

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



**“ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE UN HIDROGEL DE QUITOSAN CON
NANOPARTÍCULAS DE PLATA BIOSINTETIZADAS CON *Curcuma longa*
CONTRA PATÓGENOS ORALES”**

Por

MYRTHALA DE LA GARZA AGUIÑAGA

Como requisito parcial para obtener el Grado de

Maestría en Prostodoncia

Diciembre, 2025

Maestría en Prosthodontics

**“ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE UN HIDROGEL DE QUITOSAN CON
NANOPARTÍCULAS DE PLATA BIOSINTETIZADAS CON *Curcuma longa*
CONTRA PATÓGENOS ORALES”**

TESISTA

MYRTHALA DE LA GARZA AGUIÑAGA

Comité de Tesis

Presidente

Secretario

Vocal

Maestría en Prostodoncia

**ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA
BIOSINTETIZADAS CON *Curcuma longa* CONTRA PATÓGENOS ORALES.**

_____ FIRMA _____

TESISTA

MYRTHALA DE LA GARZA AGUIÑAGA

Comité de Tesis

_____ FIRMA _____

DIRECTOR DE TESIS

RENE HERNÁNDEZ DELGADILLO

_____ CODIRECTOR DE TESIS _____

GERARDO DE JESUS SANTOS REINA

DR. CLAUDIO CABRAL ROMERO

(MIEMBRO DEL CUERPO ACADÉMICO DEL DIRECTOR DE TESIS)

DR. GUSTAVO ISRAEL MARTINEZ GONZALEZ

(MIEMBRO DEL CUERPO ACADÉMICO DEL DIRECTOR DE TESIS)

NORMA CRUZ FIERRO

(MIEMBRO DE OTRO CUERPO ACADÉMICO)

PATRICIA GARCÍA PALENCIA

(MIEMBRO DE OTRO CUERPO ACADÉMICO)

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primero que nada a DIOS TODO PODEROSO por el amor incondicional en esta etapa de mi vida, por escuchar mis plegarias, ser mi guía en la luz y oscuridad, por nunca dejarme sola, y por bendecir mis manos para repartir salud a todos los pacientes que pasaron por mí. Son muchas las metas que logre cumplir, gracias infinitas por no soltarme.

A mis padres por apoyarme siempre y llenarme de amor infinito a distancia, el que me hayan ayudado a cumplir este sueño es de las cosas más gratificantes que me llevo de ustedes. Por todo su esfuerzo y por su gran dedicación, este logro es suyo. Gracias por apoyarme siempre incondicionalmente, por alentarme a ser mejor día a día con su ejemplo y por darme la fuerza, confianza y motivación para siempre seguir adelante. Es a ustedes a quien agradezco todo lo que soy.

A mi pareja el Dr. Samuel por estar para mi escuchándome y alentándome que no me rindiera desde el primer día que inicie mi posgrado hasta su finalización, sin duda fuiste mi ejemplo a seguir por tu fuerza, ganas de superarte y perseverancia; ayudarme a entender que tener una profesión digna de valor y respeto es algo admirable, definitivamente este camino se dio con pasos firmes y seguros gracias a ti.

Gracias a mis maestros por motivarme a crecer profesionalmente y ayudarme a ser mejor día a día. Sin duda, a un buen maestro nunca se olvida y sus enseñanzas duran la vida entera. A mis amigos de pregrado, amigos nuevos que hice, personal, pasantes y compañeros del posgrado por retarme todos los días y ayudarme a querer ser rehabilitadora y hacerme la persona que soy el día de hoy, una persona que lucha hasta el final por sus metas y sueños.

Con profunda estima y reconocimiento hago una mención especial a mi director de tesis, el Dr. Rene Hernández Delgadillo. Gracias por su paciencia, tiempo, por compartir sus conocimientos como docente, por siempre entenderme y motivarme, ya que su guía fue la que ayudo a plasmar este proyecto. Lo admiro y aprecio muchísimo.

Gracias a mi coordinador del Posgrado, Dr. Raúl Euan por todo el apoyo, comprensión y tiempo brindado, gracias por todos los conocimientos y consejos compartidos ya que su puerta siempre estuvo abierta para mí en todo momento, es un excelente Prostoncista, coordinador y persona. A mi subcoordinadora la Dra. María Concepción Espinoza, quien siempre me alentó, apoyó, escucho y platico conmigo por horas, pero sobre todo me ayudo en cada una de las etapas y requisitos de mi posgrado.

También quiero agradecer al Posgrado de Prostoncía de la UANL, por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de él y al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo financiero otorgado, durante mis 2 años y medio en el posgrado.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a todos ustedes, he logrado concluir este proyecto con éxito, aunque tuvo sus altas y bajas, me llevo lo más importante. Quiero dedicar mi tesis a todos los ya mencionados, muchas gracias a cada uno de ustedes, los llevo por siempre en mi corazón.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	IVV
TABLA DE CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
NOMENCLATURA.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS	4
3. OBJETIVOS.....	5
3.1. Objetivo General.....	5
3.2. Objetivos específicos.....	5
4. ANTECEDENTES.....	6
4.1. Antecedentes.....	6
4.2. La Nanotecnología.....	111
4.3. Nanomateriales en la odontología	111
4.4. Nanopartículas de Plata (AgNP).....	133
4.5. Nanopartículas de Plata – Síntesis y obtención.....	144
4.6. Principales aplicaciones de las nanopartículas de plata.....	155
4.7. Ventajas de las nanopartículas de plata (AgNPs).....	177
4.8. La plata como material de restauración.....	199
4.9. La aplicación antibacteriana de nanopartículas de plata en odontología – Tratamiento de restauración	211
5. MÉTODOS.....	266
5.1. Síntesis y caracterización de AgNPs-Cur.....	266
5.2. Desarrollo del Hidrogel	266
5.3. Actividad antimicrobiana	277

5.4.	Determinación de CIM.....	277
5.5.	Ensayo Antibiofilm.....	277
5.6.	Análisis estadístico.....	288
6.	RESULTADOS	299
7.	DISCUSIÓN.....	366
8.	CONCLUSIÓN	388
9.	LITERATURA CITADA.....	399
10.	RESUMEN BIOGRÁFICO.....	422

LISTA DE FIGURAS

Figura1.	Síntesis de AgNP-Cur.....	299
Figura2.	SEM de AgNP-Cur y espectro de energía de dispersión de rayos X (EDX) que indica la presencia de Ag.....	30
Figura3.	Ensayos de difusión en disco y medición de los halos de inhibición.....	322
Figura4.	Determinación de la CIM sobre el crecimiento en cultivo mixto de Streptococcus.....	333
Figura5.	Ensayo live & dead a diferentes tiempos (5min y 24 horas) con el hidrogel de AgNP-Cur 0.01% y CHX 0.12% en cultivo mixto. Barra corresponde a 125µm.....	344
Figura6.	Cuantificación de ensayo live/dead de AgNP-Cur y CHX sobre cultivo mixto.	35

NOMENCLATURA

AgNP	Nanopartículas de Plata
NPs	Nanopartículas
Cur	<i>Curcuma longa</i>
AgNPs-Cur	Nanopartículas de Plata Biosintetizadas con <i>Curcuma longa</i>
SEM	Microscopia electrónica de barrido
EDX	Espectroscopía de Rayos X de Energía Dispersiva
μL	Microlitros
mm	Milímetros
°C	Grados Centígrados
nm	Nanómetro

TESISTA: MYRTHALA DE LA GARZA AGUIÑAGA
DIRECTOR DE TESIS: RENE HERNÁNDEZ DELGADILLO
CODIRECTOR DE TESIS: GERARDO DE JESUS SANTOS REINA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**“ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE UN HIDROGEL DE QUITOSAN CON
NANOPARTÍCULAS DE PLATA BIOSINTETIZADAS CON *Curcuma longa*
CONTRA PATÓGENOS ORALES”**

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: Las nanopartículas de plata han sido uno de los temas de estudio más populares en las últimas décadas porque tienen una actividad antimicrobiana destacada incluso a bajas concentraciones. **OBJETIVO:** Evaluar la actividad antimicrobiana de un hidrogel con nanopartículas de plata biosintetizadas con *Curcuma longa* previo a un tratamiento dental. **METODOLOGÍA:** Se realizó la síntesis y caracterización de AgNPs-Cur usando el método coloidal. Para caracterizar las nanopartículas sintetizadas y obtener información de la forma y tamaño de las nanoestructuras se obtendrán micrografías de microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectro EDX para evaluar la composición química. Se desarrolló el hidrogel de quitosán y AgNps-Cur al 10% en una jeringa de 10 ml. En la actividad antimicrobiana del gel de quitosán con AgNPs-Cur por la prueba de difusión de agar de Kirby y Bauer. Se pusieron 100 µL de los precltivos y se esparcieron en placas con agar TSB en pozos de 5 mm. Se colocaron 50 µL en 3 pozos independientes. Después de incubar por 18 horas a 37°C. Se midió CIM a 600nm con concentraciones finales: 0.01%, 0.07%, 0.003%, 0.001% y 0% que serán depositadas por triplicado en placas de 48 pozos. Por último, se desarrolló un ensayo antibiofilm mediante microscopía de fluorescencia a dos tiempos (5min. Y 24 horas) con el gel AgNPs-Cur al 0.1%. **RESULTADOS:** En el SEM donde se pudo observar la presencia y la síntesis de AgNPs con *Curcuma longa* en diferentes tamaños de nanómetros. El hidrogel se logró incorporar las síntesis de partículas AgNps-Cur, se midió el pH 7.4 y se obtuvo una consistencia gelosa adecuada. En la prueba piloto se colocaron 3 pozos de Hidrogel puro, Hidrogel con AgNps-Cur e Inhibición de la clorhexidina. En la medición del halo de Clorhexidina al 2.0% con Vernier es de 23 mm y la medición del halo del Hidrogel con AgNps-Cur con Vernier es de 11 mm. En el cual observamos actividad antimicrobiana presente. **CONCLUSIONES:** El hidrogel de quitosán con AgNPs-Cur demostró acción antimicrobiana significativa y capacidad antibiofilm, constituyéndose en una alternativa prometedora para la descontaminación preoperatoria en odontología.

TESISTA: MYRTHALA DE LA GARZA AGUIÑAGA
DIRECTOR DE TESIS: RENE HERNÁNDEZ DELGADILLO
CODIRECTOR DE TESIS: GERARDO DE JESUS SANTOS REINA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**"ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF A QUITOSAN HYDROGEL WITH SILVER
NANOPARTICLES BIOSYNTHETIZED WITH *Curcuma longa* PRIOR TO
DENTAL TREATMENTS".**

ABSTRACT

INTRODUCTION: Silver nanoparticles have been one of the most popular subjects of study in recent decades because they have remarkable antimicrobial activity even at low concentrations. **OBJECTIVE:** To evaluate the antimicrobial activity of a hydrogel with silver nanoparticles biosynthesized with *Curcuma longa* prior to dental treatment. **METHODOLOGY:** The synthesis and characterization of AgNPs-Cur was carried out using the colloidal method. To characterize the synthesized nanoparticles and obtain information on the shape and size of the nanostructures, scanning electron microscopy (SEM) micrographs and EDX spectra will be obtained to evaluate the chemical composition. The chitosan hydrogel and AgNPs-Cur at 10% were developed in a 10 ml syringe. The antimicrobial activity of the chitosan gel with AgNPs-Cur was determined by the Kirby-Bauer agar diffusion test. 100 µL of the precultures were placed and spread on TSB agar plates in 5 mm wells. 50 µL were placed in 3 independent wells. After incubating for 18 hours at 37 ° C. MIC was measured at 600 nm with final concentrations: 0.01%, 0.07%, 0.003%, 0.001% and 0% that will be deposited in triplicate in 48-well plates. Finally, an antibiofilm assay was developed by fluorescence microscopy at two times (5 min. and 24 hours) with the 0.1% AgNPs-Cur gel. **RESULTS:** In the SEM where the presence and synthesis of AgNPs with *Curcuma longa* in different nanometer sizes could be observed. The hydrogel was able to incorporate the synthesis of AgNps-Cur particles, the pH was measured at 7.4 and an adequate gel-like consistency was obtained. In the pilot test, 3 wells of pure Hydrogel, Hydrogel with AgNps-Cur and Chlorhexidine Inhibition were placed. In the measurement of the 2.0% Chlorhexidine halo with Vernier it is 23 mm and the measurement of the halo of the Hydrogel with AgNps-Cur with Vernier is 11 mm. In which we observed present antimicrobial activity. **CONCLUSIONS:** The chitosan hydrogel with Cur AgNPs demonstrated significant antimicrobial action and antibiofilm capacity, constituting a promising alternative for preoperative decontamination in dentistry.

1. INTRODUCCIÓN

La creciente urgencia por ofrecer tratamientos dentales efectivos y asequibles ha cobrado especial relevancia tanto desde una perspectiva médica como económica, dado que las infecciones postoperatorias incrementan significativamente los costos de atención, prolongan los tiempos de recuperación y afectan la calidad de vida de los pacientes. En odontología restauradora y endodóntica, la descontaminación adecuada de la cavidad bucal previo a la colocación de materiales y dispositivos constituye un pilar fundamental para prevenir fracasos clínicos y evitar la necesidad de retratamientos, lo cual repercute directamente en la eficiencia de los servicios de salud y en el bienestar de las personas. En este escenario, la nanotecnología ha emergido como un campo de vanguardia que proporciona soluciones innovadoras al aprovechar las propiedades únicas de los materiales a escala nanométrica: partículas con tamaños comprendidos entre 1 y 100 nm que exhiben relaciones superficie-volumen extraordinarias, facilitando interacciones más eficaces con estructuras celulares y moléculas biológicas. Entre los nanomateriales, la plata se ha consolidado como uno de los antimicrobianos más prometedores gracias a su bajo perfil de toxicidad en humanos y a su amplio espectro de acción sobre bacterias, hongos y virus. En su forma nanoparticulada, la plata libera iones Ag^+ de manera controlada, genera especies reactivas de oxígeno y altera la permeabilidad de las membranas microbianas, mecanismos que redundan en un efecto antimicrobiano sostenido y robusto (2). En el ámbito dental, se ha demostrado que la incorporación de nanopartículas de plata en resinas compuestas, cementos de ionómero y materiales de sellado reduce significativamente la viabilidad de cepas cariogénicas como *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus* spp., sin comprometer las propiedades mecánicas ni estéticas de los materiales restauradores.

Paralelamente, el quitosán—biopolímero derivado de la quitina—ha sido empleado como matriz para desarrollar hidrogeles mucoadhesivos que favorecen la liberación prolongada de agentes activos y presentan una biocompatibilidad sobresaliente. Su combinación con nanopartículas de plata permite aprovechar sinergias entre la acción bacteriostática del quitosán y el efecto microbicida de los iones de plata, ofreciendo una estrategia dual contra la colonización bacteriana. Además, la biosíntesis de estas nanopartículas mediante extractos de *Curcuma longa* aporta un enfoque ecológico y económico, al utilizar los compuestos fenólicos y curcuminoides de la cúrcuma como agentes reductores y estabilizantes, reduciendo el uso de reactivos tóxicos y generando nanomateriales recubiertos de moléculas naturales que mejoran su dispersión y su tolerancia biológica. A pesar de que la clorhexidina al 2 % continúa siendo el estándar en desinfección preoperatoria por su eficacia reconocida, su uso sostenido puede asociarse con alteraciones gustativas, tinción dental y, en ocasiones, citotoxicidad en células periodontales, lo que ha impulsado la búsqueda de alternativas más seguras y económicas. De este modo, el planteamiento del problema se centra en determinar si un hidrogel de quitosán enriquecido con nanopartículas de plata biosintetizadas con *Curcuma longa* puede igualar o superar la efectividad antimicrobiana de la clorhexidina al 2 % en la preparación de la cavidad dental. La pregunta de investigación formulada es: ¿la clorhexidina al 2 % tiene igual o mayor efectividad que un gel de quitosán con nanopartículas de plata biosintetizadas con *Curcuma longa* aplicado previo a un tratamiento dental?

Uno de los pasos más importantes dentro de la práctica dental radica en que la descontaminación óptima de la superficie dental es esencial para el éxito de los procedimientos restaurativos y endodónticos; un protocolo que combine alta actividad

antimicrobiana, biocompatibilidad y viabilidad económica no solo reduciría las tasas de fracaso clínico, sino que también disminuiría la carga de costos asociados a retratamientos y complicaciones infecciosas. En definitiva, el desarrollo de un hidrogel de quitosán con AgNPs-Curcuma podría representar una alternativa innovadora y sostenible para mejorar la práctica odontológica y la experiencia del paciente.

2. HIPÓTESIS

“El hidrogel de AgNPs-Cur presenta actividad antimicrobiana y antibiofilm contra patógenos”

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar la actividad antimicrobiana de un hidrogel con nanopartículas de plata biosintetizadas con *Curcuma longa* contra patógenos orales.

3.2. Objetivos específicos

1. Sintetizar y caracterizar nanopartículas de plata con extracto acuoso de *Curcuma longa* (AgNPs-Cur).
2. Desarrollar un hidrogel de quitosán con el principio activo de AgNPs-Cur.
3. Establecer la actividad antimicrobiana del compuesto biosintetizado (AgNPs-Cur).
4. Determinar la concentración inhibitoria mínima (CIM) del hidrogel con AgNPs-Cur comparado con clorhexidina.
5. Evaluar la actividad antimicrobiana del hidrogel con AgNPs-Cur sobre cultivos bacterianos mixtos.

4. ANTECEDENTES

4.1. Antecedentes

La investigación sobre nanocompuestos multifuncionales para aplicaciones biomédicas ha ganado un impulso considerable, con un enfoque particular en la combinación de polímeros naturales y nanopartículas metálicas para combatir infecciones. La evidencia científica acumulada proporciona una base sólida para el desarrollo de un hidrogel de quitosano con AgNPs biosintetizadas. La literatura clave demuestra no solo la viabilidad de cada componente por separado, sino también el potencial sinérgico de su combinación.

Un estudio pionero que estableció la prueba de concepto para el sistema ternario completo fue el de Ferfera-Harrar et al. (2018), cuyo objetivo fue desarrollar nanocompuestos de hidrogel a base de quitosano-g-poliacrilamida y nanopartículas de plata (AgNPs) mediante un proceso ecológico con extracto de *Curcuma longa*, para evaluar su potencial antibacteriano. Metodológicamente, la síntesis implicó primero la preparación de los hidrogeles mediante copolimerización por injerto de acrilamida sobre quitosano, seguido de la incorporación e biosíntesis in situ de AgNPs utilizando nitrato de plata como precursor y el extracto de *Curcuma longa* como agente reductor y estabilizador. La actividad antibacteriana del nanocompuesto final se evaluó cuantitativamente mediante el método dinámico de matraz de agitación contra las cepas de referencia *Staphylococcus aureus* (Gram-positiva) y *Escherichia coli* (Gram-negativa). Los resultados fueron excepcionalmente positivos, demostrando que los hidrogeles cargados con AgNPs alcanzaron una tasa de eliminación bacteriana máxima del 99.99% para ambas cepas. La conclusión de este trabajo fue contundente: los nanomateriales de hidrogel optimizados,

sintetizados mediante un proceso verde, son candidatos prometedores para una variedad de bioaplicaciones gracias a su potente y eficiente actividad antibacteriana de amplio espectro. Este estudio es fundamental porque valida la combinación de los tres componentes clave del sistema de investigación propuesto.

Este trabajo también ilustra un principio de diseño avanzado en la ciencia de los materiales: la convergencia de la "síntesis verde" y la "terapia multifuncional". La elección de un agente de síntesis como el extracto de *Curcuma longa* no es simplemente una decisión para evitar los productos químicos tóxicos comúnmente utilizados en la síntesis de nanopartículas, como el borohidruro de sodio. Es una elección estratégica que fusiona el proceso de fabricación con la formulación del producto final. Se ha demostrado que la curcumina, el polifenol activo de la *Curcuma longa*, no solo actúa como agente reductor para convertir los iones de plata (Ag^+) en plata metálica (Ag^0), sino que también funciona como un agente de recubrimiento (capping agent), estabilizando las nanopartículas y evitando su agregación. Este proceso da como resultado AgNPs que están funcionalizadas en su superficie con moléculas de curcumina. Dado que estudios independientes han demostrado que la curcumina posee por sí misma una notable actividad antibacteriana, anti-adhesión, antiinflamatoria y antioxidante, el acto de la síntesis crea un nanocompuesto inherentemente multifuncional. El producto final puede, por tanto, atacar a los microbios a través de los mecanismos citotóxicos de la plata y, simultáneamente, inhibir la adhesión bacteriana y modular la inflamación del huésped a través de la acción de la curcumina. Esta sinergia programada desde la etapa de síntesis representa una sofisticación en el diseño de biomateriales.

Ampliando la evidencia sobre la combinación de quitosano y AgNPs, Suflet et al. (2021) se propusieron sintetizar hidrogeles estables de quitosano/alcohol polivinílico (PVA) y mejorar su actividad antimicrobiana inherente mediante la generación in situ de AgNPs. Su metodología consistió en preparar los hidrogeles mediante un método de doble reticulación, combinando la reticulación química con agentes epoxi y la reticulación física mediante ciclos de congelación-descongelación. Posteriormente, las AgNPs se generaron in situ sumergiendo los hidrogeles en soluciones de nitrato de plata de diversas concentraciones (1 mM, 5 mM y 10 mM) y exponiéndolos a irradiación UV. La eficacia antimicrobiana se determinó mediante el método de difusión en disco contra un panel de bacterias Gram-positivas y Gram-negativas. Los resultados cuantitativos revelaron una actividad inhibitoria excepcionalmente alta contra *S. aureus* y *K. pneumoniae*, con zonas de inhibición que oscilaron entre 42-45 mm y 20-24 mm, respectivamente, dependiendo de la concentración de plata. Sin embargo, la actividad fue notablemente menor contra *P. aeruginosa* y *E. coli*, con zonas de inhibición inferiores a 15 mm. Los hidrogeles sin AgNPs no mostraron actividad inhibitoria. Sus conclusiones destacaron que la incorporación de AgNPs mejoró drásticamente la actividad antimicrobiana de los hidrogeles de quitosano y que estos materiales, al demostrar ser no citotóxicos, son excelentes candidatos para dispositivos biomédicos como apósitos orales o para heridas.

Trasladando estos conceptos directamente al campo de la odontología, el trabajo de Aguirre de Rodríguez et al. (2025) evaluó el impacto de la aplicación de un nanocompuesto de AgNPs y gel de quitosano, en combinación con un barniz de flúor comercial, sobre la remineralización del esmalte dental. Su metodología implicó la preparación de un gel de

quitosano al 3.5% p/p que contenía una dispersión de AgNPs al 0.1% p/p. Este nanocompuesto se aplicó sobre bloques de esmalte dental previamente desmineralizados artificialmente para simular lesiones de caries incipientes. Aunque el objetivo principal del estudio era evaluar la capacidad remineralizadora y no se reportaron nuevos datos cuantitativos sobre la actividad antimicrobiana, los autores fundamentaron su investigación en las propiedades antibacterianas ya establecidas de las AgNPs y el quitosano, citando su capacidad para inactivar enzimas bacterianas y prevenir la replicación del ADN, reduciendo así el riesgo de caries. La conclusión principal se centró en la capacidad del nanocompuesto para mejorar la remineralización del esmalte en comparación con el barniz de flúor solo. Implícitamente, su trabajo valida la aplicación de un sistema combinado de quitosano-AgNPs en un contexto dental, aprovechando sus beneficios antimicrobianos como un mecanismo preventivo subyacente.

Para comprender mejor el papel del componente biosintético, el estudio de Sharifi & Maleki Dizaj (2025) se centró en investigar las propiedades antibacterianas y antibiofilm de los nanocristales de curcumina en comparación con la curcumina en su forma macro o a granel, específicamente contra el principal patógeno cariogénico, *Streptococcus mutans*. Para ello, utilizaron un método de precipitación evaporativa para formar nanocristales de curcumina con un tamaño promedio de 95 nm. Posteriormente, evaluaron su actividad biológica mediante la determinación de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) por el método de microdilución en caldo, y analizaron su efecto sobre la formación de biofilm y la adhesión bacteriana. Sus resultados cuantitativos demostraron una eficacia significativamente superior de la forma nanoestructurada: el rango de CMI para los nanocristales de curcumina fue de

125-256 $\mu\text{g}/\text{mL}$, mientras que el de la curcumina a granel fue considerablemente mayor, de 256-512 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Además, se observó que los nanocristales redujeron significativamente la adhesión bacteriana a las superficies a concentraciones sub-inhedorias (0.5 CMI), con una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$). La conclusión del estudio fue que los nanocristales de curcumina poseen una acción antibacteriana y anti-adhesión mejorada contra *S. mutans*, lo que sugiere su potencial para ser incorporados en productos de higiene oral, como enjuagues bucales y pastas dentales, para la prevención de la placa dental.

Finalmente, para reforzar el principio de la síntesis verde en un contexto dental y proporcionar un punto de referencia para la eficacia de las AgNPs, el estudio de Elchaghaby (2023) tuvo como objetivo biosintetizar AgNPs utilizando extracto de manzanilla y evaluar su efecto inhibidor contra *S. mutans*. En su metodología, se preparó un extracto acuoso de manzanilla que actuó como agente reductor para una solución de nitrato de plata (1mM), formando AgNPs con un tamaño medio de 41 nm. La actividad antibacteriana de estas nanopartículas biosintetizadas se cuantificó mediante dos métodos estándar: el método de difusión en disco de Kirby-Bauer para determinar la zona de inhibición y el método de dilución en serie para establecer la CMI. Los resultados mostraron una actividad antibacteriana efectiva: las AgNPs produjeron una zona de inhibición de 10 mm de diámetro contra *S. mutans*, y se determinó una CMI de $56 \pm 4.1 \mu\text{g}/\text{mL}$. El estudio concluyó que la biosíntesis de AgNPs con extractos de plantas es un método rápido, ecológico y eficaz para producir agentes antimicrobianos que podrían ser incorporados en diversos vehículos dentales para la prevención de la caries.

4.2. La Nanotecnología

La nanotecnología se define como la creación, manipulación y utilización de materiales y aparatos a escala nanométrica, trabajando típicamente con tamaños entre 10 y 100 nm. Se considera una de las tecnologías más importantes del siglo XXI, con aplicaciones multidisciplinarias en campos como la ingeniería, física, química y biología. En odontología, el término *nanodontología* alude al empleo de la nanotecnología en el cuidado bucal, lo que abarca nanomateriales, nanorobots y nuevas herramientas diagnósticas y terapéuticas para mejorar la salud oral(6). El prefijo “nano” proviene del griego *nanos* (enano) y se refiere a la milmillonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). La nanotecnología involucra manipular la materia a escala atómica o molecular para explotar propiedades novedosas que emergen a dicha escala. Un aspecto distintivo es que las partículas nanométricas presentan relaciones superficie/volumen muy elevadas, dando lugar a comportamientos físicos y químicos únicos. Esta disciplina ha revolucionado la ciencia de materiales al permitir la fabricación de estructuras más pequeñas, ligeras y resistentes, con mejor desempeño en comparación con materiales convencionales. Gracias a ello, la nanotecnología ofrece soluciones innovadoras en medicina, electrónica, energía y otros campos, pero también plantea desafíos en cuanto a seguridad y toxicidad de los nanomateriales.

4.3. Nanomateriales en la odontología

En el ámbito odontológico, los nanomateriales han abierto nuevas posibilidades para la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades orales. Existen numerosas aplicaciones de la nanotecnología en odontología clínica. Por ejemplo, se han desarrollado(7):

Nanoimpresiones para lograr moldes dentales de alta precisión, capturando detalles microscópicos de la dentición del paciente.

Nanocerámicas como la nano-zirconia empleada en coronas y prótesis, las cuales mejoran la resistencia mecánica, dureza y translucidez de las restauraciones, aumentando a la vez su longevidad y estética.

Nanocompuestos dentales que incorporan rellenos de tamaño nanométrico (ej. nanopartículas de sílice o vidrio de bario) en resinas, logrando restauraciones con mejor pulido, brillo y resistencia al desgaste, sin comprometer sus propiedades mecánicas.

Nano-hidroxiapatita en pastas y barnices dentales para remineralizar el esmalte y tratar la hipersensibilidad, mediante nanopartículas capaces de obturar túbulos dentinarios expuestos y reducir el dolor asociado.

Nanopartículas antimicrobianas (p.ej. de plata o cobre) añadidas a materiales dentales para prevenir infecciones y formación de biopelículas. Un caso reportado es un vidrio bioactivo con nanopartículas de plata u óxido de cobre incorporadas, que mostró notable actividad antiviral y antibacteriana.

Estos ejemplos ilustran cómo la *nano-odontología* está impactando la práctica dental: desde materiales restaurativos más fuertes y estéticos, hasta dispositivos nanométricos para liberación controlada de fármacos en periodoncia o incluso la visión futura de *nanorobots* que pudieran, por ejemplo, inducir anestesia sin agujas o regenerar tejido a nivel celular. En suma, la integración de nanomateriales en odontología ofrece mejoras sustanciales en precisión, eficacia terapéutica y resultados clínicos.

4.4. Nanopartículas de Plata (AgNP)

Entre los diversos nanomateriales metálicos, las nanopartículas de plata (AgNPs) destacan por sus potentes propiedades antimicrobianas. Se trata de partículas de plata elemental con dimensiones nanométricas (generalmente 1–100 nm), cuyas altas relaciones superficie-volumen les confieren una actividad biológica sobresaliente. Las AgNPs han mostrado eficacia contra una amplia gama de microorganismos, incluyendo bacterias (Gram-positivas y Gram-negativas), hongos e incluso virus con envoltura lipídica.

El principal mecanismo de acción de las nanopartículas de plata se asocia a la liberación continua de iones plata (Ag^+) y a su capacidad oxidativa en contacto con los fluidos biológicos. Estos iones pueden interactuar con componentes celulares clave de los microbios: *desestabilizan* la membrana celular y la pared bacteriana, *interfieren* con enzimas de la cadena respiratoria y *alteran* ácidos nucleicos, conduciendo a la muerte celular. Adicionalmente, las AgNPs inducen la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que causan daño oxidativo en proteínas, lípidos y ADN microbiano. Cabe mencionar que el tamaño y la forma de estas nanopartículas influyen en su actividad; tamaños muy pequeños (menores a ~10 nm) tienden a tener efecto antimicrobiano incrementado debido a su mayor superficie reactiva.

Gracias a estas características, las AgNPs han emergido como un agente promisorio para su uso en odontología, especialmente considerando la necesidad de incorporar sustancias antimicrobianas en materiales biomédicos dentales para prevenir caries e infecciones orales. De hecho, la plata ha sido utilizada en odontología desde el siglo XIX: hacia 1840 se empleaba nitrato de plata para prevenir/tratar la caries, luego fluoruro de plata (AgF) como agente anticaries, y en décadas más recientes la plata formó parte de restauraciones metálicas

como la amalgama dental. La llegada de la nanotecnología en el siglo XXI ha permitido usar la plata en escala nanométrica, potenciando sus propiedades biológicas. Estudios in vitro confirman que las nanopartículas de plata son efectivas incluso contra bacterias multirresistentes a antibióticos, lo que subraya su potencial como “agente antibiótico” alternativo. Su capacidad antimicrobiana de amplio espectro y prolongada (debido a la liberación lenta de Ag^+) las convierte en candidatas ideales para aplicaciones biomédicas.

4.5. Nanopartículas de Plata – Síntesis y obtención

Las AgNPs pueden sintetizarse mediante métodos químicos, físicos o biológicos, partiendo generalmente de una sal precursora (como el nitrato de plata, $AgNO_3$) que es reducida para generar plata metálica nanométrica. En síntesis química convencional se emplea un agente reductor (ej. citrato de sodio, borohidruro de sodio, hidrazina, etc.) que transforma Ag^+ en Ag^0 , y usualmente un agente estabilizador (como polímeros o surfactantes) que evita que las nanopartículas recién formadas se aglomeren. Por ejemplo, se han usado compuestos poliméricos como *quitosán* (un biopolímero derivado de la quitina) para estabilizar nanopartículas de plata dispersas, previniendo su agregación durante la síntesis. Los métodos físicos, por su parte, incluyen técnicas como la irradiación UV, la evaporación-condensación en fase vapor o la ablación láser para generar nanopartículas, ofreciendo el beneficio de no dejar residuos químicos pero a menudo requiriendo equipamiento costoso.

En años recientes ha cobrado auge la **síntesis biológica o “síntesis verde”** de nanopartículas de plata, buscando procesos más seguros y ecológicos (libres de reactivos tóxicos). Este enfoque aprovecha organismos vivos o extractos naturales como agentes reductores y estabilizantes. Diversos *microorganismos* (bacterias, hongos) y *plantas* han demostrado capacidad para reducir iones plata y producir nanopartículas estables. En la llamada

fitosíntesis, extractos vegetales ricos en metabolitos antioxidantes (como polifenoles, flavonoides, azúcares reductores) pueden actuar simultáneamente como agentes reductores de Ag^{+} y como capping agents, obteniendo así nanopartículas de plata sin necesidad de químicos peligrosos. Este método verde suele ser sencillo, de bajo costo y con buena biocompatibilidad de las nanopartículas resultantes. De hecho, en el campo odontológico se ha reportado que las plantas son los organismos más comunes para biosintetizar AgNPs de manera eco-amigable. Un ejemplo relevante es el uso de extractos de *Curcuma longa* (cúrcuma) para producir AgNPs, como se detallará más adelante. En suma, existen múltiples rutas de síntesis de nanopartículas de plata; la elección depende de considerar pureza, distribución de tamaños, costo, impacto ambiental y compatibilidad biomédica requeridas.

4.6. Principales aplicaciones de las nanopartículas de plata

Las AgNPs poseen una amplia gama de aplicaciones debido a sus propiedades físicas (conductividad eléctrica y térmica, óptica plasmónica) y especialmente a su acción antimicrobiana. Se estima que las nanopartículas de plata son el nanomaterial con mayor grado de comercialización mundial en productos de consumo. Sus usos abarcan numerosos sectores industriales y biomédicos, entre los que destacan:

Salud y biomedicina: en dispositivos médicos (catéteres, válvulas, implantes) con recubrimientos de plata para prevenir infecciones nosocomiales; en apósitos y vendajes para heridas y quemaduras, aprovechando su efecto bactericida para promover la cicatrización sin infecciones; en pomadas o geles antibacterianos; en aplicaciones odontológicas (como se detallará en secciones posteriores).

Productos de higiene y cosméticos: incorporadas en desodorantes, jabones antibacteriales, pastas dentales y otros cosméticos para inhibir el crecimiento microbiano. También se

emplean en materiales de almacenamiento de alimentos y en refrigeradores con recubrimientos de AgNPs que impiden la proliferación de bacterias y moho.

Textiles y ropa: muchas telas (por ejemplo, calcetines, ropa deportiva, tapabocas) contienen nanopartículas de plata integradas en sus fibras para conferir propiedades antimicrobianas, previniendo el mal olor y las infecciones por hongos o bacterias en contacto con la piel. Estos textiles “antibacterianos” liberan lentamente iones plata que eliminan los gérmenes y resisten varios ciclos de lavado sin perder eficacia.

Purificación de agua y aire: las AgNPs se utilizan en sistemas de filtración y desinfección de agua potable gracias a su capacidad de destruir bacterias, virus y parásitos a bajas concentraciones. También se investigan recubrimientos con plata para superficies o filtros de aire acondicionado con el fin de eliminar patógenos ambientales.

Industria electrónica y de materiales: dada su conductividad, se emplean en tintas conductoras para impresión de circuitos flexibles, en sensores y dispositivos electrónicos a nanoescala. Asimismo, forman parte de pinturas, revestimientos y materiales plásticos con propiedades antimicrobianas (p.ej., en refrigeradores, revestimientos de paredes de quirófanos, etc.) para mantener entornos libres de microbios.

Agricultura y alimentación: como agentes antifúngicos y bactericidas (biofungicidas) en tratamientos de semillas, recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de alimentos, o en control de plagas, aprovechando que son tóxicas para microorganismos pero relativamente seguras para plantas y humanos en dosis controladas.

Las nanopartículas de plata se han convertido en una herramienta versátil e invaluable. Sus aplicaciones van desde mejorar productos de uso cotidiano (ropas, cosméticos, electrodomésticos) hasta su integración en soluciones de alto impacto en medicina y

odontología, donde ayudan a combatir infecciones y mejorar la biocompatibilidad de materiales.

4.7. Ventajas de las nanopartículas de plata (AgNPs)

Las AgNPs ofrecen **múltiples ventajas** que explican su creciente uso en salud y odontología:

Potente efecto antimicrobiano de amplio espectro: Las nanopartículas de plata son intrínsecamente bactericidas y fungicidas, activas contra una gran variedad de patógenos (desde *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* hasta *Candida albicans*), incluso en formas biofilm. A diferencia de antibióticos convencionales de espectro limitado, las AgNPs actúan simultáneamente sobre diversos blancos celulares, lo que reduce la probabilidad de resistencia. De hecho, se ha observado que cepas bacterianas multirresistentes a fármacos siguen siendo susceptibles a la plata nanométrica, ya que los mecanismos genéticos que confieren resistencia a antibióticos no logran protegerlas de las múltiples vías de ataque de las AgNPs. Esto convierte a la plata en un valioso aliado para combatir infecciones resistentes.

Mayor eficacia con pequeñas dosis: Debido a su diminuto tamaño, las AgNPs presentan una enorme área superficial relativa. Esto permite un contacto íntimo y extendido con los microorganismos, liberando iones y ROS de forma cercana al blanco, logrando efectos letales con concentraciones muy bajas de plata. En otras palabras, son necesarias menores cantidades de nanopartículas para obtener la misma acción antimicrobiana que compuestos de plata convencionales, lo cual puede disminuir costes y potencial toxicidad. Además, a menor tamaño de partícula, mayor penetración en micro-hendiduras y matrices de biofilm,

incrementando su alcance donde otros agentes no llegan. Estudios reportan que las AgNPs <10 nm muestran una actividad antimicrobial superior, atribuido a su tamaño ultrafino.

Mecanismo multimodal y sostenido: Las AgNPs combinan efectos físicos (disrupción de membranas), químicos (oxidación celular vía ROS) y iónicos (interacción de Ag^{+} con enzimas y ADN). Esta acción multimodal no solo potencia su efectividad, sino que dificulta que los patógenos desarrollen resistencia, pues requerirían mutaciones simultáneas en múltiples vías. Asimismo, las nanopartículas liberan lentamente iones plata en el medio, proporcionando una protección **prolongada** contra microbios (efecto depot). Por ejemplo, en contextos dentales, un material impregnado con AgNP puede brindar actividad antibacteriana duradera en la interfaz diente-restauración, inhibiendo la recolonización bacteriana a lo largo del tiempo.

Compatibilidad e integración en biomateriales: Otra ventaja es que las AgNPs pueden incorporarse a distintos materiales dentales (resinas, cerámicas, cementos) sin alterar significativamente sus propiedades mecánicas o estéticas cuando se usan en bajas proporciones. Por ejemplo, añadir nanopartículas de plata a una resina compuesta o adhesivo dental puede otorgarle propiedad antibacterial *in situ* sin afectar su polimerización o adhesión, según diversos estudios. Esto permite desarrollar **materiales dentales “bioactivos”** que no solo cumplen su función estructural sino que además previenen caries secundarias o infecciones. A diferencia de los iones plata tradicionales (como el fluoruro diamino de plata, que mancha de negro los dientes), las nanopartículas de plata pueden brindar protección anticaries **sin efectos indeseables cosméticos** cuando se formulan adecuadamente – por ejemplo, la adición de nano-plata a barnices de flúor logró inhibir 77% la progresión de lesiones de caries incipientes sin provocar manchas ni irritación.

Propiedades físico-químicas favorables: Las AgNPs presentan estabilidad química y térmica razonable, especialmente cuando van estabilizadas por polímeros o recubrimientos apropiados, lo que facilita su almacenamiento y uso en formulaciones comerciales. Además, muestran *resonancia de plasmón de superficie* (SPR) – una propiedad óptica que les confiere un color amarillo-marrón característico – la cual puede ser aprovechada en sensores o para seguimiento visual de su dispersión. También son fácilmente funcionalizables: su superficie puede modificarse con biomoléculas (ej. péptidos, anticuerpos) para dirigir las hacia blancos específicos o conferirles otras funciones (p. ej., actividad catalítica en reacciones químicas). Esta versatilidad las hace atractivas más allá del campo dental, en ámbitos diagnósticos y terapéuticos avanzados.

4.8. La plata como material de restauración

El uso de la plata en restauraciones dentales tiene una larga historia. Desde mediados del siglo XIX, compuestos de plata se emplearon para combatir la caries: *Howe* introdujo el nitrato de plata como una cauterización química de lesiones cariosas, y posteriormente la combinación de plata con fluor (el fluoruro diamínico de plata, AgF) demostró eficacia en detener la progresión de caries, especialmente en dentición decidua. Aunque estos tratamientos tópicos de plata manchaban el diente de color negro, su capacidad antimicrobiana y remineralizante los hizo valiosos como terapia preventiva en odontología pediátrica y comunitaria (y hoy en día el AgF ha resurgido en forma de productos comerciales de **SDF** para detención de caries).

En cuanto a restauraciones propiamente dichas, la **amalgama de plata** ha sido durante más de un siglo el material de restauración *definitiva* por excelencia. La amalgama (una aleación

de aproximadamente 50% mercurio con plata, estaño, cobre y otros metales) se utiliza desde la década de 1830 y proporcionó empastes duraderos y de bajo costo. La plata metálica en la amalgama le confiere su clásica apariencia plateada y propiedades antibacterianas leves (por liberación de iones metálicos), contribuyendo a la longevidad de estas obturaciones. A pesar de controversias por el mercurio, las amalgamas de plata han mostrado una excelente resistencia al desgaste y baja incidencia de caries recurrente en los bordes de la restauración, en parte atribuible al efecto bacteriostático de los componentes metálicos.

Con el advenimiento de resinas compuestas estéticas, el uso de amalgama ha disminuido; sin embargo, la *plata* sigue estando presente en la odontología restauradora moderna a través de nuevos enfoques. Por un lado, se desarrollaron materiales híbridos como los **ionómeros de vidrio modificados con plata**, donde partículas de aleación de plata se incorporan al cemento ionomérico para mejorar su resistencia mecánica y conferirle acción antibacteriana. Un ejemplo fue el “miracle mix”, usado en restauraciones provisionales y muñones, que liberaba fluor y plata para proteger contra caries. Por otro lado, han surgido **adhesivos dentales y resinas compuestas con nanopartículas de plata** añadidas: la idea es crear restauraciones capaces de inhibir la colonización de *Streptococcus mutans* u otras bacterias cariogénicas en la interfase diente-material. Estudios recientes han explorado resinas experimentales con pequeñas proporciones de AgNPs (en el orden del 0.5–1% en peso), encontrando que pueden inhibir significativamente el crecimiento bacteriano sin comprometer las propiedades físicas del material.

Actualmente, el uso comercial de nanopartículas de plata en odontología restauradora todavía es limitado pero *incipiente*. Solo unos pocos productos han llegado al mercado incorporando AgNPs en su formulación. Entre ellos se reportan: un **adhesivo dental** denominado

*NanoCare*TM que contiene nanopartículas de oro y plata con efecto desinfectante para la preparación cavitaria; un compuesto de partículas de plata (Novaron® AG300) agregado a materiales resinosos con vistas a reducir la caries secundaria; y un **sellador endodóntico** (GuttaFlowTM Bioseal) enriquecido con plata nanoestructurada, destinado a eliminar bacterias residuales en conductos radiculares. Estos desarrollos evidencian la tendencia de la industria hacia materiales dentales *bioactivos*. La plata en sus distintas formas (sales, amalgamas, nanopartículas) ha demostrado ser un aliado valioso para la odontología, ya sea en prevenir caries o en prolongar la vida útil de las restauraciones al mantener a raya la infección microbiana.

4.9. La aplicación antibacteriana de nanopartículas de plata en odontología – Tratamiento de restauración

Una de las áreas más prometedoras de las AgNPs es su aplicación para controlar las bacterias durante y después de los procedimientos de restauración dental. Las caries dentales y las infecciones secundarias suelen originarse por microorganismos que permanecen en la cavidad preparada o que infiltran los márgenes de la restauración. En este contexto, las nanopartículas de plata se investigan como agentes antibacterianos adyuvantes en distintos pasos del tratamiento restaurador:

- **Desinfección de cavidades y conductos:**

Antes de colocar un relleno o una corona, es crucial eliminar la carga microbiana en la dentina remanente. Se han desarrollado soluciones y geles con AgNPs para irrigar cavidades y conductos radiculares infectados. Por ejemplo, en endodoncia, un irrigante final con nanopartículas de plata ha mostrado eficacia antimicrobiana comparable a la del hipoclorito de sodio al 2.5%, logrando eliminar *Enterococcus faecalis* y otras bacterias del conducto

radicular. Esto es notable ya que *E. faecalis* es resistente y causa frecuentes fracasos endodónticos; la plata nano disuelta provee una acción potente sin los efectos agresivos del cloro. Asimismo, en restauraciones directas, se han ensayado imprimadores adhesivos con AgNP (a modo de *desinfectante intraoperatorio*) que se aplican tras el grabado ácido, antes del adhesivo, para erradicar bacterias en la dentina. Un producto comercial en esta línea (Nanocare™) incorpora nanopartículas de plata en el primer adhesivo, y reportes indican que es biocompatible con la pulpa dental y efectivo reduciendo la flora bacteriana sin afectar la adhesión del material de relleno.

- **Materiales restauradores antimicrobianos:**

La incorporación de AgNPs en resinas compuestas, ionómeros de vidrio u otros materiales de obturación busca conferirles una función antibacterial intrínseca. Esto se traduciría en que la propia restauración prevenga la colonización de *S. mutans* en su superficie y en los márgenes, disminuyendo la incidencia de caries recurrente. Investigaciones *in vitro* han demostrado resultados alentadores: un composite con nanotubos de halloysite cargados con AgNP inhibió completamente el crecimiento de *S. mutans* sin mostrar citotoxicidad hacia células pulpares. De igual forma, adhesivos dentinarios con nanopartículas de plata han mostrado actividad antibacteriana inmediata y duradera en el unión diente-resina, sin comprometer la polimerización ni la fuerza de adhesión del sistema. En algunos estudios, la presencia de AgNP incluso incrementó la energía de mojado superficial del adhesivo, mejorando su penetración en la dentina y la integridad del sellado marginal. Si bien aún falta investigación clínica a largo plazo, estos materiales nano-híbridos apuntan a reducir significativamente problemas como la filtración marginal y la caries secundaria, prolongando la vida de las restauraciones.

- **Protección en ortodoncia e implantología:**

Fuera del campo de las caries, las AgNPs también han sido aplicadas en otros contextos odontológicos donde la acumulación bacteriana es perjudicial. En ortodoncia, por ejemplo, se impregnaron brackets y ligaduras con nanopartículas de plata para evitar la formación de placa alrededor de los aparatos; los resultados mostraron menor desmineralización del esmalte (menos manchas blancas) y una reducción de *S. mutans* y *Lactobacillus* en pacientes portadores de brackets. En implantología, las superficies de implantes de titanio tratadas con recubrimientos de AgNP han evidenciado una disminución en la adhesión bacteriana y en la formación de biopelícula, sin interferir en la osteointegración. Esto sugiere que la plata nano podría ayudar a prevenir la peri-implantitis al inhibir tempranamente a las bacterias colonizadoras del implante. Incluso se ha combinado AgNPs con materiales de cementación de prótesis (resinas de ortodoncia, cementos quirúrgicos) obteniendo reducciones en la actividad metabólica del biofilm y en la producción de ácidos por las bacterias, factores clave en la disolución de cementos y la inflamación periimplantaria.

La aplicación antibacteriana de las nanopartículas de plata en odontología abarca desde *prevenir* la contaminación durante procedimientos restaurativos hasta *dotar* a los materiales dentales de actividad antimicrobiana permanente. Estas estrategias podrían revolucionar la práctica, permitiendo restauraciones “activas” que no solo reparen la estructura dental sino que también combatan la etiología bacteriana de las enfermedades orales. Si bien es necesaria más evidencia clínica, las AgNPs se perfilan como aliadas para lograr tratamientos restaurativos más seguros, duraderos y libres de complicaciones infecciosas.

4.9 La Cúrcuma longa

La *Curcuma longa* (comúnmente conocida como cúrcuma) es una planta herbácea de la familia Zingiberaceae, originaria del sudeste asiático, cuyo rizoma es ampliamente utilizado como especia y en medicina tradicional. El principal componente bioactivo del rizoma de cúrcuma es la curcumina, un polifenol de color amarillo intenso, al que se le atribuyen numerosas propiedades terapéuticas: es antiinflamatorio, antioxidante, antimicrobiano, hepatoprotector y analgésico, entre otros efectos. Por siglos, los extractos de cúrcuma han formado parte de remedios herbales para tratar afecciones gastrointestinales, trastornos de la piel, inflamaciones y heridas, aprovechando sus cualidades antisépticas. Sin embargo, la curcumina pura presenta inconvenientes farmacológicos (baja solubilidad en agua, escasa biodisponibilidad sistémica) que han limitado su uso clínico convencional.

En el contexto nanotecnológico, la cúrcuma ha cobrado interés como agente bioreductor para la síntesis verde de nanopartículas. Los extractos acuosos de *C. longa* son ricos en curcuminoides y otros compuestos fenólicos con fuerte poder reductor y quelante de metales. Esto significa que pueden convertir iones Ag^{+} de una sal precursora (AgNO_3 generalmente) en plata metálica (Ag^0) nanoestructurada, sin necesidad de químicos artificiales. En un estudio pionero, Shameli et al. biosintetizaron nanopartículas de plata utilizando polvo de rizoma de cúrcuma como reductor y estabilizante simultáneo. En esa síntesis, al mezclar extracto de *Curcuma longa* con una solución de nitrato de plata, la solución adquirió una coloración marrón oscura característica debido a la formación de coloides de plata (confirmada por una banda de absorción ~ 415 nm en el UV-Vis). Las nanopartículas obtenidas tenían un diámetro medio de ~ 6 nm, de forma aproximadamente esférica y cristalinas según difracción de rayos X. Este enfoque verde produce AgNPs

recubiertas por componentes de la cúrcuma, lo que ayuda a su estabilidad coloidal (impidiendo que se agreguen) y potencialmente mejora su biocompatibilidad.

La unión de la cúrcuma y la nanoplata resulta especialmente atractiva en odontología, pues combina las propiedades beneficiosas de ambos. Investigadores indios desarrollaron *nanopartículas de plata mediadas por cúrcuma* (denominadas TuAgNPs, por *turmeric* AgNPs) y evaluaron su actividad contra patógenos orales habituales. Las TuAgNPs sintetizadas presentaron tamaño ~30 nm y forma esférica (observadas por TEM). En pruebas *in vitro*, demostraron potente capacidad antioxidante (neutralizando ~88% radicales libres DPPH) y antiinflamatoria (~83% de inhibición en modelos de inflamación) a concentraciones de 50 µg/mL. Más relevante aún, exhibieron un amplio efecto antimicrobiano frente a bacterias y hongos orales: inhibieron significativamente el crecimiento de *Streptococcus mutans* (bacteria clave en la caries), *Staphylococcus aureus* y *Candida albicans* a dosis tan bajas como 25 µg/mL, y de *Enterococcus faecalis* (implicado en infecciones endodónticas persistentes) a 50 µg/mL. Estos resultados sugieren que las nanopartículas de plata sintetizadas con extracto de cúrcuma no solo son efectivas contra microorganismos patógenos de la cavidad bucal, sino que también podrían ejercer efectos beneficiosos atenuando la inflamación y el estrés oxidativo en tejidos orales.

5. MÉTODOS

5.1. Síntesis y caracterización de AgNPs-Cur

Las nanopartículas de plata se sintetizaron usando el método coloidal (Shameli, Ahmad et al. 2012). Para llevar a cabo la síntesis se utilizaron los siguientes reactivos: nitrato de plata y extracto acuoso de *Curcuma longa*. Para caracterizar las nanopartículas sintetizadas y obtener información de la forma y tamaño de las nanoestructuras se obtuvo micrografías de microscopía electrónica de barrido (SEM; FEI Tecnai G2 Twin, Hillsboro, OR; 160 kV accelerating voltage) y espectro EDX (Espectroscopía de Rayos X de Energía Dispersiva) para evaluar la composición química. Las nanopartículas de plata se biosintetizaron con *Curcuma longa* hasta crear un polvo fino, el cual se mezcló con el Hidrogel de quitosan .

5.2. Desarrollo del Hidrogel

Se pesó 1 gramo de Chitosan en polvo, con una pipeta se extrajo 200 μ L de Ácido acético en 50 ml de agua. Se mezcló en un tubo de ensayo y pasó directamente a un agitador Vortex por varios minutos hasta observar que la mezcla del gel se observó homogénea. Por último, se dejó reposar por 24 horas. Una vez pasadas las 24 horas, se mezcló en un tubo de ensayo el gel de chitosan, glicerina y solución de AgNps-Cur. Se mezclaron con un agitador magnético y se hizo una prueba de pH. Se agregó el gel de AgNps-Cur al 10% a una jeringa de 10 ml.

5.3. Actividad antimicrobiana

La actividad antimicrobiana del gel de quitosan suplementado con nanopartículas AgNPs-Cur, sobre el crecimiento de *S. mutans* (ATCC 700610), *S. gordonii* (ATCC 10558) y *S. sobrinus* (ATCC 27607), se determinó por la prueba de difusión de agar de Kirby y Bauer. Los microorganismos se cultivaron en agar tripticaseína de soya (TSB, BD DIFCO, Sparks MD, USA) a 37°C, por 18 horas en condiciones aeróbicas con inóculos estándar (0.5 McFarland). Posteriormente, 100 µL de los precultivos se esparcieron en placas con agar TSB usando torunda de algodón estéril. Después, se hizo pozos con anillo de poliestireno de 5 mm de diámetro previamente esterilizados sobre la superficie de agar. Se colocaron 50 µL en 3 pozos independientes. Después de incubar por 18 horas a 37°C, el diámetro del halo se midió con Vernier.

5.4. Determinación de CIM

La determinación de la concentración inhibitoria mínima se estableció mediante la lectura de absorbancia a 600nm de cada uno de los tratamientos. Una vez obtenidas las AgNPs-Cur, se procedió a determinar las siguientes concentraciones finales: 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 2%, 4%, 6% y 10% y tiempos de 10 seg, 20 seg, 30 seg, 40 seg y 1 minuto, que se depositaron por triplicado en placas de 48 pozos.

5.5. Ensayo Antibiofilm

Se utilizó la concentración con mayor eficacia antimicrobiana y con diferentes tiempos desde 10 seg, 20 seg, 30 seg, 40 seg y 1 minuto en una caja Petri. Previamente se desarrolló un

biofilm de 48 horas de crecimiento utilizando un cultivo mixto para posteriormente colocar el Hidrogel de AgNPs-Cur. Se hizo la colocación del Hidrogel en cada pozo independiente con un protocolo de tiempo específico seguido de lavado y secado. Posteriormente se aplicó cristal violeta al 0.1% y se dejó actuar 10 min. Se cuantifico la absorbancia a 570 nm.

5.6. Análisis estadístico.

El análisis de los datos se llevó a cabo mediante la prueba paramétrica de *t* student y ANOVA con Tukey HSD para evaluar el efecto de los tratamientos y establecer las diferencias entre grupos. En todas las pruebas estadísticas se consideró un nivel de significancia de $p=0,05$.

6. RESULTADOS

Durante el proceso de síntesis, se observó un cambio de color en la solución que contenía el extracto de *Curcuma longa* y nitrato de plata (AgNO_3). Inicialmente, la mezcla presento un color amarillo-naranja, característico del extracto de cúrcuma. Tras 24 horas de incubación a temperatura ambiente, la solución adquirió un tono verde-amarillento. Este cambio cromático es un indicativo visual de la formación de nanopartículas de plata (AgNPs), atribuible a la resonancia de plasmones superficiales localizada (LSPR), fenómeno óptico asociado a la interacción de la luz con nanopartículas metálicas (Figura 1).

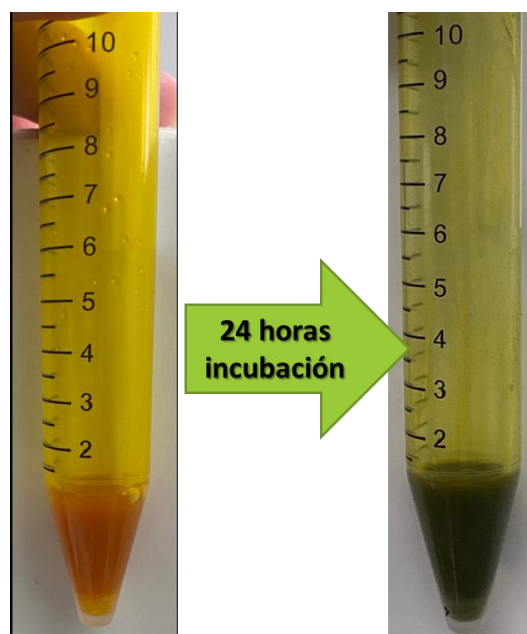


Figura1. Síntesis de AgNP-Cur

Las micrografías obtenidas mediante SEM a aumentos de 100,000x y 250,000x revelaron la presencia de nanopartículas de morfología predominantemente esférica. Las partículas se encontraban distribuidas de forma relativamente homogénea, sin evidencia de aglomeraciones significativas, lo que sugiere una buena estabilización por parte de los compuestos bioactivos presentes en el extracto de cúrcuma. Las mediciones realizadas sobre las imágenes SEM indicaron tamaños de nanopartículas de 13.9 nm, 11.9 nm, 19.8 nm, 26.2 nm, 17.5 nm y 21.4 nm, con un tamaño promedio aproximado de 18.5 nm. Esta distribución de tamaños es adecuada para aplicaciones biomédicas y antimicrobianas (Figura 2).

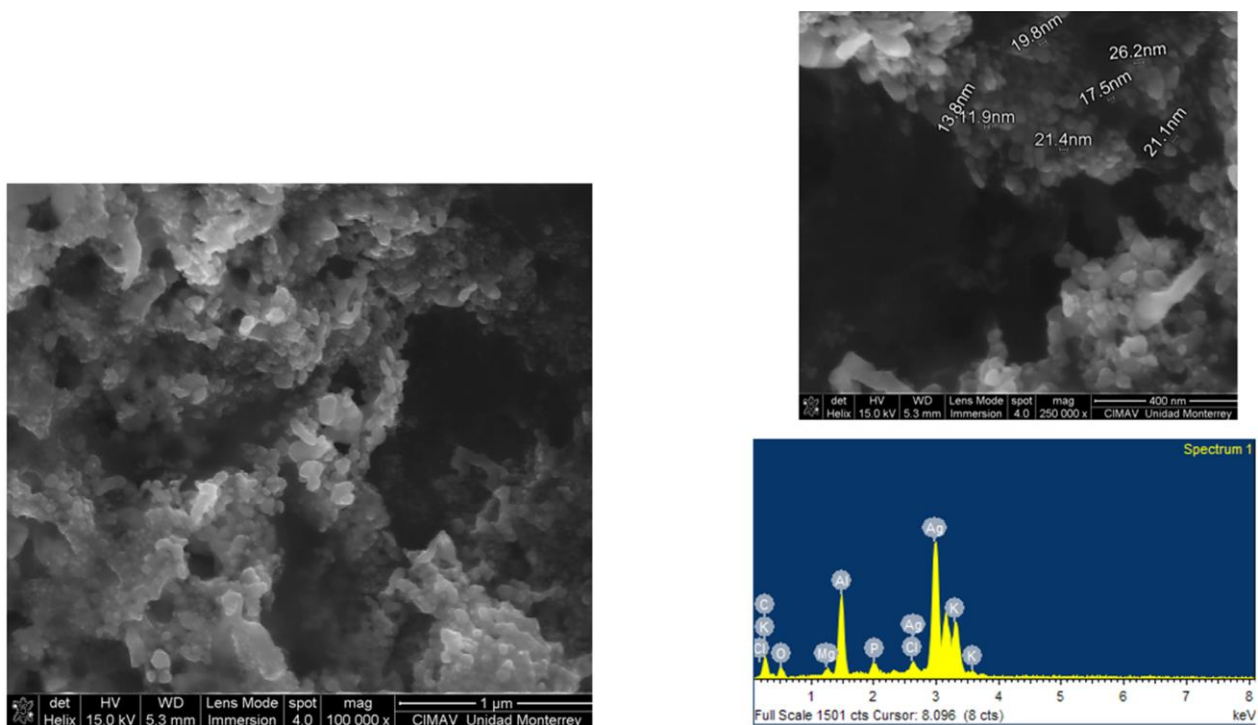


Figura 2. SEM de AgNP-Cur y espectro de energía de dispersión de rayos X (EDX) que indica la presencia de Ag.

El espectro EDX obtenido confirmó la presencia de plata en las nanopartículas sintetizadas, mediante la identificación de picos característicos del elemento Ag. Además, se detectó señales de carbono y oxígeno, atribuibles a los compuestos orgánicos del extracto vegetal o al sustrato utilizado. Estos resultados validan la composición elemental de las partículas observadas en el análisis SEM (Figura 2).

Se evaluó la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con *Curcuma longa* (AgNP-Cur) en comparación con clorhexidina (CHX), un antiséptico de referencia, frente a tres especies de bacterias orales: *Streptococcus gordonii*, *S. mutans* y *S. sobrinus*. La eficacia se determinó mediante la medición del diámetro del halo de inhibición en milímetros (mm).

Los resultados mostraron que AgNP-Cur presentó un halo de inhibición de 28.95 ± 1.7 mm frente a *S. gordonii*, superando significativamente a CHX (24.75 ± 0.5 mm) ($p=0.041$). Este hallazgo sugiere que las nanopartículas poseen una alta eficacia antimicrobiana contra esta especie, posiblemente debido a la sinergia entre los compuestos bioactivos de la cúrcuma y la plata metálica. En el caso de *S. mutans*, CHX mostró una mayor actividad (22.88 ± 0.52 mm) en comparación con AgNP-Cur (20.9 ± 0.44 mm), aunque la diferencia fue menos pronunciada. Para *S. sobrinus*, la diferencia fue más evidente, con CHX alcanzando un halo de 22.2 ± 1.2 mm, mientras que AgNP-Cur mostró un halo de 15.9 ± 1.18 mm.

Estos resultados indicaron que la eficacia antimicrobiana de las nanopartículas depende de la especie bacteriana. Mientras que AgNP-Cur fue más efectivo contra *S. gordonii*, CHX mostró una mayor eficacia frente a *S. mutans* y *S. sobrinus*. Esta variabilidad puede estar relacionada con diferencias en la estructura de la pared celular, mecanismos de resistencia o afinidad de los compuestos activos hacia cada cepa. En conjunto, los datos respaldan el potencial de las nanopartículas de plata sintetizadas con *Curcuma longa* como agentes antimicrobianos alternativos, especialmente frente a ciertas bacterias orales. No obstante, se recomienda realizar

estudios adicionales para evaluar su espectro de acción, toxicidad y mecanismos de interacción con las células bacterianas.

	<i>S. gordonii</i>	<i>S. mutans</i>	<i>S. sobrinus</i>
<i>AgNP-Cur</i>	28.95±1.7 mm	20.9±0.44 mm	15.9±1.18 mm
<i>CHX</i>	24.75±0.5 mm	22.88±0.52 mm	22.2±1.2 mm

Tabla 1. Valores antimicrobianos de AgNP-Cur y CHX sobre *Streptococcus*. Los valores reflejan \pm SD (n=5), con un $\alpha=0.05$

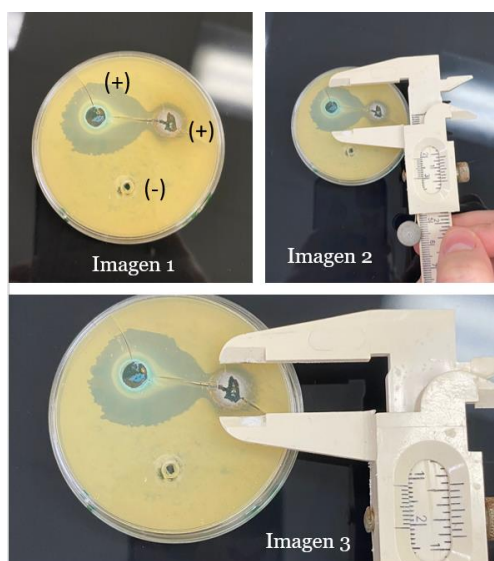


Figura 3. Ensayos de difusión en disco y medición de los halos de inhibición

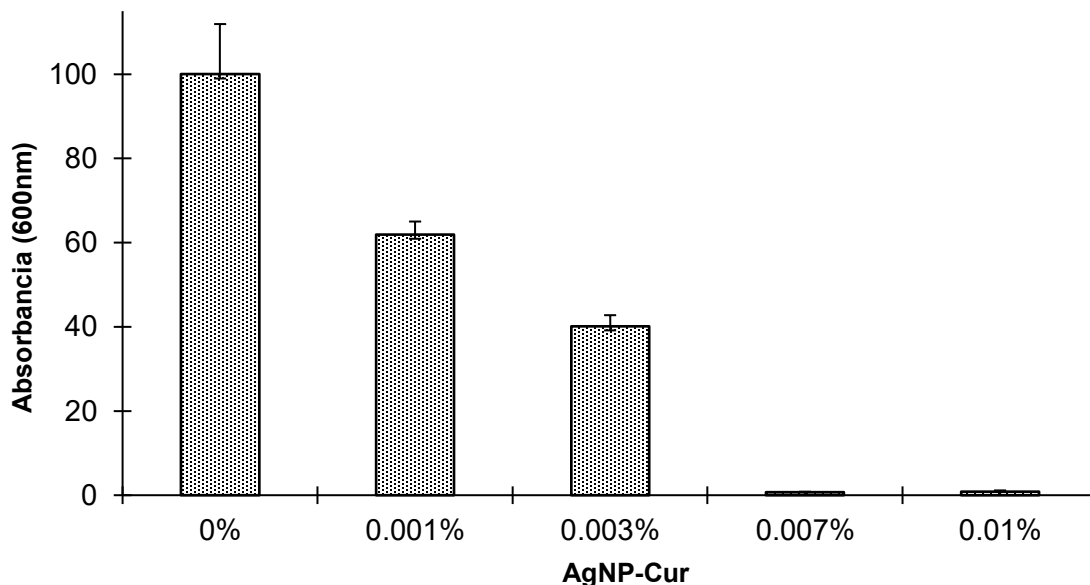


Figura 4. Determinación de la CIM sobre el crecimiento en cultivo mixto de Streptococcus.

En el ensayo para determinar la concentración inhibitoria mínima, se muestra un gráfico de barras que representa la absorbancia a 600 nm de cultivos microbianos expuestos a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata funcionalizadas con curcumina (AgNP-Cur): 0%, 0.001%, 0.003%, 0.007% y 0.01%. Esta longitud de onda es comúnmente utilizada en microbiología para estimar la densidad celular en cultivos bacterianos, ya que la absorbancia a 600nm se correlaciona directamente con la concentración de bacterias en suspensión (Figura 4). Los resultados indicaron que la presencia de AgNP-Cur afecta la densidad óptica de los cultivos, lo cual sugiere un impacto sobre el crecimiento microbiano. En el control (0%), se observó la mayor absorbancia, lo que indica un crecimiento normal sin la presencia del agente antimicrobiano. A medida que aumento la concentración de AgNP-Cur, se observó una disminución progresiva en la absorbancia, lo que sugiere una inhibición del crecimiento bacteriano en cada concentración evaluada ($p=>0.0001$). Estos resultados confirmaron que incluso pequeñas variaciones en la concentración de AgNP-Cur produjeron efectos diferenciables

y significativos sobre la densidad óptica microbiana. Esto reforzó la hipótesis de que las AgNP-Cur tienen un efecto antimicrobiano dependiente de la dosis, y que dicho efecto es estadísticamente robusto.

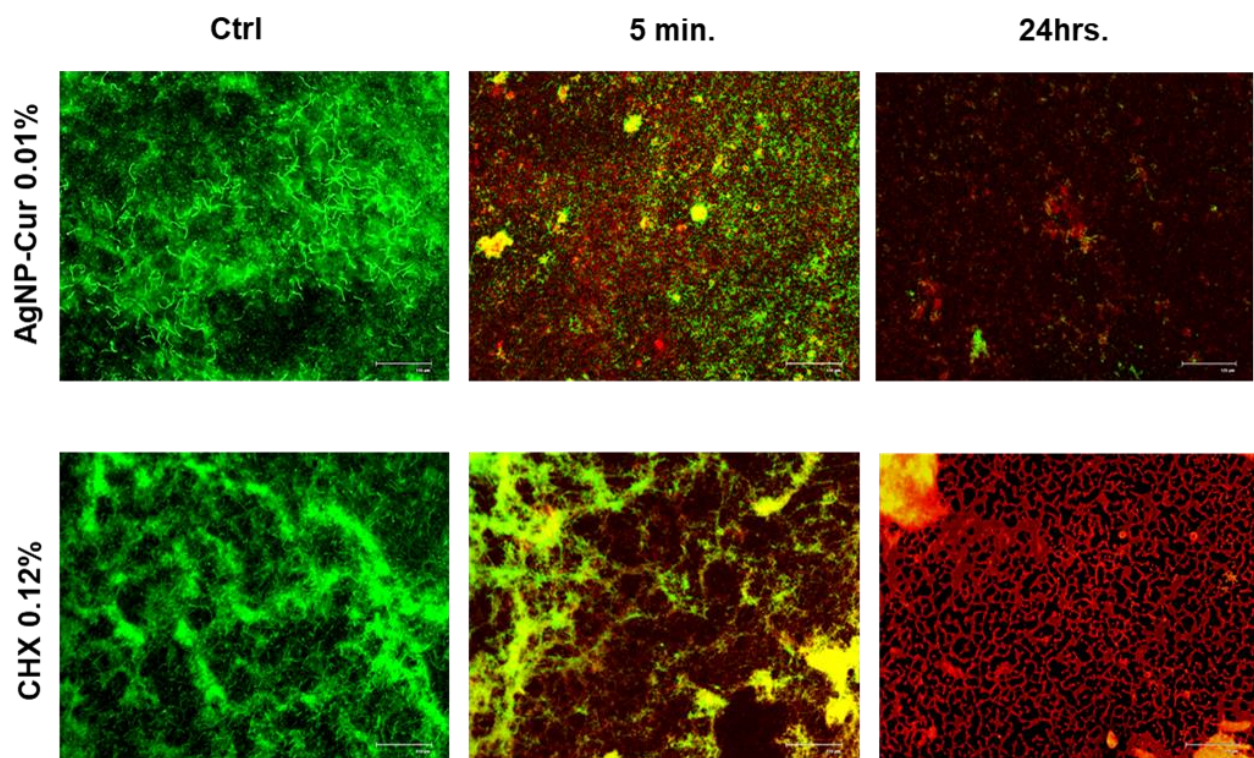


Figura 5. Ensayo live & dead a diferentes tiempos (5 min y 24 horas) con el hidrogel de AgNP-Cur 0.01% y CHX 0.12% en cultivo mixto. Barra corresponde a 125 μ m.

En el ensayo de viabilidad bacteriana (Live/Dead BacLight), se evaluaron dos tratamientos antimicrobianos: nanopartículas de plata funcionalizadas con curcumina (AgNP-Cur 0.01%) y clorhexidina (CHX 0.12%), en tres condiciones temporales: control (sin tratamiento), 5 minutos y 24 horas. Ambos tratamientos mostraron eficacia antimicrobiana, respaldaron el potencial uso de AgNP-Cur como alternativa o complemento a antimicrobianos convencionales, especialmente en contextos donde se busca una liberación controlada o sostenida del agente activo (Figura 5).

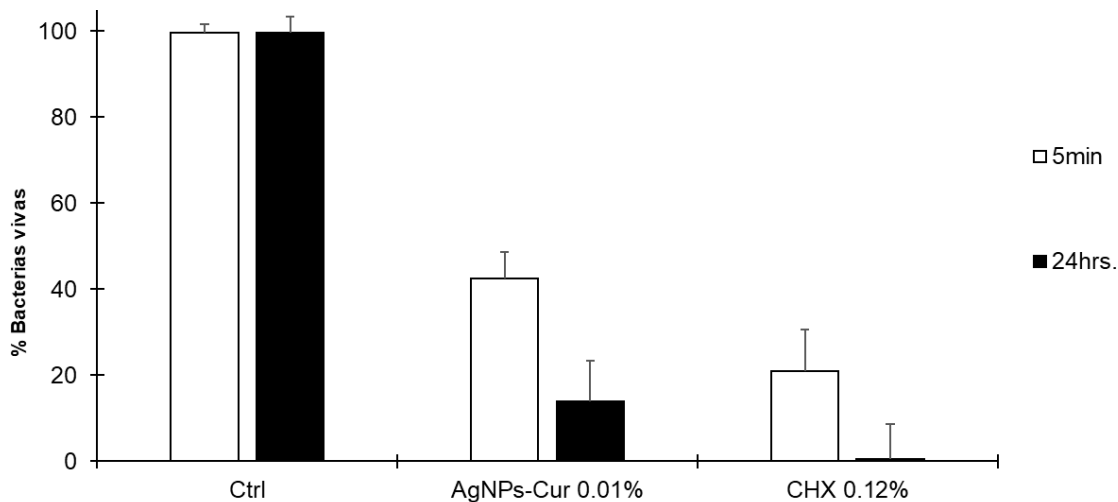


Figura 6. Cuantificación de ensayo live/dead de AgNP-Cur y CHX sobre cultivo mixto.

El análisis cuantitativo con el tratamiento con AgNP-Cur 0.01%:

- A los 5 minutos se observó una reducción moderada en la viabilidad bacteriana (~40%), lo que sugirió un inicio de actividad antimicrobiana.
- A las 24 horas, la viabilidad disminuyó drásticamente (~10%), indicando un efecto bactericida acumulativo y dependiente del tiempo. Esto es consistente con la acción progresiva de las nanopartículas, posiblemente mediada por la liberación sostenida de iones de plata y la acción sinérgica de la curcumina. Ambos tratamientos mostraron eficacia antimicrobiana significativa en comparación con el control. Sin embargo, CHX actuó de forma más rápida, mientras que AgNP-Cur presentó una acción más gradual pero efectiva a largo plazo. Estos resultados respaldaron el potencial uso de AgNP-Cur como alternativa o complemento a antimicrobianos convencionales, especialmente en aplicaciones donde se requiera una liberación prolongada del agente activo.

7. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que la síntesis coloidal de nanopartículas de plata empleando extracto acuoso de *Curcuma longa* no solo se confirmó cualitativa y cuantitativamente mediante el cambio de color de la disolución —de amarillo a marrón verdoso en 24 h—, sino que permitió obtener AgNPs esféricas con diámetros de 11,9 – 26,2 nm y una capa orgánica que, según el espectro EDX, aporta estabilidad coloidal y potencial biocompatibilidad. La incorporación de estas AgNPs al 10 % en un hidrogel de quitosán (pH 7,4) generó una matriz mucoadhesiva de consistencia homogénea, adecuada para su aplicación al tejido dental. En la prueba de difusión en agar, el halo de inhibición de 11 mm frente a cepas de *Streptococcus mutans*, *S. gordonii* y *S. sobrinus* demuestra que este sistema ejerce un efecto bacteriostático significativo, aunque menor que los 23 mm de la clorhexidina al 2 %, estándar clínico de referencia. Esta diferencia sugiere que, si bien la velocidad de difusión de la clorhexidina en agar es mayor, la acción prolongada de los iones Ag^+ liberados por el gel podría compensar en un contexto dinámico de cavidad bucal. La curva dosis-respuesta permitió definir una concentración inhibitoria mínima de 0,007 %, un valor bajo que respalda la alta eficiencia de las AgNPs Cur sintetizadas y su posible uso a dosis reducidas, minimizando riesgos de citotoxicidad. El ensayo antibiofilm mostró, además, que la biomasa adherida disminuye de forma proporcional al tiempo de exposición, evidenciando que el hidrogel penetra la matriz exopolimérica y combate el biofilm donde a menudo fracasan los antimicrobianos convencionales.

Estos hallazgos complementan y contrastan con la literatura previa. Ferfera-Harrar et al. lograron tasas de eliminación del 99,99 % contra *S. aureus* y *E. coli* en nanocompuestos de

quitosano-g-poliacrilamida con AgNPs-Cur síntesis verde, confirmando la sinergia entre polímero y nanopartículas (1). Suflet et al. demostraron zonas de inhibición de hasta 45 mm en hidrogeles quitosano/PVA con AgNPs generadas in situ, lo que enfatiza la influencia de la matriz y la concentración de plata en la eficacia antimicrobiana (2). En un contexto odontológico, Aguirre de Rodríguez et al. emplearon un gel similar con AgNPs al 0,1 % y observaron mejoras en la remineralización del esmalte, lo que apoya la aplicabilidad clínica de sistemas quitosán-plata (3). Por su parte, Sharifi y Maleki Dizaj documentaron una CMI de 125–256 $\mu\text{g}/\text{mL}$ para nanocristales de curcumina contra *S. mutans*, superior a la de la forma a granel, lo cual sugiere que la funcionalización de AgNPs con curcuminoides potencia la acción antibacteriana (4). Finalmente, Elchaghaby obtuvo una zona de inhibición de 10 mm y CMI de $56 \pm 4,1 \mu\text{g}/\text{mL}$ con AgNPs sintetizadas con manzanilla, resultados muy cercanos a los de este estudio y que ratifican la robustez del enfoque de biosíntesis verde (5). En conjunto, la información generada aporta un modelo de hidrogel de quitosán con AgNPs-Cur que, gracias a su proceso de fabricación sencillo, su eficacia demostrada y su perfil biocompatible, podría convertirse en una herramienta valiosa para la descontaminación preoperatoria en odontología, ofreciendo una alternativa sostenible y de bajo costo a los antisépticos tradicionales.

8. CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio respaldan el potencial del gel de quitosano con nanopartículas de plata biosintetizadas con *Curcuma longa* como una alternativa eficaz y segura frente a la clorhexidina al 2% en la descontaminación previa a tratamientos dentales. La combinación de estos tres componentes ofrece una acción antimicrobiana sinérgica, con beneficios adicionales como propiedades antiinflamatorias, antioxidantes y cicatrizantes, lo que podría mejorar la respuesta tisular y reducir los efectos adversos asociados a los antisépticos convencionales. Además, el uso de materiales naturales y biocompatibles como el quitosano y la curcumina representa un avance hacia una odontología más sostenible y menos invasiva. Aunque los resultados *in vitro* son prometedores, se requiere la realización de estudios clínicos controlados para validar su eficacia en condiciones reales y establecer protocolos estandarizados de aplicación. En conclusión, el gel de quitosano con nanopartículas de plata y *Curcuma longa* se perfila como una alternativa innovadora y funcional para mejorar la bioseguridad en procedimientos odontológicos, contribuyendo al desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas basadas en nanotecnología y fitoterapia.

9. LITERATURA CITADA

1. Ferfera-Harrar H, Berdous D, Benhalima T. Hydrogel nanocomposites based on chitosan-g-polyacrylamide and silver nanoparticles synthesized using *Curcuma longa* for antibacterial applications. *Polym Bull.* 2018;75:2819–46.
2. Suflet D ~M., Popescu I, Pelin I ~M., Ichim D ~L., Daraba O ~M., Constantin M, et al. Dual crosslinked chitosan/PVA hydrogels containing silver nanoparticles with antimicrobial properties. *Pharmaceutics.* 2021;13(9):1461.
3. de Rodríguez K ~A., Montalvo-Arce Y, Paz-González A, Torres-Gómez A, Sampieri-Cabrera R, Pozos-Guillén A. Silver Nanoparticles–Chitosan Nanocomposites as Protective Coatings for Dental Remineralization Treatment: An In Vitro Study. *Coatings.* 2025;15(1):40.
4. Sharifi S, Maleki Dizaj S. Antibacterial Action of Curcumin Nanocrystals on *Streptococcus mutans*. *Open Dent J.* 2025;19:e18742106370812.
5. Elchaghaby M ~A. Inhibitory effect of silver nanoparticles synthesized using the chamomile extract against *Streptococcus mutans* cariogenic pathogen. *Dent Med Probl.* 2023;60(3):483–9.
6. Gaceta Dental. Nanodontología: la nanotecnología aplicada al sector dental [Internet]. 2022. Available from: <https://gacetadental.com/2022/03/nanodontologia-la-nanotecnologia-aplicada-al-sector-dental-29914/>
7. Fernandez C ~C., Sokolonski A ~R., Fonseca M ~S., et~al. Applications of silver nanoparticles in dentistry: advances and technological innovation. *Int J Mol Sci.* 2021;22(5):2485.
8. Mok ZH, Proctor G, Thanou M. Emerging nanomaterials for dental treatments. *Emerg Top Life Sci.* 2020;4(6):613–25.
9. Yin IX, Zhang J, Zhao IS, Mei ML, Li Q, Chu CH. The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry. *Int J Nanomedicine.* 2020;15:2555–62.
10. Dakal NS, Kumar A, Majumdar RS, Yadav VS. Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles. *Front Microbiol.* 2016;7:1831.

11. Talapko J, Matijević T, Pečo K, et al. Antibacterial activity of silver and its application in dentistry: a review. *Microbiol Res (Pavia)*. 2020;231:126021.
12. Hernández-Delgadillo R, Sánchez-Nájera RI, Caballero-Quintal G, et al. Green synthesis of silver nanoparticles using *Curcuma longa* extract and evaluation of its antimicrobial activity. *Molecules*. 2012;17(8):9189–201.
13. Shameli K, Ahmad M ~B., Zamanian A, et~al. Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Curcuma longa* tuber powder. *Int J Nanomedicine*. 2012;7:5603–10.
14. Dharman S, Maragathavalli G, Rajeshkumar S, Shanmugasundaram K. Biosynthesis of turmeric silver nanoparticles: its characterization and evaluation of antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial potential against oral pathogens – an in vitro study. *J Indian Acad Oral Med Radiol*. 2023;35(3):299–305.
15. Ávalos A, Haza A ~I., Morales P. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. *Rev Complut Cienc Vet*. 2013;7(2):1–23.
16. Loan Khanh L, Tran TT, Nguyen VT. Curcumin: pharmacological properties and potential applications in dentistry. *J Ethnopharmacol*. 2019;232:47–64.
17. Yin I ~X., Zhang J, Zhao I ~S., Mei M ~L., Li Q, Chu C ~H. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. *Int J Nanomedicine*. 2020;15:2555–62.
18. Ontong J ~C., Singh S, Nwabor O ~F., Chusri S, Voravuthikunchai S ~P. Potential of antimicrobial topical gel with synthesized biogenic silver nanoparticle using *Rhodomyrtus tomentosa* leaf extract and silk sericin. *Biotechnol Lett*. 2020;42(12):2653–64.
19. Nayyar P, Sethi A, Thakur D, Khullar S, Gayati S, Adarsh K. Antibacterial Effect of Silver Nanoparticle Gel as an Intracanal Medicament in Combination with Other Medicaments against *Enterococcus faecalis*: An In vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021;
20. Wu D, Fan W, Kishen A, Gutmann J ~L., Fan B. Evaluation of the antibacterial efficacy of silver nanoparticles against *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod*. 2014;40(2):285–90.

21. Qudeimat MA, Alyahya A, Karched M, Behbehani J, Salako NO. Dental plaque microbiota profiles of children with caries-free and caries-active dentition. *J Dent.* 2021;104.
22. Spatafora G, Li Y, He X, Cowan A, Tanner ACR. The Evolving Microbiome of Dental Caries. Vol. 12, *Microorganisms.* 2024.
23. Thomas R, Snigdha S, Bhavitha K ~B., Babu S, Ajith A, Radhakrishnan E ~K. Biofabricated silver nanoparticles incorporated polymethyl methacrylate as a dental adhesive material with antibacterial and antibiofilm activity against *Streptococcus mutans*. *3 Biotech.* 2018;8(9):404.
24. Shameli K, Ahmad M ~B., Zamanian A, Sangpour P, Shabanzadeh P, Abdollahi Y, et al. Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Curcuma longa* tuber powder. *Int J Nanomedicine.* 2012;7:5603–10.
25. Talapko J, Matijević T, Juzbašić M, Antolović-Požgain A, Škrlec I. Antibacterial Activity of Silver and Its Application in Dentistry, Cardiology and Dermatology. *Microorganisms.* 2020;8(9):1400.
26. Targhi A ~A., Moammeri A, Jamshidifar E, Abbaspour K, Sadeghi S, Lamakani L, et al. Synergistic effect of curcumin-Cu and curcumin-Ag nanoparticle loaded niosome: Enhanced antibacterial and anti-biofilm activities. *Bioorg Chem.* 2021;115:105116.
27. Sattari S, Dadkhah Tehrani A, Adeli M. pH-Responsive Hybrid Hydrogels as Antibacterial and Drug Delivery Systems. *Polymers (Basel).* 2018;10(6):660.

10. RESUMEN BIOGRÁFICO

Myrthala De La Garza Aguiñaga

Candidato para el Grado de
Maestría en Prosthodontia

Tesis: “ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE UN HIDROGEL DE QUITOSAN CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA BIOSINTETIZADAS CON Curcuma longa CONTRA PATÓGENOS ORALES”

Campo de Estudio: Ciencias de la Salud

Datos Personales: Nacido en Torreón, Coahuila el 10 de agosto de 1993, hijo de Eugenio De La Garza Benita y Myrthala Aguiñaga Garza

Educación: Egresado de la Universidad De Monterrey, grado obtenido Médico Cirujano Dentista en 2018 con sexto lugar en la generación.

Experiencia Profesional: Especialista en Prosthodontia y Administrador ejecutivo de tiempo completo de la clínica Haisha Cosmética Dental desde 2023.