C.D. Mario Daniel Rodríguez Sánchez

ASESOR DE TESIS: Dra. Gabriela López Torres

COASESOR DE TESIS: Dr. Benigno Miguel Calderón Rojas

Morelia, Michoacán, México

Diciembre, 2025

Dedicatoria

A mis padres, quienes fueron mi motivo de inspiración, ellos me dieron su amor incondicional y apoyo en todo momento. A mi hermano Mayo, quien me enseñó a no ser conformista y nunca rendirme. A mi familia quienes siempre me recibieron con cariño y alegría. A Eve, quien siempre creyó en mí y estuvo a mi lado apoyándome siempre, incluso en los momentos más difíciles.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a la Dra. Gabriela López Torres por su orientación profesional, sus consejos y confianza que depositó en este proyecto desde sus inicios.

Al Dr. Benigno Miguel Calderón Rojas por su constante retroalimentación, críticas constructivas, disponibilidad y paciencia.

Extiendo mi gratitud a mis tutores académicos.

Al Dr. Luis Alberto Pantoja Villa por su apoyo como coordinador general del área de Odontología en el Centro Universitario de Estudios de Posgrado e Investigación.

Al Dr. Martin Alberto Loeza Ramírez por sus incontables consejos aportados en las aulas y clínicas.

A la Dra. Laysa Yanina García Chávez por impulsar nuestros conocimientos y enseñarnos la importancia de no ser conformistas.

A la Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo, la Facultad de Odontología y el Centro Universitario de Posgrados e Investigación por brindarme el espacio para llevar a cabo mi formación académica y profesional.

Un agradecimiento especial al personal de la clínica, de la biblioteca y al personal administrativo.

Finalmente un agradecimiento a mis amigos Pepe, Yuri, Jonnathan, Quetzali, David, Karla, Nico, Esbeiry, Gina, Cheliz, Oscar, Cinthya, Diego, Iovani, Liz y Omar, su humor y apoyo emocional en los momentos más estresantes fue el motivo de que siguiera adelante cada día.

Índice

	Dedicatoria	2
	Agradecimientos	3
	Índice	4
	Resumen	6
	Abstract	7
	Introducción	8
	Marco teórico	10
1.1	Antecedentes generales	10
	Concepto de irrigación	11
	Objetivos de la irrigación	11
	Hipoclorito de sodio (NaOCl)	12
	Mecanismo de acción del NaOCl	12
	Clorhexidina (CHX)	13
	Mecanismo de acción de la CHX	13
	Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)	14
	Mecanismo de acción del EDTA	14
	Nanopartículas de plata (AgNPs)	15
	Mecanismo de acción de las AgNPs	17
1.2	Antecedentes específicos	18
2.	Problema de estudio	20
2.1	Definición del problema	20

2.2	Pregunta de investigación	21
2.3	Justificación	21
2.4	Objetivos	22
2.4.1	Objetivo general	22
2.4.2	Objetivos específicos	22
3.	Material y método	22
4.	Resultados	24
5.	Discusión	30
6.	Conclusiones	35
7.	Referencias	36
8.	Anexos	47

Resumen

Objetivo: Identificar, mediante una revisión sistemática de la literatura, la eficacia del uso de nanopartículas de plata como irrigante en endodoncia.

Materiales y métodos: Se utilizó la base de datos PubMed para la selección y revisión de artículos. La estrategia de búsqueda incluyó las palabras clave «Nanopartículas», «Irrigantes de conductos radiculares» y «Endodoncia». Se incluyeron artículos originales en inglés publicados entre enero de 2020 y agosto de 2025. Se excluyeron artículos publicados en otros idiomas, revisiones sistemáticas, metaanálisis, informes de casos, artículos de opinión y editoriales. Se siguieron las directrices PRISMA para la realización de esta revisión sistemática y se utilizó el formato PICOS como guía para la selección de artículos.

Resultados: La búsqueda inicial arrojó 43 resultados, de los cuales 34 publicaciones fueron excluidas tras la selección, quedando 9 artículos incluidos en la revisión. En algunos estudios las nanopartículas de plata (AgNPs) demostraron una actividad antifúngica superior en comparación con otras soluciones irrigadoras, y las biosintetizadas destacaron por su mayor eficacia y menor toxicidad en comparación con las sintetizadas químicamente. Sin embargo, en cuatro estudios que compararon las AgNPs con el hipoclorito de sodio (NaOCl), las AgNPs mostraron mayor eficacia solo en uno. Además, al compararlas con otras soluciones como la clorhexidina (CHX) y la mezcla QMix, las AgNPs presentaron menor eficacia antibacteriana.

Conclusión: Las AgNPs demostraron una actividad antifúngica superior en comparación con otras soluciones irrigadoras. La activación de AgNPs mediante técnicas como PIPS y PUI aumenta su eficacia antimicrobiana.

Abstract

Objective: To identify, through a systematic literature review, the efficacy of using silver nanoparticles as an irrigant in endodontics.

Materials and methods: The PubMed database was used for article selection and review. The search strategy included the keywords "Nanoparticles," "Root canal irrigants," and "Endodontics." Original articles in English published between January 2020 and August 2025 were included. Articles published in other languages, systematic reviews, meta-analyses, case reports, opinion pieces, and editorials were excluded. The PRISMA guidelines were followed for conducting this systematic review, and the PICOS format was used as a guide for article selection.

Results: The initial search yielded 43 results, of which 34 publications were excluded after selection, leaving 9 articles included in the review. In some studies, silver nanoparticles (AgNPs) demonstrated superior antifungal activity compared to other irrigating solutions, with biosynthesized AgNPs standing out for their greater efficacy and lower toxicity compared to chemically synthesized ones. However, in four studies comparing AgNPs with sodium hypochlorite (NaOCl), AgNPs showed greater efficacy in only one. Furthermore, when compared to other solutions such as chlorhexidine (CHX) and QMix, AgNPs exhibited lower antibacterial efficacy.

Conclusion: AgNPs demonstrated superior antifungal activity compared to other irrigating solutions. Activation of AgNPs using techniques such as PIPS and PUI increases their antimicrobial efficacy.

Palabras clave: nanopartículas de plata, antimicrobiano, antibacteriano e irrigantes

Introducción:

La endodoncia es la rama de la odontología que estudia la biología de la pulpa dental y la etiología, el diagnóstico, la prevención y el tratamiento de enfermedades y lesiones de la pulpa, así como de las afecciones perirradiculares asociadas; el tratamiento de conductos radiculares consiste de diferentes procedimientos, uno de ellos es la irrigación, que consiste en utilizar agentes químicos para disolver el tejido pulpar y neutralizar los productos bacterianos y toxinas (Asociación Americana de Endodoncia, 2020). Sin embargo, la morfología del sistema de conductos radiculares es compleja con áreas inaccesibles como ramificaciones de conductos apicales, istmos e irregularidades anatómicas, donde puede haber bacterias en forma de biopelículas (Versiani, 2023). Las bacterias pueden persistir debido a los factores de virulencia que alteran la respuesta del huésped, su capacidad de penetrar los túbulos dentinarios y sobrevivir con escasez de nutrientes, además, de su resistencia a algunos agentes antimicrobianos (Wong, 2021). Las bacterias pueden alcanzar los tejidos periapicales a través de conductos apicales/laterales o perforaciones iatrogénicas estimulando su inflamación (Siqueira, 2018).

La irrigación en endodoncia tiene el propósito de eliminar productos de desechos microbianos, destruir las biopelículas adosadas a las paredes del conducto radicular, disolver materia orgánica y facilitar el trabajo de las limas endodónticas al lubricar el conducto. El agente químico más utilizado en endodoncia es el NaOCl debido, entre otras características, a su amplio espectro antimicrobiano y su capacidad para disolver el tejido pulpar, sin embargo, tiene como desventaja su toxicidad. En la actualidad, se investigan diversos agentes químicos como alternativas posibles a utilizarse durante la

irrigación. Una de estas alternativas, son las nanopartículas de plata (AgNPs) las cuales han sido objeto de estudio debido a sus múltiples aplicaciones biomédicas y farmacéuticas. Las AgNPs presentan propiedades antimicrobianas y capacidad de eliminar microorganismos resistentes a múltiples fármacos, por lo que son el nanomaterial metálico más usado para este propósito (Afkhami et al., 2023; Capuano et al., 2023). En endodoncia, las AgNPs han recibido atención por su actividad antimicrobiana contra biopelículas (Shrestha et al., 2016), la resolución de lesiones periodontales y endodónticas (Halkai et al., 2018), biocompatibilidad (Eckhardt et al., 2013) y propiedades antiinflamatorias (Wong et al., 2009). Es por ello que el objetivo de la presente revisión sistemática es identificar, mediante la consulta de literatura actual, la eficacia del uso de nanopartículas de plata como irrigante en endodoncia.

Capítulo 1. Marco Teórico

1.1 Antecedentes generales

El área de la endodoncia abarca ciencias básicas y clínicas como el estudio de la pulpa normal, la etiología, el diagnóstico, la prevención, el tratamiento de enfermedades y lesiones de la pulpa, así como afecciones perirradiculares asociadas (AAE, 2020). La preparación del conducto radicular consiste de procedimientos mecánicos y químicos que tienen como finalidad la limpieza, conformación y desinfección del conducto radicular (Soares et al., 2012). Sin embargo, la morfología del conducto radicular plantea desafíos para lograr una limpieza y desinfección óptimas debido a la presencia de conductos laterales, ramificaciones apicales, istmos, curvaturas y conductos ovalados (Versiani et al., 2023). Esto facilita la prevalencia de microorganismos y la formación de biopelículas en las paredes de los conductos radiculares. Los microorganismos, una matriz extracelular y una superficie son los tres componentes básicos que constituyen la estructura de una biopelícula o biofilm. La formación del biofilm sigue un proceso de cuatro etapas: A) Adhesión, en donde las células microbianas se unen a una superficie; B) Acumulación, en donde ocurre una proliferación de las bacterias unidas a la superficie, coadhesión de microorganismos y se produce una matriz extracelular; C) Maduración, en la cual influyen factores como el quorum sensing, aquí las bacterias han desarrollado sistemas que les permiten percibir cambios, para evaluar si se mantienen dentro del biofilm; D) Separación, aquí las bacterias se desprenden de la biopelícula y buscan un ambiente que presente las condiciones ideales para su supervivencia (Cervantes et al., 2017). Las biopelículas pueden persistir a pesar del trabajo mecánico de las limas endodónticas durante la

instrumentación, estudios como el realizado por Peters et al. (2003) han demostrado que la instrumentación por sí sola deja un porcentaje considerable de áreas del sistema de conductos radiculares sin tocar (Peters et al., 2003). Por este motivo es importante el conocimiento de las propiedades químicas de diferentes alternativas de soluciones irrigantes como las AgNPs, con el fin de facilitar la limpieza y desinfección de los conductos radiculares, buscando mejorar el pronóstico y el éxito del tratamiento endodóntico.

Concepto de irrigación

En el Glosario de Términos Endodónticos de la Asociación Americana de Endodoncia (AAE, 2020) describe a la irrigación como “el lavado mediante corriente de líquido que facilita la eliminación física de materiales del conducto y la introducción de productos químicos con actividad antimicrobiana” (p. 29). Asimismo, Berman et al. (2022) señalan que “la irrigación es el lavado de una cavidad corporal o una herida con agua o algún líquido con medicación” (p. 270).

Objetivos de la irrigación

La irrigación es el proceso en el tratamiento endodóntico que tiene como objetivos eliminar materiales del conducto radicular, introducir productos químicos con actividad antimicrobiana, destruir biopelículas, diluir tejidos orgánicos, brindar control de hemorragia, lubricar el conducto, evitar la formación de barrillo dentinario, además de reducir la fricción entre los instrumentos con la dentina y mejorar la eficacia de corte de las limas (AAE, 2020; Basrani, 2015; Berman et al., 2022).

Hipoclorito de sodio (NaOCl)

La solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) es un líquido transparente, pálido, de color amarillo verdoso, fuertemente alcalino con un fuerte olor a cloro; tiene una acción disolvente sobre el tejido orgánico y es un potente agente antimicrobiano; se utiliza para irrigar los conductos radiculares, ya sea en soluciones puras o diluidas (AAE, 2020).

El NaOCl es un agente lubricante, tiene efecto blanqueador, actividad antimicrobiana de amplio espectro, es disolvente de tejido orgánico, es el único irrigante capaz de alterar las biopelículas y puede inactivar endotoxinas. Sin embargo, el NaOCl presenta un sabor desagradable, es corrosivo para los metales, es una solución inestable que pierde su eficacia durante la disolución de tejido orgánico por lo que es necesaria su reposición constante, tiene alta toxicidad, es incapaz de eliminar la capa de barro dentinario, reduce la flexión, microdureza y adhesión a la dentina (Gomes et al., 2023).

Mecanismo de acción del NaOCl

El NaOCl ejerce su función como irrigante endodóntico a través de dos mecanismos esenciales que son la disolución de tejido orgánico y la eliminación de microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares.

a) Saponificación

En primer lugar, durante la saponificación, el NaOCl actúa como disolvente de tejido orgánico, ya que degrada los ácidos grasos y los lípidos, lo cual da lugar a la formación de glicerol (Estrela et al., 2002).

b) Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana del NaOCl se debe a su alto pH ($\text{pH} > 11$), que interfiere en la integridad de la membrana citoplasmática de las bacterias debido a las cloraminas formadas cuando el ácido hipocloroso presente en la solución de hipoclorito de sodio y los iones de hipoclorito conducen a una hidrólisis de los aminoácidos (Estrela et al., 2002). La cloraminación causa inhibición enzimática irreversible, alteraciones biosintéticas en el metabolismo celular y degradación de fosfolípidos (Basrani, 2015).

Clorhexidina (CHX)

De acuerdo con el Glosario de Términos Endodónticos de la Asociación Americana de Endodoncia (2020), la clorhexidina (CHX) “es un agente antiséptico bis-biguanida utilizado para prevenir la colonización de microbios y para matar o inhibir microorganismos en superficies el cual es conocido por su sustantividad”.

La CHX tiene una alta capacidad de unión a la dentina, efecto antimicrobiano prolongado llamado sustantividad, que puede prevenir la recolonización bacteriana después del tratamiento endodóntico. Sin embargo, carece de acción disolvente de tejido orgánico, no es capaz de alterar la matriz de sustancias poliméricas extracelulares, presenta una actividad antimicrobiana de menor espectro en comparación con NaOCl (Boutsioukis, 2022).

Mecanismo de acción de la CHX

La actividad antimicrobiana de la CHX se debe a su pH de 5.5 a 7, en el que la unión de su molécula catiónica a la pared celular microbiana cargada negativamente ocasiona una alteración del equilibrio osmótico de las células. En concentraciones más altas causa una precipitación y coagulación de las células bacterianas, probablemente

debido a la reticulación de proteínas, lo que ocasiona la muerte celular. La CHX es eficaz contra bacterias grampositivas, gramnegativas, anaerobios estrictos, facultativos y hongos, en particular *Candida albicans* (Gomes, 2013).

Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)

De acuerdo con el Glosario de Términos Endodónticos de la Asociación Americana de Endodoncia (2020), el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es:

Un sólido blanco cristalino e inodoro cuyas diversas sales son solubles en agua; la sal disódica del EDTA en una solución acuosa tamponada se utiliza como agente quelante en la preparación de conductos radiculares; se utiliza para eliminar el calcio, desmineralizar, ablandar la dentina y eliminar la capa de barrillo dentinario. (p.17)

El EDTA es un agente ácido (pH 7.3) utilizado en endodoncia como quelante en la preparación de conductos radiculares calcificados. Algunas de sus propiedades son su alta capacidad de eliminar el barrillo dentinario, su biocompatibilidad con los tejidos periapicales y mejora la adhesión de selladores endodónticos en la dentina. Sin embargo tiene una limitada actividad antimicrobiana y disminuye la microdureza de la dentina (Mohammadi et al., 2013).

Mecanismo de acción del EDTA

El EDTA funciona en endodoncia como quelante durante la preparación de conductos radiculares gracias a que cuando entra en contacto con la dentina, este se une a sus iones calcio, formando complejos solubles que ocasionan la

desmineralización del componente inorgánico. Este proceso permite la eliminación de la capa de barrillo dentinario generada durante la instrumentación mecánica, exponiendo los túbulos dentinarios facilitando la penetración de irrigantes y medicamentos, mejorando la limpieza del sistema de conductos radiculares (Hülsmann et al., 2013).

Nanopartículas de plata (AgNPs)

En la década de 1840, se informó del uso del nitrato de plata (AgNO_3) como el primer compuesto de plata usado para prevenir la caries (Peng et al., 2012). Después en 1859 Tomes lo utilizó como agente desensibilizante para la hipersensibilidad dentinaria (Tomes, 1859). En 1917 se creó la solución de nitrato de plata amoniacal de Howe (AgNH_3NO_3), la cual se creía que penetraba sobre la dentina con caries y tenía un efecto antibacteriano. En la década de 1970, el fluoruro de diamina de plata (SDF) ganó la aceptación del Consejo Farmacéutico Central del Ministerio de Salud y Bienestar de Japón como agente terapéutico gracias a varios estudios que demostraron la reducción de la solubilidad del tejido dental frente a la exposición a ácidos químicos (Peng et al., 2012). En el año 2000, el Dr. Freitas Jr. introdujo el término nanodontología desarrollando nanomateriales (Raura et al., 2020).

Los nanomateriales contienen partículas con dimensiones que son medidas a escala nanométrica las cuales pueden estar separadas, combinadas o aglomeradas. Las nanopartículas que han sido objeto de estudio recientemente son las AgNPs las cuales tienen dimensiones de 1 a 100 nm. Estas nanopartículas tienen múltiples aplicaciones biomédicas y farmacéuticas gracias a sus propiedades antimicrobianas y

capacidad de eliminar microorganismos resistentes a múltiples fármacos, por lo que son el nanomaterial metálico más usado para este propósito (Afkhami et al., 2023; Capuano et al., 2023).

El tamaño de las AgNPs tiene un impacto en su potencial antibacteriano, mientras más pequeñas sean estas, mayor eficacia contra las bacterias proveerán (Lu et al., 2013). Se ha reportado que las AgNPs poseen un efecto antimicrobiano sobre diferentes bacterias gram-positivas y gram-negativas como *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *Fusobacterium nucleatum* (*F. nucleatum*), *Streptococcus mutans* (*S. mutans*), *Streptococcus sanguis* (*S. sanguis*), *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* (*A. actinomycetemcomitans*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*) (Bruna et al., 2021), *Cutibacterium acnés* (*C. acnés*), *Actinomyces radicidentis* (*A. radicidentis*), *Staphylococcus epidermidis* (*S. epidermidis*), *Streptococcus mitis* (*S. mitis*) (Ioannidis et al., 2019), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Escherichia coli* (*E. coli*) y *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*) (Capuano et al., 2023). Así como un estudio reveló que las bacterias no generan resistencia contra las AgNPs y en combinación con la CHX, estas brindan una actividad antibacteriana a largo plazo contra bacterias resistentes a múltiples fármacos como el *E. faecalis* (Zheng et al., 2018). También se ha demostrado que las AgNPs tienen la capacidad de inhibir virus que afectan el sistema inmune como el virus de la influenza, herpes y hepatitis tipo B. Esto se debe a que las AgNPs se unen a glicoproteínas virales, las cuales reconocen receptores celulares impidiendo que el virus se adhiera a una célula huésped (Galdiero et al., 2017). Se ha probado que las AgNPs tienen propiedades antifúngicas contra algunas cepas de hongos como *Candida albicans* (*C.*

albicans), *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) y *Trichosporon beigelii* (*T. beigelii*). Esto como resultado de la liberación elevada de glucosa y trehalosa ocasionando una ruptura o aumento en la permeabilidad de la membrana celular, dañando progresivamente la célula hasta su muerte (Kim et al., 2009). Se comprobó que las AgNPs tienen propiedades antiinflamatorias y que estas pueden reducir la formación de adherencias peritoneales en abrasiones superficiales, observándose menos macrófagos y menos neutrófilos en los tejidos tratados con AgNPs, indicando una reducción del proceso de adhesión. Esto sugiere que las AgNPs reducen la inflamación modulando citoquinas proinflamatorias como el Interferon-gamma (Wong et al., 2009).

En endodoncia, las AgNPs han recibido atención por su actividad antimicrobiana contra biopelículas (Shrestha et al., 2016), resolución de lesiones periodontales, endodónticas o combinadas (Halkai et al., 2018), biocompatibilidad (Eckhardt et al., 2013) y propiedades antiinflamatorias (Wong et al., 2009).

Mecanismo de acción de las AgNPs:

Las AgNPs ejercen su función como irrigante endodóntico a través de dos mecanismos que son la liberación de iones de plata y la acumulación de estas en la pared celular de los microorganismos.

a) Liberación de iones de plata

La actividad antimicrobiana de las AgNPs consiste en la liberación constante de iones los cuales se adhieren electroestáticamente a la pared y membrana citoplasmática, aumentando su permeabilidad, causando la ruptura de la envoltura

celular de los microorganismos. Después de la captación de los iones de plata libres, ocurre la desactivación de enzimas respiratorias generando especies reactivas de oxígeno que interrumpen la producción de trifosfato de adenosina, provocando la ruptura de la membrana celular, modificando el ácido desoxirribonucleico (ADN), impidiendo su replicación, deteniendo la replicación bacteriana e incluso podría causar la eliminación de los microorganismos. Además los iones de plata pueden inhibir la síntesis de proteínas desnaturizando los ribosomas en el citoplasma (Yin et al., 2020).

b) Acumulación de AgNPs en la pared celular

Las AgNPs que tienen dimensiones menores de 10 nm pueden matar bacterias debido a la acumulación de estas en las hendiduras que se forman en la pared celular después de que se anclan en la superficie, lo que puede causar la desnaturalización de la membrana. También tienen la capacidad de penetrar las paredes celulares y posteriormente cambiar la estructura de la membrana de las bacterias. Las AgNPs pueden interrumpir la transducción de señales bacterianas por desfosforilación de residuos de tirosina, provocando apoptosis y terminación de la multiplicación celular (Yin et al., 2020).

1.2 Antecedentes específicos

Bhandi et al. (2021) realizaron una revisión sistemática para identificar estudios en donde se utilizaron nanopartículas de plata como irrigante de conductos radiculares, además evaluaron si estas presentan un efecto antimicrobiano. La revisión siguió la guía PRISMA, y se utilizó el formato PICOS para la inclusión de los artículos. Los criterios de inclusión consistieron en artículos publicados en idioma inglés donde se

utilizaron raíces de dientes con conductos radiculares infectados, nanopartículas de plata en forma de suspensión o solución, estudios con grupo control sin el uso de nanopartículas de plata, evaluaciones de la actividad antibacteriana mediante microscopía confocal o cultivos bacterianos y estudios ex vivo. La estrategia de búsqueda incluyó las bases de datos Pubmed, Embase, Web of Science y Scopus. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda fueron endodoncia, nanopartículas de plata, antimicrobiano, antibacteriano e irrigantes. Dos investigadores seleccionaron de manera independiente estudios según los criterios de inclusión establecidos. Se incluyeron 5 artículos en la revisión. Los estudios mostraron una reducción en el número de bacterias pero en ninguno de ellos se demostró la eliminación total de microorganismos cuando se usaron las nanopartículas de plata. Los resultados demuestran que las nanopartículas de plata tienen un efecto antimicrobiano, pero depende de diferentes factores como el tamaño de partícula y el tiempo de contacto.

Mousavi et al. (2023) realizaron una revisión sistemática para evaluar el efecto de las nanopartículas de plata en el tratamiento de conductos radiculares. La revisión se realizó con la guía PRISMA y se usó el formato PICO para la inclusión de los artículos. Los criterios de inclusión consistieron en artículos publicados en idioma inglés y estudios in vitro. La estrategia de búsqueda incluyó las bases de datos PubMed, Scopus, Science Direct, ISI, Web of Knowledge y Embase; se utilizaron los operadores booleanos AND y OR, algunas de las palabras clave empleadas fueron “nanoparticles”, “adverse effects”, “classification”, “toxicity”, “root canal preparation”, “root canal therapy”, “root canal obturation”, “root canal irrigant”, “administration and dosage”. Se incluyeron y analizaron 8 artículos. La revisión señala que las nanopartículas de plata

tienen un alto efecto antimicrobiano previniendo la persistencia de microorganismos en el tratamiento de conductos radiculares, además menciona que el tamaño de las nanopartículas, la concentración y el tiempo de desinfección puede alterar las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas de plata por lo que se requieren más estudios en este tema.

Capítulo 2. Problema de estudio

2.1 Definición del problema

El éxito del tratamiento endodóntico involucra diversos factores entre los que se incluyen la calidad de la obturación y de la restauración, sin embargo, el elemento que más influye para este fin es la eliminación de la infección intraconducto (Chandra et al., 2009). La compleja anatomía del conducto radicular aunado al tejido pulpar necrótico proporciona a las bacterias un entorno nutritivo, cálido y húmedo que facilita su colonización; las bacterias tienen la capacidad de formar biopelículas lo que las hace más resistentes a los agentes antimicrobianos. Algunos ejemplos de bacterias encontradas en el conducto radicular infectado son *Dialister invisus*, *Porphyromonas endodontalis*, *Treponema denticola*, *Enterococcus faecalis*, *Veillonella parvula* y *Streptococcus spp* (Berman & Hargreaves, 2022).

La irrigación es el procedimiento en el que se introducen agentes químicos en el conducto radicular buscando promover la eliminación física de materiales, la actividad antimicrobiana, la disolución de tejido pulpar y el control de hemorragias (Asociación Americana de Endodoncia, 2020). El hipoclorito de sodio (NaOCl) y la clorhexidina

(CHX) son algunos de los irrigantes utilizados en el tratamiento endodóntico. El NaOCl es considerado el irrigante de elección debido a su eficacia contra un amplio espectro de microorganismos y su capacidad para disolver tejido orgánico; a pesar de esto, este agente químico presenta desventajas como su toxicidad e incapacidad para remover barrillo dentinario (Ali et al., 2022). La CHX se ha utilizado como irrigante endodóntico debido a su actividad antimicrobiana, sustentividad y menor grado de citotoxicidad en comparación con el NaOCl; sin embargo, es incapaz de disolver tejido orgánico (Haapasalo et al., 2014).

2.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es la eficacia antimicrobiana del uso de nanopartículas de plata como irrigante en endodoncia?

2.3 Justificación

La compleja anatomía de los conductos radiculares es un reto en la endodoncia debido a que favorecen la colonización bacteriana y la formación de biopelículas, aumentando su resistencia contra soluciones desinfectantes.

Las nanopartículas de plata se han estudiado como una alternativa por sus propiedades antimicrobianas en distintas áreas de la salud. Sin embargo, su propuesta como posible agente desinfectante intrarradicular en endodoncia es reciente, por lo tanto, es relevante conocer los estudios de los últimos años que evalúen su efectividad.

La presente revisión aportará información actualizada a la comunidad endodóntica, los resultados contribuirán como herramienta en la toma de decisiones para la planificación del tratamiento de casos con infecciones persistentes.

2.4 Objetivos

2.4.1 Objetivo general

Identificar, mediante una revisión sistemática de la literatura, la eficacia del uso de nanopartículas de plata como irrigante en endodoncia.

2.4.2 Objetivos específicos

- Determinar si existe relación entre el tamaño de las nanopartículas de plata y su eficacia antimicrobiana.
- Identificar los vehículos de las nanopartículas de plata empleados como irrigantes en endodoncia.

3. Material y método

La investigación corresponde a un estudio transversal, documental, no experimental.

La presente revisión sistemática siguió los lineamientos PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analysis), los cuales fueron publicados en 2009 y se diseñaron para ayudar a los investigadores a informar de manera transparente el motivo por el que se realizó la revisión, el procedimiento desarrollado y los resultados. La actualización de los lineamientos PRISMA 2020 fue

diseñada principalmente para revisiones sistemáticas de estudios en donde se evalúan los efectos de las intervenciones sanitarias (Page et al., 2021).

Para la búsqueda y selección de los artículos se utilizó la base de datos de Pubmed. En la estrategia de búsqueda se utilizaron los siguientes términos MeSH: “*Nanoparticles*”, “*Root Canal Irrigants*” y “*Endodontics*”, de tal manera que la fórmula de búsqueda fue ((Nanoparticles) AND (Root Canal Irrigants)) AND (Endodontics). Los criterios de elegibilidad se establecieron de acuerdo al formato PICO:

P (Conductos radiculares y bloques de dentina infectados)

I (Nanopartículas de plata)

C (Irrigantes convencionales)

O (Efectividad).

Se incluyeron artículos de investigaciones originales, publicados en idioma inglés entre el mes de enero de 2020 y agosto de 2025. Se excluyeron artículos publicados antes del periodo de búsqueda, revisiones sistemáticas, metaanálisis, reportes de caso, artículos de opinión, editoriales y artículos publicados en otro idioma que no fuera inglés. Dos investigadores analizaron y seleccionaron los artículos según los criterios de inclusión establecidos, un tercer revisor fungió como árbitro en los casos de discrepancia.

4. Resultados

Al realizar la búsqueda con la fórmula previamente establecida, se encontraron un total de 43 registros. Después de realizar el cribado, se excluyeron 34 publicaciones. Fueron incluidos un total de 9 artículos en la presente revisión sistemática (Figura 1).

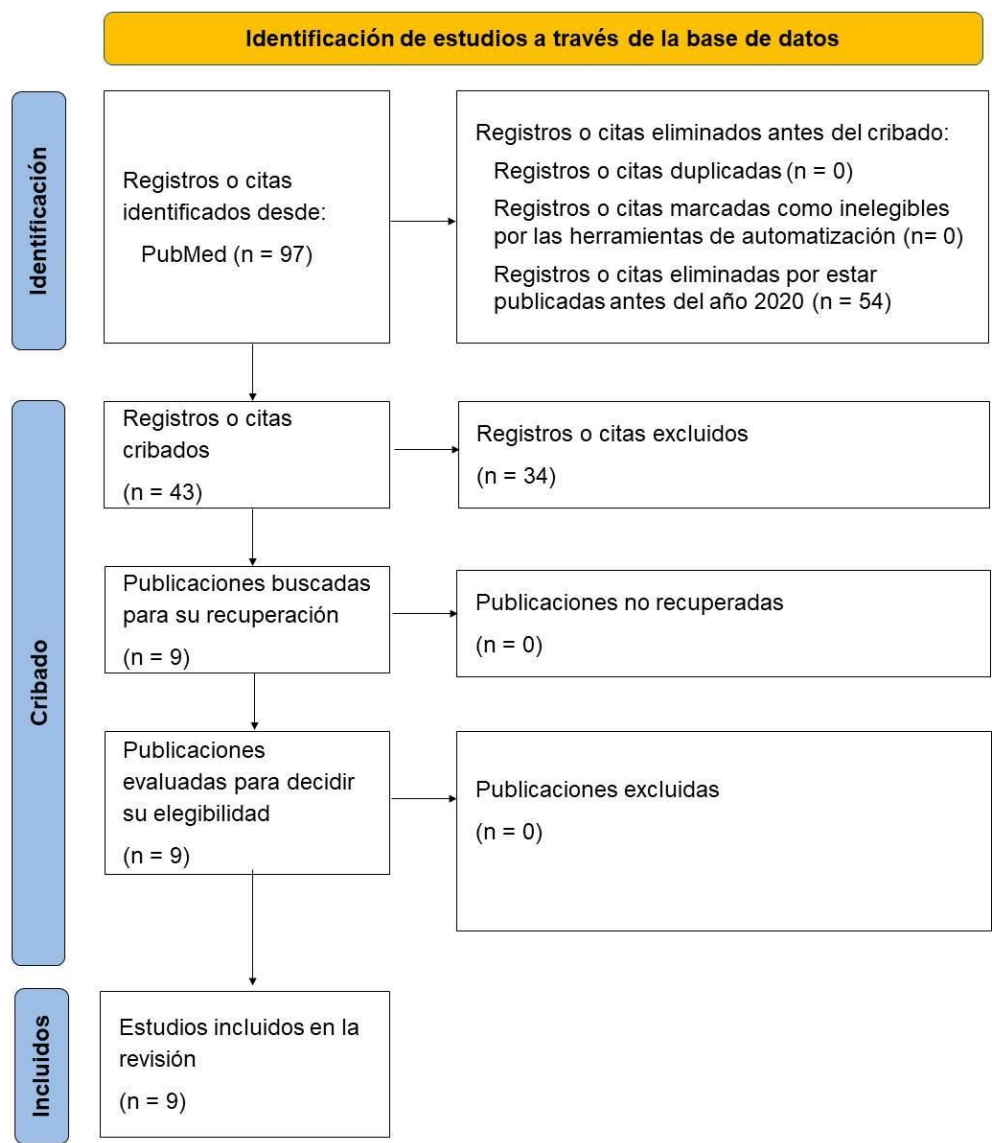


Figura 1. Flujograma de PRISMA

Afkhami et al. (2021) evaluaron la eficacia antibacteriana contra el *E. faecalis* de las AgNPs activadas con ultrasonido, transmisión fotoacústica inducida por fotones (PIPS), terapia fotodinámica (TFD) y activación manual. En un total de 59 dientes humanos unirradiculares extraídos se inoculó *E. faecalis*; las muestras se dividieron en 5 grupos: A) AgNPs solas, B) AgNPs activadas con transmisión fotoacústica inducida por fotones (PIPS), C) AgNPs activadas con terapia fotodinámica (TFD) con verde de indocianina (ICG), D) AgNPs activadas con irrigación ultrasónica pasiva (PUI) y E) AgNPs activadas mediante activación dinámica manual (MDA). Los resultados mostraron una reducción significativa en el número de colonias de *E. faecalis* en todos los grupos, con la reducción máxima en los grupos de PIPS y PUI con un 91.03% y 91.29% respectivamente. Se concluyó que la activación de AgNPs con PIPS y PUI mejora la eficacia en la eliminación del *E. faecalis*.

Hendi et al. (2021) evaluaron la eficacia antibacteriana contra el *E. faecalis* de 4 protocolos de desinfección endodóntica. Se incluyeron 90 dientes humanos extraídos los cuales se instrumentaron, se esterilizaron y se infectaron con *E. faecalis*. Las muestras se dividieron en 4 grupos experimentales: A) NaOCl al 5%, B) AgNPs, C) Láser de diodo y D) AgNPs seguido de irradiación con láser de diodo. Se evaluó el conteo de unidades formadoras de colonias antes y después de la intervención. Los resultados mostraron una disminución significativa en el recuento de colonias para todos los grupos siendo el NaOCl el irrigante que mostro mayor reducción, seguido de las AgNPs solas.

Oncu et al. (2022) evaluaron la eficacia antifúngica contra *C. albicans* de tres irrigantes endodónticos: AgNPs, NaOCl al 5.25% y CHX al 2%. Un total de 40 bloques de dentina de dientes humanos extraídos se dividieron en 5 grupos (n = 8): A) control negativo, dentina estéril sin contaminación ni tratamiento; B) control positivo, dentina contaminada con *C. albicans* sin tratamiento; C) dentina con *C. albicans* e irrigación con NaOCl al 5.25%; D) dentina con *C. albicans* e irrigación con CHX al 2%; E) dentina con *C. albicans* e irrigación con AgNPs. Cada grupo fue evaluado mediante pruebas microbiológicas y análisis por microscopia electrónica de barrido. Los resultados mostraron que las AgNPs presentaron el mayor efecto antifúngico, seguido del grupo de CHX al 2%. El grupo de NaOCl al 5.25% mostró el menor efecto antifúngico.

Alkhourbotly et al. (2022) evaluaron la eficacia antibacteriana del NaOCl, QMix y AgNPs como irrigantes endodónticos contra el *E. faecalis*. En un total de 45 molares humanos extraídos se inoculó *E. faecalis*. Las muestras se dividieron en 3 grupos (n=15): A) (control) NaOCl, B) (experimental) QMix, y C) (experimental) AgNPs. Los resultados mostraron en todos los grupos una reducción en el recuento de *E. faecalis*, QMix mostró la mayor eficacia antibacteriana seguido del NaOCl y las AgNPs. Se concluyó que QMix presentó la mayor eficacia contra el *E. faecalis*.

Oncu et al. (2024) compararon la eficacia antibacteriana contra *E. faecalis* de las AgNPs, el NaOCl, la CHX y el ácido hipocloroso (HOCl). Se utilizaron 64 bloques de dentina de dientes caninos maxilares extraídos divididos en 7 grupos: A) NaOCl al 5.25%, B) NaOCl al 2.5%, C) NaOCl al 1%, D) CHX al 2%, E) HOCl, F) AgNPs, G)

control negativo. Los resultados muestran que la mayor actividad antibacteriana se presentó en los grupos de NaOCl, seguido de la CHX al 2%, AgNPs y HOCl.

Chandran et al. (2024) compararon las propiedades antimicrobianas y citotóxicas de las AgNPs biosintetizadas y las AgNPs químicamente sintetizadas contra el *E. faecalis*. Este estudio in vitro se estructuró en 2 fases: 1) Síntesis y caracterización de AgNPs y 2) Evaluación de su actividad antibacteriana y citotoxicidad contra el *E. faecalis*. Se utilizaron cultivos en agar de cepas de *E. faecalis* y se dividieron en 4 grupos: A) AgNPs biosintetizadas con extracto de *Azadirachta indica*, B) AgNPs químicamente sintetizadas, C) NaOCl y D) Solución salina. Los resultados mostraron que la solución del grupo A tuvo una actividad antimicrobiana superior y una menor citotoxicidad a comparación del grupo B. Se concluyó que las AgNPs biosintetizadas poseen efecto antimicrobiano contra el *E. faecalis*.

Imandar et al. (2024) evaluaron la eficacia antimicrobiana contra el *E. faecalis* del diclorhidrato de octenidina, solución superoxidada, agua ozonizada, AgNPs y Qmix como irrigantes endodónticos. En 150 dientes humanos unirradiculares extraídos se inoculó *E. faecalis*; las muestras se dividieron en 6 grupos: A) Diclorhidrato de octenidina al 0.1%, B) Qmix, C) Solución superoxidada, D) AgNPs al 0.1%, E) Agua ozonizada y F) Solución salina. Los resultados mostraron una reducción significativa en el número de colonias de *E. faecalis* en todos los grupos, siendo los grupos E y A los que mostraron mayor eficacia. Se concluyó que el diclorhidrato de octenidina y el agua

ozonizada demostraron un potencial antimicrobiano mayor que Qmix, la solución superoxidada y la solución de AgNPs.

Pérez-Sáenz et al. (2025) evaluaron la eficacia antibacteriana y antiadherente contra el *E. faecalis* de las AgNPs en 2 tamaños diferentes y el NaOCl. Se recolectaron con puntas de papel un total de 3 muestras de biopelículas orales de pacientes adultos, 1 muestra de necrosis pulpar y 2 muestras de periodontitis apical asintomática. Las muestras se incubaron en 96 pocillos en caldo Mueller–Hinton, la primera columna se usó como control negativo y la duodécima fue el control positivo. Se colocaron soluciones de AgNPs e NaOCl al 5.25% a partir de la columna 2 a la 11, posteriormente se realizaron las pruebas antimicrobianas y de antiadherencia. Los resultados mostraron que ambos tamaños de AgNPs exhibieron una inhibición del crecimiento bacteriano superior al NaOCl. Se concluyó que las AgNPs presentaron inhibición del crecimiento y actividad antiadherente contra el *E. faecalis*.

Majee et al. (2025) evaluaron la eficacia antibacteriana contra el *E. faecalis* de un irrigante probiótico *Lactobacillus rhamnosus* y las AgNPs. En 32 dientes humanos unirradiculares extraídos se inoculó *E. faecalis*; las muestras se dividieron en 4 grupos: A) NaOCl, B) Solución probiótica, C) AgNPs y D) Solución salina como grupo control negativo. Se recolectaron las muestras con puntas de papel posteriormente a la irrigación y se cultivaron en infusión de cerebro corazón. Los resultados mostraron una reducción significativa en el recuento de *E. faecalis* en todos los grupos, siendo los del grupo B menores que los del grupo C. Se concluyó que el irrigante probiótico tiene mayor eficacia antimicrobiana que el irrigante de AgNPs contra el *E. faecalis*.

Autores	Año	Revista	Objetivo	Resultado Principal
Afkhami et al.	2021	Clinical Oral Investigations	Evaluar la eficacia antibacteriana contra el <i>E. faecalis</i> de las AgNPs activadas con ultrasonido, transmisión fotoacústica inducida por fotones (PIPS), terapia fotodinámica (TFD) y activación manual.	Reducción significativa en el número de colonias de <i>E. faecalis</i> en todos los grupos, con la mayor reducción en el grupo activado con PIPS y el grupo activado con PUI.
Hendi et al.	2021	Journal of Lasers in Medical Sciences	Evaluar la eficacia antibacteriana contra el <i>E. faecalis</i> de la irrigación con NaOCl al 5%, AgNPs, Láser de diodo y AgNPs seguido de irradiación con láser de diodo.	El NaOCl mostró mayor reducción de colonias bacterianas de <i>E. faecalis</i> , seguido de las AgNPs.
Oncu et al.	2022	Microscopy and Research Technique	Evaluar la eficacia antifúngica contra <i>C. albicans</i> de las AgNPs, el NaOCl y la CHX como irrigantes endodónticos.	El grupo de AgNPs tuvo el mayor efecto antifúngico, seguido de grupo de CHX. Siendo el grupo de NaOCl el que mostró el menor efecto antifúngico de todos.
Alkhourbotly et al.	2022	Cureus	Evaluar la eficacia antibacteriana del NaOCl, QMix y AgNPs como irrigante endodónticos contra el <i>E. faecalis</i> .	Las AgNPs mostraron menor eficacia antibacteriana que QMix y el NaOCl.
Oncu et al.	2024	Microscopy and Research Technique	Comparar la eficacia antibacteriana contra <i>E. faecalis</i> de las AgNPs, el NaOCl, la CHX y el ácido hipocloroso (HOCl)	Las AgNPs presentaron actividad antibacteriana pero esta fue menor que la del NaOCl y la CHX.
Chandran et al.	2024	Cureus	Evaluar las propiedades antimicrobianas y citotóxicas de las AgNPs biosintetizadas y las AgNPs químicamente	Las AgNPs biosintetizadas presentaron una actividad antimicrobiana superior y una menor citotoxicidad en comparación con las AgNPs químicamente

			sintetizadas contra el <i>E. faecalis</i> .	sintetizadas.
Inamdar et al.	2024	Journal of Conservative Dentistry and Endodontics	Evaluar la eficacia antimicrobiana contra el <i>E. faecalis</i> del diclorhidrato de octenidina, solución superoxidada, agua ozonizada, AgNPs y Qmix como irrigantes endodónticos.	Las AgNPs mostraron una reducción más baja en el número de colonias de <i>E. faecalis</i> en comparación con diclorhidrato de octenidina, solución superoxidada, agua ozonizada y Qmix.
Pérez-Sáenz et al.	2025	Pharmaceutics	Evaluar la eficacia antibacteriana y antiadherente contra el <i>E. faecalis</i> de las AgNPs en 2 tamaños diferentes y el NaOCl.	Las AgNPs en ambos tamaños demostraron una eficacia antimicrobiana y antiadherente contra el <i>E. faecalis</i> superior a la del NaOCl.
Majee et al.	2025	Bioinformatics	Evaluar la eficacia antibacteriana contra el <i>E. faecalis</i> de un irrigante probiótico <i>Lactobacillus rhamnosus</i> y las AgNPs.	La solución probiótica mostró mayor reducción de <i>E. faecalis</i> que las AgNPs.

5. Discusión

La eficacia antibacteriana contra *E. faecalis* de las AgNPs y del NaOCl fue comparada en 4 estudios. En 3 de ellos (Alkhourbotly et al., 2022; Hendi et al., 2021; Oncu et al., 2024) la actividad antibacteriana del NaOCl fue superior que la de las AgNPs. Este hallazgo coincide con otros estudios que también han reportado mayor actividad antibacteriana del NaOCl en comparación con las AgNPs (de Almeida et al., 2018; Rodrigues et al., 2018; Moradi et al., 2018). Solamente en un artículo (Pérez-Sáenz et al., 2025) las AgNPs demostraron mayor eficacia antibacteriana contra *E. faecalis* en comparación con el NaOCl. Este resultado concuerda con otra investigación la cual reportó mayor actividad antibacteriana de las AgNPs en comparación con el

NaOCl (Tanvir et al., 2023). Pérez-Sáenz et al. (2025) tuvieron un tiempo de contacto de AgNPs con las muestras más extenso a comparación de los otros estudios durando hasta 48 hrs, lo que les ayudó a comprobar la substantividad y antiadherencia de las AgNPs, en comparación con Alkhourbotly et al. (2022), Hendi et al. (2021) y Oncu et al. (2024) las AgNPs tuvieron un tiempo de contacto con las muestras de 5 minutos. Los resultados de Pérez-Sáenz et al. (2025) coinciden con los del estudio de Espinosa-Cristobal et al. (2019), en donde se evaluó la sustantividad de las AgNPs en biofilms orales extraídos de pacientes, demostrando que estas tienen una inhibición de crecimiento bacteriano hasta 48 hrs después de su administración.

En un par de estudios se compararon las AgNPs con CHX. En el trabajo de Oncu et al. (2022) se reportó que las AgNPs presentaron mayor actividad antifúngica contra *C. albicans* que la CHX. Por otra parte, en el trabajo de Oncu et al. (2024) al evaluar la eficacia antimicrobiana contra *E. faecalis* se concluyó que la CHX es superior. En ambas investigaciones las AgNPs tuvieron un tiempo de contacto con las muestras de 5 min. Las diferencias en estos 2 estudios se atribuyen al microorganismo contra el que se usan. Los resultados de Oncu et al. (2024) coinciden con el trabajo de Chandra et al. (2017), el cual reporto mayor actividad antibacteriana contra el *E. faecalis* por parte de la CHX en comparación con las AgNPs. Charannya et al. (2018) demostraron en su investigación que las AgNPs poseen una actividad antimicrobiana mayor que la CHX contra el *E. faecalis*, *K. pneumoniae* y *C. albicans*. Por su parte, Panpaliya et al. (2019) evaluaron la actividad antimicrobiana de las AgNPs en comparación con la CHX contra *S. mutans*, *S. oralis*, *L. acidophilus*, *L. fermentum* y *C.*

albicans, demostrando que las AgNPs inhibieron el crecimiento bacteriano a concentraciones menores que la CHX en todos los casos.

En los estudios de Alkhourbotly et al. (2022) e Inamdar et al. (2024), se comparó la eficacia antimicrobiana de las AgNPs y la solución QMix frente a *E. faecalis* en modelos in vitro. Alkhourbotly et al. (2022) utilizaron AgNPs y QMix, irrigando con 3 ml por conducto en donde el QMix logró una eliminación completa del recuento bacteriano, mientras que las AgNPs mostraron una reducción parcial. Inamdar et al. (2024) emplearon AgNPs y QMix en concentraciones equivalentes, aplicando 3 ml de irrigante por conducto y también observaron que QMix presentó una mayor reducción de unidades formadoras de colonias (UFC) de *E. faecalis* en comparación con las AgNPs. Es posible que esto se deba a que la solución QMix contiene EDTA y CHX (CHX 2%, EDTA 17%), esta combinación permite durante el tratamiento de conductos la eliminación de barrillo dentinario y previene la recolonización de microorganismos gracias al efecto antibacteriano de la CHX sobre los tubulillos dentinarios como lo señalan en su estudio Elakanti et al. (2015).

En un estudio de Majee et al. (2025) se comparó la eficacia antimicrobiana de una solución de AgNPs y de otra probiótica con *L. rhamnosus* y contra el *E. faecalis* lo que demostró una reducción significativamente mayor en el recuento de UFC en el grupo tratado con la solución probiótica. La eficacia de las soluciones probióticas ha quedado demostrada en otros estudios como el de El-Sayed et al. (2019), quienes usaron dientes unirradiculares a los cuales, tras la aplicación de un irrigante probiótico con *L. rhamnous*, observaron una disminución significativa en el recuento *E. faecalis*, demostrando su capacidad inhibitoria.

En el estudio de Chandran et al. (2024) se compararon AgNPs biosintetizadas con *A. indica* y químicamente sintetizadas contra el *E. faecalis*, los resultados mostraron que la actividad antimicrobiana fue mayor en el grupo de AgNPs biosintetizadas, además estas nanopartículas presentaron menor citotoxicidad. Estos hallazgos coinciden con los presentados por Jaramillo et al. (2025) que demostraron que las AgNPs biosintetizadas con *P. auritum* tienen potencial antibacteriano contra *E. coli*, *Pseudomonas sp.* y *S. aureus*. Por su parte Priya et al. (2015) en su investigación mostraron que las AgNPs biosintetizadas con *P. pinnata* son menos tóxicas que las químicamente sintetizadas. Estos resultados pueden deberse a que las AgNPs biosintetizadas con extractos de plantas poseen una gran cantidad de compuestos fenólicos, carbohidratos y alcaloides que actúan como agentes reductores y estabilizadores, lo que evita la agregación de las AgNPs manteniendo su eficacia antimicrobiana con menor toxicidad que las químicamente sintetizadas (Chandran et al., 2024; Priya et al., 2015).

En un estudio de Afkhami et al. (2021) compararon la eficacia antibacteriana contra *E. faecalis* de las AgNPs al usar métodos de activación como PIPS o PUI, concluyendo que hay una mejora en dicha eficacia en comparación con las AgNPs que no recibieron ningún tipo de activación. Estos hallazgos concuerdan en lo reportado en un trabajo previo realizado por Afkhami et al. (2017) quienes al combinar AgNPs con indocianina verde (ICG) y activarlas con un láser de diodo, observaron una reducción en UFC de *E. faecalis* en comparación con las AgNPs que no recibieron activación, lo que sugiere que la activación de AgNPs mediante estímulos físicos o fotoquímicos puede mejorar su eficacia antimicrobiana.

Los hallazgos de esta revisión sugieren que el tamaño de AgNPs influyen en su eficacia antibacteriana. Mientras más pequeñas sean estas ($13.2\text{nm} \pm 0.4\text{nm}$), mayor actividad tendrán (Pérez-Sáenz et al., 2025). En algunos estudios reportaron el uso de diferentes sustancias como vehículo de la solución de AgNPs como agua destilada (Alkhourbotly et al., 2022; Chandran et al., 2024), agua desionizada (Majee et al., 2025; Pérez-Sáenz et al., 2025), citrato trisódico (Oncu et al., 2022; Oncu et al., 2024) y un estudio uso agua estéril (Hendi et al., 2021).

Finalmente, una de las limitantes de este estudio fue utilizar Pubmed como única base de datos para la búsqueda de artículos, lo que podría haber influido en la inclusión de estudios relevantes indexados en otras bases de datos como Web of Science, Scopus, Science Direct o Embase. Se recomienda usar estas bases de datos para lograr una mayor cobertura de estudios sobre el uso de las AgNPs como irrigante endodóntico en futuras investigaciones.

La inclusión de parámetros como la estandarización de muestras de estudio, caracterización de AgNPs, concentraciones y cantidades de soluciones o suspensiones con las que se comparan, tiempo de contacto y métodos de evaluación antibacteriana permitirá en futuros estudios una evaluación más rigurosa de la eficacia antimicrobiana de las AgNPs.

6. Conclusiones

La presente investigación muestra que al comparar las AgNPs contra CHX y QMix, estas últimas soluciones mostraron una mayor eficacia antimicrobiana. De cuatro estudios comparativos entre NaOCl y AgNPs, solo uno reportó una superioridad antimicrobiana de las AgNPs. La activación de AgNPs mediante técnicas como PIPS y PUI incrementa su eficacia antimicrobiana. Las AgNPs demostraron una actividad antifúngica superior en comparación con otras soluciones irrigantes. Las AgNPs biosintetizadas destacaron por su mayor eficacia y menor toxicidad frente a las químicamente sintetizadas contra *E. faecalis*.

7. Referencias

- Afkhami, F., Ahmadi, P., Chiniforush, N., & Sooratgar, A. (2021). Effect of different activations of silver nanoparticle irrigants on the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Clinical oral investigations*, 25(12), 6893–6899. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-03979-5>
- Afkhami, F., Akbari, S., & Chiniforush, N. (2017). *Entrococcus faecalis* Elimination in Root Canals Using Silver Nanoparticles, Photodynamic Therapy, Diode Laser, or Laser-activated Nanoparticles: An In Vitro Study. *Journal of endodontics*, 43(2), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.08.029>
- Afkhami, F., Forghan, P., Gutmann, J. L., & Kishen, A. (2023). Silver Nanoparticles and Their Therapeutic Applications in Endodontics: A Narrative Review. *Pharmaceutics*, 15(3), 715. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15030715>
- Ali, A., Bhosale, A., Pawar, S., Kakti, A., Bichpuriya, A., & Agwan, M. A. (2022). Current Trends in Root Canal Irrigation. *Cureus*, 14(5), e24833. <https://doi.org/10.7759/cureus.24833>
- Alkhourbotly, D., Altinawi, M. K., Abou-Samra, R., Alzoubi, H. M., & Ebrahim, A. K. (2022). Evaluation of the Antibacterial Efficacy of QMix and AgNP Solutions in Root Canals of Primary Molars: An In-Vitro Study. *Cureus*, 14(9), e28877. <https://doi.org/10.7759/cureus.28877>
- American Association of Endodontists. (2020). Glossary of Endodontic Terms (10th ed.). American Association of Endodontists

- Basrani, B. (Ed.). (2015). *Endodontic irrigation: Chemical disinfection of the root canal system*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-16456-4>
- Berman, L. H. & Hargreaves, K. M. (Eds.). (2022). *Cohen's pathways of the pulp* (12th ed.). Elsevier.
- Bhandi, S., Mehta, D., Mashyakhy, M., Chohan, H., Testarelli, L., Thomas, J., Dhillon, H., Raj, A. T., Madapusi Balaji, T., Varadarajan, S., & Patil, S. (2021). Antimicrobial Efficacy of Silver Nanoparticles as Root Canal Irrigant's: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 10(6), 1152. <https://doi.org/10.3390/jcm10061152>
- Boutsioukis, C., & Arias-Moliz, M. T. (2022). Present status and future directions – irrigants and irrigation methods. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 588–612. <https://doi.org/10.1111/iej.13739>
- Bruna, T., Maldonado-Bravo, F., Jara, P., & Caro, N. (2021). Silver Nanoparticles and Their Antibacterial Applications. *International journal of molecular sciences*, 22(13), 7202. <https://doi.org/10.3390/ijms22137202>
- Capuano, N., Amato, A., Dell'Annunziata, F., Giordano, F., Folliero, V., Di Spirito, F., More, P. R., De Filippis, A., Martina, S., Amato, M., Galdiero, M., Iandolo, A., & Franci, G. (2023). Nanoparticles and Their Antibacterial Application in Endodontics. *Antibiotics* (Basel, Switzerland), 12(12), 1690. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12121690>
- Chandra A. (2009). Discuss the factors that affect the outcome of endodontic treatment. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of*

- Endodontology Inc*, 35(2), 98–107. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2009.00199.x>
- Chandra, A., Yadav, R. K., Shakya, V. K., Luqman, S., & Yadav, S. (2017). Antimicrobial efficacy of silver nanoparticles with and without different antimicrobial agents against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Dental Hypotheses*, 8(4), 94–99. DOI: 10.4103/denthyp.denthyp_17_17
- Chandran, N., Ramesh, S., Shanmugam, R., & S, J. (2024). A Comparative Evaluation of Antimicrobial and Cytotoxic Efficacy of Biosynthesized Silver Nanoparticles and Chemically Synthesized Silver Nanoparticles Against *Enterococcus faecalis*: An In Vitro Study. *Cureus*, 16(4), e58428. <https://doi.org/10.7759/cureus.58428>
- Charannya, S., Duraivel, D., Padminie, K., Poorni, S., Nishanthine, C., & Srinivasan, M. R. (2018). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of silver nanoparticles and 2% chlorhexidine gluconate when used alone and in combination assessed using agar diffusion method: An in vitro study. *Contemporary Clinical Dentistry*, 9(Suppl 2), S204–S209. https://doi.org/10.4103/ccd.ccd_869_17
- De Almeida, J., Cechella, B. C., Bernardi, A. V., de Lima Pimenta, A., & Felipe, W. T. (2018). Effectiveness of nanoparticles solutions and conventional endodontic irrigants against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Indian Journal of Dental Research*, 29(3), 347-351. https://doi.org/10.4103/ijdr.IJDR_634_15
- Eckhardt, S., Brunetto, P. S., Gagnon, J., Priebe, M., Giese, B., & Fromm, K. M. (2013). Nanobio silver: its interactions with peptides and bacteria, and its uses in medicine. *Chemical reviews*, 113(7), 4708–4754. <https://doi.org/10.1021/cr300288v>

- Elakanti, S., Cherukuri, G., Rao, V. G., Chandrasekhar, V., Rao, A. S., & Tummala, M. (2015). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of QMix™ 2 in 1, sodium hypochlorite, and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Journal of conservative dentistry : JCD*, 18(2), 128–131. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.153067>
- El-Sayed, H., Aly, Y., Elgamily, H., & Nagy, M. M. (2019). A promising probiotic irrigant: An in vitro study. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(3), 407–411. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.074>
- Espinosa-Cristóbal, L. F., Holguín-Meráz, C., Zaragoza-Contreras, E. A., Martínez-Martínez, R. E., Donohue-Cornejo, A., Loyola-Rodríguez, J. P., Cuevas-González, J. C., & Reyes-López, S. Y. (2019). Antimicrobial and substantivity properties of silver nanoparticles against oral microbiomes clinically isolated from young and young-adult patients. *Journal of Nanomaterials*, 2019, Article 3205971. <https://doi.org/10.1155/2019/3205971>
- Estrela, C., Estrela, C. R. A., Barbin, E. L., Spanó, J. C. E., Marchesan, M. A., & Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 113–117. <https://doi.org/10.1590/S0103-64402002000200007>
- Galdiero, S., Falanga, A., Vitiello, M., Cantisani, M., Marra, V., & Galdiero, M. (2011). Silver nanoparticles as potential antiviral agents. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 16(10), 8894–8918. <https://doi.org/10.3390/molecules16108894>

- Gomes, B. P. F. A., Vianna, M. E., Zaia, A. A., Almeida, J. F. A., Souza-Filho, F. J., & Ferraz, C. C. R. (2013). Chlorhexidine in Endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 24(2), 89–102. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201302188>
- Gomes, B. P. F. A., Aveiro, E., & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Brazilian Dental Journal*, 34(4), 1–33. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305577>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *British dental journal*, 216(6), 299–303. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.204>
- Halkai, K. R., Halkai, R., Mudda, J. A., Shivanna, V., & Rathod, V. (2018). Antibiofilm efficacy of biosynthesized silver nanoparticles against endodontic-periodontal pathogens: An in vitro study. *Journal of conservative dentistry : JCD*, 21(6), 662–666. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_203_18
- Hendi, S. S., Shiri, M., Poormoradi, B., Alikhani, M. Y., Afshar, S., & Farmani, A. (2021). Antibacterial Effects of a 940 nm Diode Laser With/ Without Silver Nanoparticles Against *Enterococcus faecalis*. *Journal of lasers in medical sciences*, 12, e73. <https://doi.org/10.34172/jlms.2021.73>
- Hülsmann, M., Heckendorff, M., & Lennon, A. (2003). Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International endodontic journal*, 36(12), 810–830. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2003.00754.x>
- Inamdar, M. S., Chole, D. G., Bakle, S. S., Vaprani, P. B., Gandhi, N. P., & Hatte, N. R. (2024). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of 0.1% octenidine dihydrochloride, superoxidized solution, ozonated water, 0.1% silver nanoparticle solution, and Q mix™ 2 in 1 in root canals infected with *Enterococcus*

- faecalis*. *Journal of conservative dentistry and endodontics*, 27(10), 1059–1064.
https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_434_24
- Ioannidis, K., Niazi, S., Mylonas, P., Mannocci, F., & Deb, S. (2019). The synthesis of nano silver-graphene oxide system and its efficacy against endodontic biofilms using a novel tooth model. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*, 35(11), 1614–1629.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.08.105>
- Jaramillo, Ó.-A., Rivera-Corona, J. L., Vásquez-Murrieta, M. S., Luján Hidalgo, M. C., & Román-Ponce, B. (2025). Efecto de las condiciones de reacción en la síntesis de AgNPs con extracto de hojas de *Piper auritum* y su potencial antibacteriano. *Journal of Bioengineering and Biomedicine Research*, 9(2), 19–31.
<https://doi.org/10.70632/jbbr.9.2.2025.19-31>
- Kim, K. J., Sung, W. S., Suh, B. K., Moon, S. K., Choi, J. S., Kim, J. G., & Lee, D. G. (2009). Antifungal activity and mode of action of silver nano-particles on *Candida albicans*. *Biometals : an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, 22(2), 235–242. <https://doi.org/10.1007/s10534-008-9159-2>
- Lu, Z., Rong, K., Li, J., Yang, H., & Chen, R. (2013). Size-dependent antibacterial activities of silver nanoparticles against oral anaerobic pathogenic bacteria. *Journal of materials science. Materials in medicine*, 24(6), 1465–1471.
<https://doi.org/10.1007/s10856-013-4894-5>
- Majee, N., Pradhan, P. K., Mallick, R. R., Agrawal, N., Arya, A., & Arvind Tekam, D. (2025). Anti-microbial effect of probiotic versus silver nanoparticle

- irrigant. *Bioinformation*, 21(5), 1295–1298.
<https://doi.org/10.6026/973206300211295>
- Mohammadi, Z., Shalavi, S., & Jafarzadeh, H. (2013). Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. *European journal of dentistry*, 7(Suppl 1), S135–S142.
<https://doi.org/10.4103/1305-7456.119091>
- Moradi, F., & Haghighi, R. (2018). Evaluation of antimicrobial efficacy of nanosilver solution, sodium hypochlorite and normal saline in root canal irrigation of primary teeth. *Contemporary Clinical Dentistry*, 9(Suppl 2), S227–S232.
- Mousavi, E., Kerayechian, N., Khalili, M., Yeniai, C., Fatahi, M., & Jamali, S. (2023). Evaluation of the effect of silver nanoparticles in root canal treatment: A systematic review and meta-analysis. *Academic Journal of Health Sciences*, 38(1), 85–91. <https://doi.org/10.3306/AJHS.2023.38.01.85>
- Oncu, A., Celikten, B., Aydın, B., Amasya, G., Açık, L., & Sevimay, F. S. (2022). Comparative evaluation of the antifungal efficacy of sodium hypochlorite, chlorhexidine, and silver nanoparticles against *Candida albicans*. *Microscopy research and technique*, 85(12), 3755–3760. <https://doi.org/10.1002/jemt.24249>
- Oncu, A., Celikten, B., Aydın, B., Amasya, G., Tuncay, E., Eskiler, G. G., Açık, L., & Sevimay, F. S. (2024). Antibacterial efficacy of silver nanoparticles, sodium hypochlorite, chlorhexidine, and hypochlorous acid on dentinal surfaces infected with *Enterococcus faecalis*. *Microscopy research and technique*, 87(9), 2094–2102. <https://doi.org/10.1002/jemt.24590>
- Panpaliya, N. P., Dahake, P. T., Kale, Y. J., Dadpe, M. V., Kendre, S. B., Siddiqi, A. G., & Maggavi, U. R. (2019). In vitro evaluation of antimicrobial property of silver

- nanoparticles and chlorhexidine against five different oral pathogenic bacteria. The Saudi Dental Journal, 31(1), 76–83. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.10.004>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Peng, J. J., Botelho, M. G., & Matinlinna, J. P. (2012). Silver compounds used in dentistry for caries management: a review. *Journal of dentistry*, 40(7), 531–541. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2012.03.009>
- Pérez-Sáenz, M. G., Martínez-Martínez, R. E., Zaragoza-Contreras, E. A., Domínguez-Pérez, R. A., Reyes-López, S. Y., Donohue-Cornejo, A., Cuevas-González, J. C., Tovar-Carrillo, K. L., de Lourdes Silva-Benítez, E., Ayala-Herrera, J. L., & Espinosa-Cristóbal, L. F. (2025). Antibacterial and Anti-Adherence Efficacy of Silver Nanoparticles Against Endodontic Biofilms: An In Vitro and Ex Vivo Study. *Pharmaceutics*, 17(7), 831. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17070831>
- Peters, O. A., Peters, C. I., Schönenberger, K., & Barbakow, F. (2003). ProTaper rotary root canal preparation: Effects of canal anatomy on final shape analysed by micro-CT. *International Endodontic Journal*, 36(2), 86–92.

- Priya, R. S., Geetha, D., & Ramesh, P. S. (2015). *Antioxidant activity of chemically synthesized AgNPs and biosynthesized Pongamia pinnata leaf extract mediated AgNPs – A comparative study*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **121**, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.037>
- Raura, N., Garg, A., Arora, A., & Roma, M. (2020). Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review. *Biomaterials research*, 24(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40824-020-00198-z>
- Rodrigues, C. T., de Andrade, F. B., de Vasconcelos, L. R. S. M., Midena, R. Z., Pereira, T. C., Kuga, M. C., Duarte, M. A. H., & Bernardineli, N. (2018). Antibacterial properties of silver nanoparticles as a root canal irrigant against *Enterococcus faecalis* biofilm and infected dentinal tubules. *International Endodontic Journal*, 51(8), 901–911. <https://doi.org/10.1111/iej.12904>
- Shrestha, A., & Kishen, A. (2016). Antibacterial Nanoparticles in Endodontics: A Review. *Journal of endodontics*, 42(10), 1417–1426. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.05.021>
- Siqueira Junior, J. F., Rôças, I. D. N., Marceliano-Alves, M. F., Pérez, A. R., & Ricucci, D. (2018). Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian oral research*, 32(suppl 1), e65. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>
- Soares, I. J., & Goldberg, F. (2012). *Endodoncia. Técnica y fundamentos* (2.^a ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Tanvir, Z., Jabin, Z., Agarwal, N., Anand, A., & Waikhom, N. (2023). Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of nanosilver solution, *Azadirachta indica*,

- sodium hypochlorite, and normal saline as root canal irrigants in primary teeth. Journal of the Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry, 41(1), 76–82. https://doi.org/10.4103/jisppd.jisppd_74_23
- Tomes, J. (1859). A system of dental surgery. John Churchill.
- Versiani, M. A., Martins, J., & Ordinola-Zapata, R. (2023). Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. Australian dental journal, 68 Suppl 1, S5–S23. <https://doi.org/10.1111/adj.12992>
- Wong, K. K., Cheung, S. O., Huang, L., Niu, J., Tao, C., Ho, C. M., Che, C. M., & Tam, P. K. (2009). Further evidence of the anti-inflammatory effects of silver nanoparticles. ChemMedChem, 4(7), 1129–1135. <https://doi.org/10.1002/cmdc.200900049>
- Wong, J., Manoil, D., Näsman, P., Belibasakis, G. N., & Neelakantan, P. (2021). Microbiological Aspects of Root Canal Infections and Disinfection Strategies: An Update Review on the Current Knowledge and Challenges. *Frontiers in oral health*, 2, 672887. <https://doi.org/10.3389/froh.2021.672887>
- Wong, K. K., Cheung, S. O., Huang, L., Niu, J., Tao, C., Ho, C. M., Che, C. M., & Tam, P. K. (2009). Further evidence of the anti-inflammatory effects of silver nanoparticles. ChemMedChem, 4(7), 1129–1135. <https://doi.org/10.1002/cmdc.200900049>
- Yin, I. X., Zhang, J., Zhao, I. S., Mei, M. L., Li, Q., & Chu, C. H. (2020). The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. International journal of nanomedicine, 15, 2555–2562. <https://doi.org/10.2147/IJN.S246764>

Zheng, T., , Huang, X., , Chen, J., , Feng, D., , Mei, L., , Huang, Y., , Quan, G., , Zhu, C., , Singh, V., , Ran, H., , Pan, X., , Wu, C. Y., , & Wu, C., (2018). A liquid crystalline precursor incorporating chlorhexidine acetate and silver nanoparticles for root canal disinfection. *Biomaterials science*, 6(3), 596–603.
<https://doi.org/10.1039/c7bm00764g>

8. Anexos

Mario Daniel Rodríguez Sánchez
Eficacia antimicrobiana de las nanoparticulas de plata como irrigante en endodoncia revision sistematica.pdf

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega trn:oid::3117:539126670	46 páginas
Fecha de entrega 10 dic 2025, 1:11 p.m. GMT-6	10.279 palabras
Fecha de descarga 10 dic 2025, 1:15 p.m. GMT-6	59.763 caracteres
Nombre del archivo Eficacia antimicrobiana de las nanoparticulas de plata como irrigante en endodoncia revision sis....pdf	
Tamaño del archivo 576.4 KB	

Página 2 de 54 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:oid::3117:539126670

19% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

19%		Fuentes de Internet
14%		Publicaciones
0%		Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

Texto oculto

48 caracteres sospechosos en N.º de páginas

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Posgrado de Endodoncia	
Título del trabajo	Eficacia antimicrobiana de las nanopartículas de plata como irrigante en endodoncia: Revisión sistemática	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Mario Daniel Rodríguez Sánchez	1131251k@umich.mx
Director	Gabriela López Torres	gabriela.lopez.torres@umich.mx
Codirector	Benigno Miguel Calderón Rojas	benigno.rojas@umich.mx
Coordinador del programa	Luis Alberto Pantoja Villa	luis.pantoja@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	no	

Formato de Declaración de Originalidad
y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	no	
Traducción a otra lengua	no	
Revisión y corrección de estilo	no	
Análisis de datos	no	
Búsqueda y organización de información	no	
Formateo de las referencias bibliográficas	no	
Generación de contenido multimedia	no	
Otro	no	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Mario Daniel Rodríguez Sánchez 
Lugar y fecha	Morelia Michoacán a 08 de Diciembre de 2025