



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DESINFECCIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCTOS
RADICULARES POR MEDIO DE NANOPARTÍCULAS.
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANA DENTISTA

PRESENTA:

HANNA AHTZIRI PÉREZ BARRERA

TUTOR: Esp. JUAN IGNACIO CORTÉS RAMÍREZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIAS

A Ana Griselda Barrera Fuentes por ser mi pilar, mi complemento, mi amiga, mi compañera. Gracias por todo el cariño que nos brindas, por enseñarme el poder del conocimiento, la superación y la educación, te amo mamá.

A José Cornelio Pérez Onofre por esforzarte para que tuviera lo inalcanzable, por ser tu prioridad. Gracias por brindarme una educación y hacer tu mayor esfuerzo porque tengamos un mejor futuro, te amo papá.

A Oscar Mateo Montes de Oca B. y José Diego Pérez A., por darme razones para vivir y bridarles el mejor ejemplo e inspiración, los amo hermanos.

Al Esp. Juan Ignacio Cortés Ramírez, por la paciencia, disponibilidad, interés y apoyo en mi educación. Gracias por brindarme el honor de haber sido mi tutor.

A la Dra. Ma del Rosario Lazo García por darme ese aliento de poder y capacidad cuando estaba a punto de rendirme. Siga brindando ese amor y paciencia a sus alumnos.

A Shareny García, Arely Aguilar y Ximena Ávila por demostrarme el verdadero significado de la amistad y alentarme siempre a la superación. Gracias por apoyarme y no dejar que me rindiera.

A Carmen Barrera, por cuidarme y preocuparte siempre, gracias por darme una buena educación y escucharme, te amo tía. A Fernanda Barrera por darme la oportunidad de ser un motivo de ejemplo para tu superación personal, y dejarme ver tus capacidades, te amo prima.

A Jair Barrera y Vanessa Correa por preocuparse por mi bienestar, apoyarme a concluir mi licenciatura, darme educación y ganas de crecer tanto personal como profesionalmente.

A Evangelina Barrera Correa por ser mi ejemplo a seguir, quererme y apoyarme siempre que lo necesito. Gracias por enseñarme a conocer mis capacidades.

A Gabriel Barrera Fuentes y Norma Soria por quererme, aconsejarme y siempre impulsarme a no detenerme en mis metas, gracias por apoyarme tanto en los momentos más difíciles de mi corta vida.

A la familia Perez Onofre y la familia Barrera Fuentes porque cada uno han brindado una semilla a lo largo de mi vida enseñándome muchas cosas, apoyándome y queriéndome a su manera.

Gracias.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| OBJETIVOS..... | 2 |
| 1. BIOFILM EN ENDODONCIA..... | 3 |
| 2. IRRIGACIÓN Y DESINFECCIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCTOS... 8 | |
| 2.1. Características de un irrigante ideal..... | 8 |
| 2.2. Requisitos de un irrigante..... | 9 |
| 2.2.1. Tensión superficial..... | 9 |
| 2.2.2. Viscosidad..... | 10 |
| 2.2.3. Actividad antimicrobiana..... | 11 |
| 2.2.4. Actividad quelante..... | 11 |
| 2.2.5. Actividad lubricante..... | 12 |
| 2.2.6. Suspensión de los detritus..... | 12 |
| 2.3. Soluciones Irrigantes..... | 13 |
| 2.3.1. Hipoclorito de Sodio..... | 14 |
| 2.3.1.1. Actividad solvente..... | 17 |
| 2.3.1.2. Actividad antimicrobiana..... | 18 |
| 2.3.1.2.1. pH de la solución..... | 18 |
| 2.3.1.2.2. Temperatura..... | 19 |
| 2.3.1.3. Materia Orgánica..... | 19 |
| 2.3.1.4. Concentración..... | 20 |
| 2.3.2. Gluconato de Clorhexidina..... | 20 |
| 2.3.3. Ácido Etilendiaminotetracético (EDTA)..... | 23 |
| 2.3.4. Ácido etidrónico..... | 24 |
| 2.3.5. Ácido Cítrico..... | 25 |

| | |
|--|--------|
| 3. NANOPARTÍCULAS EN ENDODONCIA..... | 26 |
| 3.1. Nanopartículas de quitosano..... | 30 |
| 3.2. Nanopartículas de plata..... | 33 |
| 3.3 Nanopartículas de vidrio bioactivo..... | 37 |
| 3.4. Nanopartículas de oro..... | 38 |
| 3.5. Nanopartículas de ácido polilactico-co-glico (PGLA)..... | 39 |
| 3.6. Desinfección e irrigación con nanopartículas en el tratamiento de conductos radiculares..... | 40 |
| CONCLUSIONES..... | 45 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 46 |

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es una revisión bibliográfica de las tendencias futuras y actuales de las soluciones irrigantes respecto a su efecto y función bactericida.

La intención de buscar diversos desinfectantes del sistema de conductos radiculares es intentar garantizar la no formación de biopelículas.

Hay una gran frecuencia de fracasos endodóncicos y estos presentan un alto riesgo de infecciones en los pacientes.

El objetivo de la eliminación de microorganismos ha mostrado gran deficiencia en lograr una limpieza profunda del contenido séptico necrótico. Sabemos que en la cavidad bucal se encuentran aproximadamente mil bacterias con más de setecientas especies diferentes.

Se busca un análisis completo de las soluciones irrigantes y a su vez este número de bacterias busca un nicho de nutrición.

La periodontitis apical es una enfermedad infecciosa relacionada con la presencia de microorganismos en el sistema de conductos radiculares. Su tratamiento está dirigido a eliminar o, como mínimo, reducir el microbiota infectante, a niveles que permitan que se produzca la reparación.

Su tratamiento se basa en la eliminación mecánica del tejido necrótico y los microorganismos del sistema de conductos radiculares y la irrigación con agentes químicos para complementar la eliminación de tejido y microorganismos de áreas del sistema.

OBJETIVOS

Comparar la desinfección con nanopartículas de quitosano, vidrio bioactivo y plata como método complementario para la irrigación intraconducto.

Describir las ventajas de las nanopartículas para el tratamiento de conductos a largo plazo.

1. BIOFILM EN ENDODONCIA

Las biopelículas son sistemas dinámicos con atributos de ambos organismos multicelulares primordiales y representan un modo de crecimiento protegido que permite que las células sobrevivan. La etapa inicial de formación de biopelículas incluye la unión de bacterias al sustrato. El crecimiento y la división bacteriana conducen a la colonización del área circundante y a la maduración del biofilm (Fig.1). El ambiente en una biopelícula no es homogéneo: las bacterias de las biopelículas de varias especies no se distribuyen al azar si no que se organizan para satisfacer mejor sus necesidades.¹

Las biopelículas están compuestas por microorganismos que están incrustados en una matriz extracelular de producción propia que une a las células, tienen una gran relevancia clínica ya que proporcionan a las bacterias entornos protectores contra el estrés, las respuestas inmunitarias, los agentes antibacterianos y los antibióticos.¹

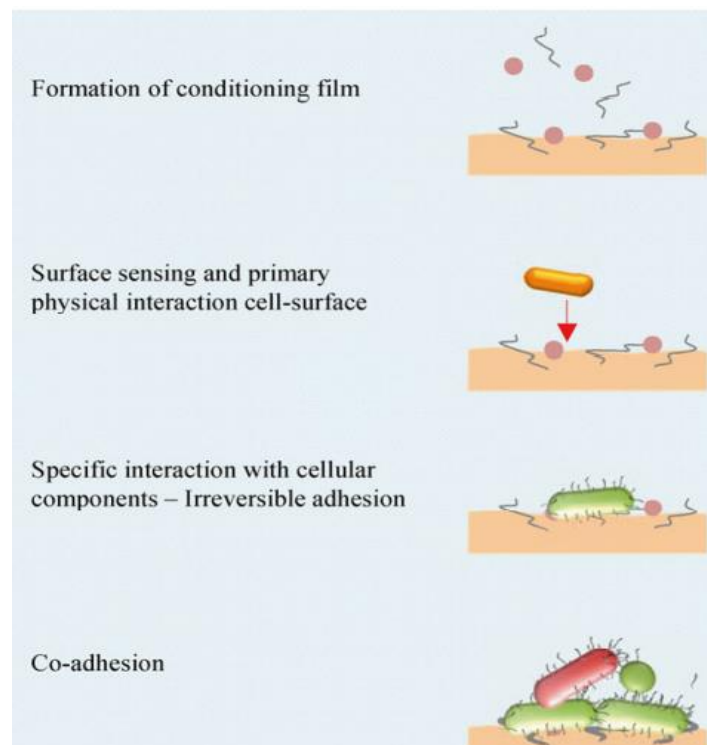


Fig.1. Tomada de Basrani B. Endodontic Irrigation. Pag2. Initial stages of biofilm formation. 2016.

El crecimiento y la división bacteriana conducen a la colonización del área circundante y la maduración del biofilm.

La formación de una biopelícula bacteriana es un proceso de desarrollo que comienza cuando una célula se adhiere a una superficie, esta incluye varios pasos que se pueden dividir en dos grandes grupos que son las interacciones iniciales de las células con el sustrato y el crecimiento y desarrollo del biofilm (Fig.2).²⁴

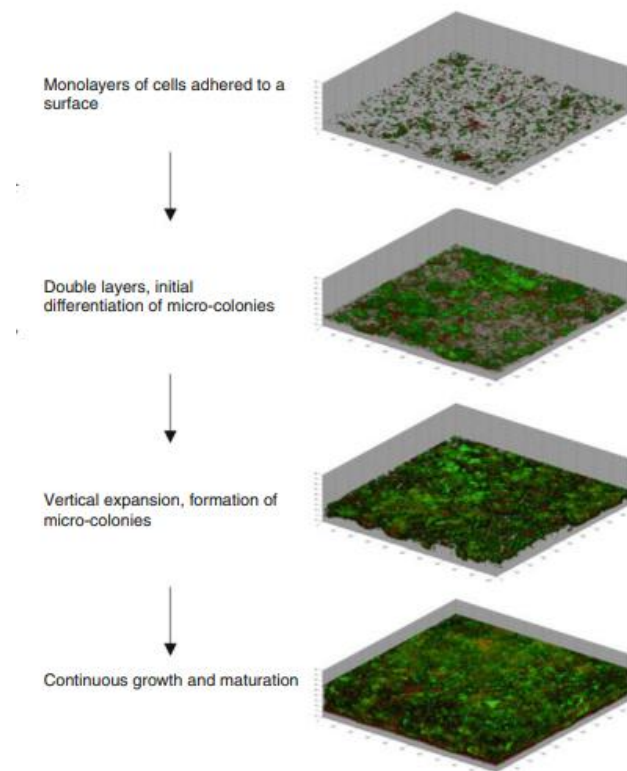


Fig.2.Tomada de Basrani B. Endodontic Irrigation.Pag2. Biofilm growth and maturation. 2016.

Las biopelículas inician la formación cuando una célula flotante libre (célula en estado planctónico) se deposita sobre un sustrato recubierto con una matriz polimérica acondicionadora orgánica o película acondicionadora.

El siguiente paso es cuando la adhesión de la célula al sustrato se vuelve irreversible. Esto se debe en parte a que los apéndices de la superficie superan las fuerzas repulsivas entre las dos superficies y también a la ayuda de los exopolímeros pegajosos secretados por las células. Estos exopolímeros hidrófilos tienen una estructura compleja y dinámica.²⁴

La segunda parte de la formación de una biopelícula comprende su crecimiento y desarrollo. El desarrollo de una biopelícula se produce como el resultado de la replicación de las células adherentes y de la adhesión de células adicionales a la biopelícula, en consecuencia, durante el crecimiento, algunas células se desprenderán del biofilm con el tiempo.²⁴

Se han encontrado que los microorganismos colonizan adhiriéndose a las paredes de la dentina en toda la extensión de los conductos radiculares. Estas agregaciones de microorganismos se han observado adheridas a las paredes internas de anatomías complejas del ápice y conductos accesorios. Cuando estas comunidades de biopelículas se forman en superficies ubicadas más allá del alcance de la remoción mecánica y los efectos antimicrobianos, las proteínas derivadas del huésped de los tejidos necróticos restantes y las sustancias adhesivas producidas por bacterias proporcionan los requisitos previos adecuados para la supervivencia de los microorganismos (Fig. 3).²

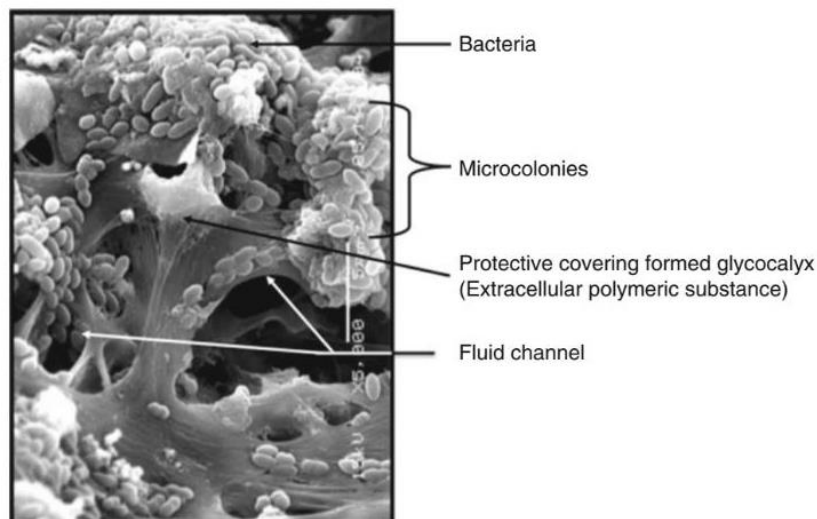


Fig.3. Tomada de Kishen A. Nanotechnology in endodontics. SEM image showing ultrastructure of bacterial Biofilm forme don dentin. Pag100. 2015.

En 2004, Svensäter y Bergenholtz propuso una hipótesis para la formación de biopelículas en conductos radiculares; esta teoría va a contar de cuatro fases: La primera consiste en que se forme una película adhesiva sobre la dentina que se promueve por el depósito de proteínas y algunos

compuestos que se obtienen del proceso de necrosis y/o inflamación. La segunda consiste en que sobre esa película pegajosa se van a fijar algunas bacterias que tienen una capacidad de adhesión específica. La tercera nos explica que la primera capa de bacterias ya adheridas va a segregar mediadores que van a ir fijando más y más bacterias, de esa estirpe o de otras y de igual manera va formando la matriz extracelular de polisacárido la cual es la primera barrera de defensa de esta. La cuarta consiste en que el biofilm ya va madurando y va creando sistemas de defensa más complejos, de igual manera van a arrojar bacterias al exterior que van a cronificar la respuesta inflamatoria del huésped.²⁴

Esta observación podría explicar como el frente de la lesión inflamatoria sirve como fuente de líquido para el desprendimiento de biopelícula bacteriana y la colonización de otros sitios remotos del conducto radicular. Como conclusión de estas fases la característica principal es la capacidad de resistencia que contiene el biofilm dentro del conducto radicular.²⁴

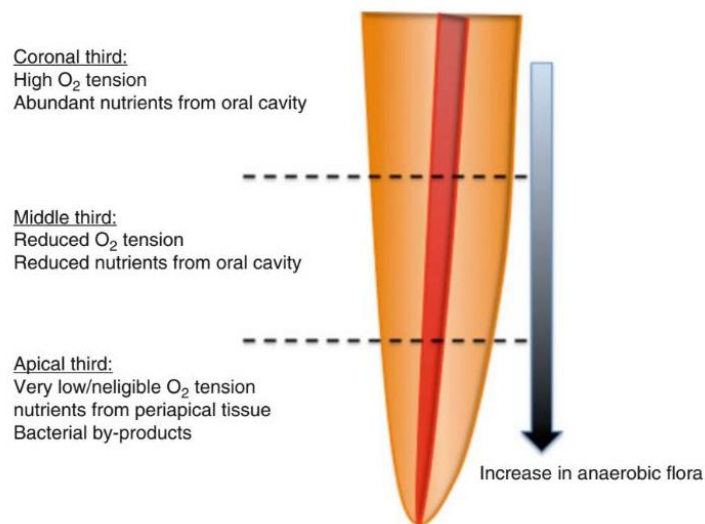


Fig.4. Tomada de Kishen A. Nanotechnology in endodontics. The root canal space presents with selective pressures allowing specific bacteria to survive depending on their nutritional and environmental requirements, pag101. 2015.

El biofilm intrarradicular se aloja en zonas de difícil acceso, muchas zonas de este sistema no están al alcance de las limas, por lo que no pueden entrar en contacto con la infección y eliminarla (Fig.4).⁸

Las bacterias asociadas al biofilm no fomentan infecciones agudas, sino crónicas, debido al tipo de metabolismo y sus características.⁶

Se ha reportado la presencia de biofilm en la superficie radicular en dientes con periodontitis apical asintomática con abscesos apicales crónicos asociados con fístulas. Se desarrollan en las superficies radiculares fuera del foramen apical y se asocian con periodontitis periapical sin embargo se desconoce qué especies bacterianas forman las biopelículas extrarradiculares.⁸

Se cree que las razones del aumento de la resistencia de las bacterias cuando se forma una biopelícula son múltiples y, en la actualidad, no existe un consenso general sobre los mecanismos específicos. Pareciera que la resistencia depende de múltiples factores como el sustrato, el microambiente y la edad del biofilm (Fig. 5).³

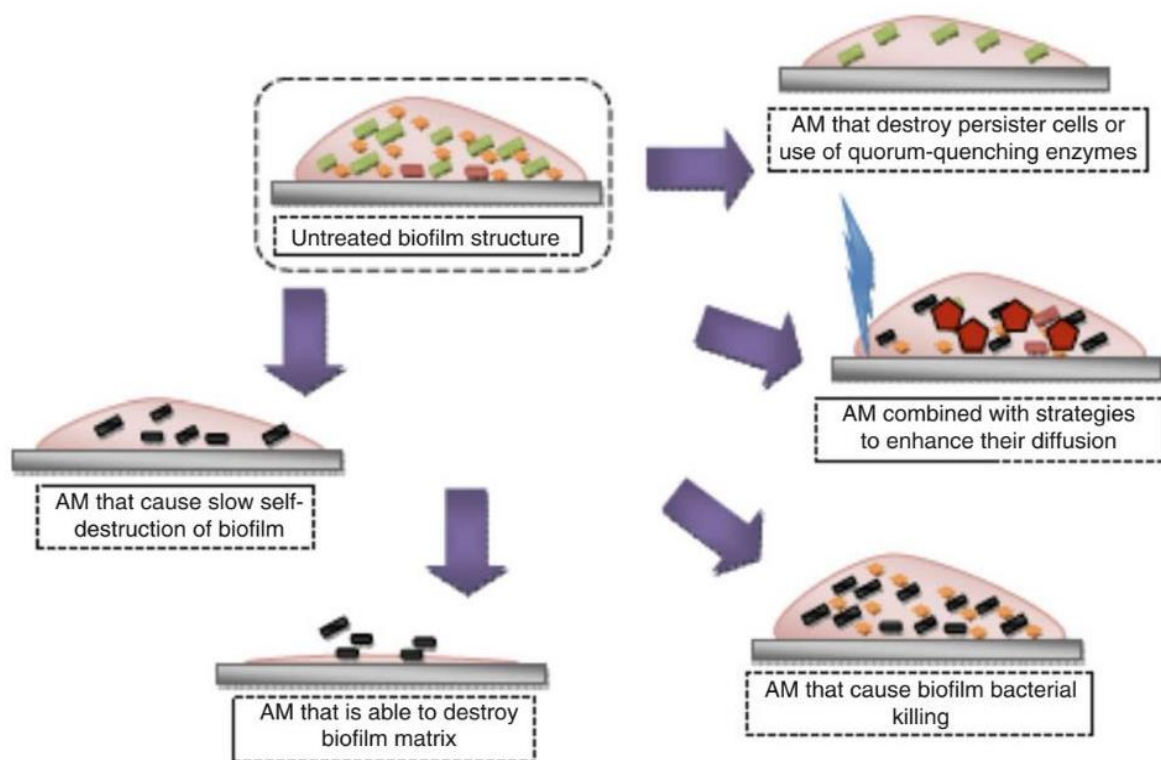


Fig.5. Tomada de Kishen A. Nanotechnology in endodontics. Schematic diagram showing different antibiofilm strategies. AM antimicrobial, pag103. 2015.

2. IRRIGACIÓN Y DESINFECCIÓN DEL SISTEMA DE CONDUCTOS

2.1. Características de un Irrigante ideal

Un Irrigante ideal debe desarrollar acción mecánica con los instrumentos endodóncicos en las paredes internas del conducto radicular; la acción de las sustancias químicas auxiliares, irrigación-aspiración que gracias a la energía cinética de la velocidad del flujo, la turbulencia creada y al reflujo de la corriente que arrastra fuera del conducto radicular los residuos y la disolución de tejidos orgánicos o necróticos, la eliminación o máxima reducción posible de microorganismos, lubricación, quelación de iones de calcio y la suspensión de los detritus originados de la instrumentación; estos irrigantes pueden ser empleados en forma de solución líquida de crema o de gel.³⁰

Una solución está formada por la adición de uno o más solutos al solvente. En una solución, el soluto es el disperso y el solvente, el dispersante.²²

Los objetivos básicos de la irrigación se basan en que haya un flujo del irrigante a toda la extensión del sistema de conductos radiculares, para entrar en estrecho contacto con microorganismos, escombros y restos de tejido.

Para esto el Irrigante proporcionara lubricación a los instrumentos, así como también se debe hacer el cambio frecuentemente de este con el fin de retener una alta concentración de sus componentes activos en los sitios de interés y compensar su rápido consumo.²²

La irrigación del sistema de conductos radiculares se describe como el “lavado por un chorro de fluido” por lo cual la irrigación intraconducto facilita la remoción de materiales del conducto y la introducción de productos

químicos para la actividad antimicrobiana, desmineralización, disolución de tejidos, blanqueamiento, desodorización y control de hemorragias.²⁷

La irrigación reduce la fricción entre el instrumento y la dentina, mejora la eficacia de corte de las limas y disuelve la materia orgánica e inorgánica. También enfría el diente y la lima; tiene un efecto de lavado y elimina los residuos sueltos y las bacterias del conducto. Por último, pero no menos importante, el riego actúa contra las biopelículas del conducto radicular.⁴

2.2. Requisitos de un Irrigante

2.2.1. Tensión superficial

En un líquido, las fuerzas de atracción entre las moléculas de la superficie son mayores que las del interior. Esto ocurre porque en el interior del líquido, las moléculas están rodeadas por otras y en la superficie hay una región de contacto con el medio exterior. La superficie de líquido se comporta como una película elástica que tiende a minimizar su área superficial. A esta película se le atribuyen las fuerzas de tensión superficial. La tensión superficial es una propiedad característica de cada líquido variando con la temperatura y con el tipo de superficie contactada.³⁰

Los sólidos ejercen fuerza de atracción sobre las moléculas de los líquidos. Cuando esta fuerza es mayor que la tensión superficial del líquido ocurre la mojadura o la humectación de los sólidos por el líquido lo que no ocurre cuando la fuerza de tracción es menor. Esta interacción también explica la capacidad que es el poder de un líquido se le ve en tubos capilares entre dos superficies cercanas entre sí. La capilaridad que es inversamente proporcional a la tensión superficial traduce el comportamiento de líquido en anfractuosidades, concavidades o ramificaciones comunes en la cavidad pulpar.³⁰

Cuanto menor sea la tensión superficial de una sustancia, mayor será su capacidad de humectación y penetración, aumentando la efectividad de la limpieza de las paredes del sistema de conductos radiculares.³⁰

2.2.2. Viscosidad

Es la resistencia al movimiento relativo de las moléculas de un fluido en escurrimiento (flujo), debido a las fuerzas de cohesión intermolecular. Cuando se intenta desplazar una capa de líquido sobre otra, es necesario vencer la fuerza de atracción entre las moléculas. Esta fuerza es dada por la expresión:

$$\Delta v$$

$$F = n \frac{\Delta v}{\Delta l} S$$

$$\Delta l$$

dónde $\Delta v / \Delta l$ es la relación entre las velocidades de las dos capas y la distancia entre ellas. S es el área de contacto entre las capas y n es la viscosidad. El inverso de esta propiedad se llama fluidez y cuánto mayor es la viscosidad más difícil es el escurrimiento.³⁰

El aumento de la viscosidad reduce la capacidad de penetración de la solución química en las afectuosidades y las concavidades del conducto radicular (Fig.6)³⁰



Fig.6. Tomada de Pereira Lopes H, Freitas Siqueira J Jr. Endodoncia: Biología y técnica. 4a ed. Elsevier Editora Ltda; 2015.

2.2.3. Actividad antimicrobiana

La infección del conducto radicular suele ser mixta, con predominio de bacterias anaerobias estrictas las cuales corresponden a más del 90% de las aisladas. Así en el tratamiento endodóncico la limpieza y la desinfección del sistema de conductos radiculares es importante siendo logradas por la acción mecánica de los instrumentos por la acción antimicrobiana de las soluciones químicas auxiliares de la instrumentación y por el flujo y reflujo de la solución irrigadora.³⁰

2.2.4. Actividad Quelante

Un quelante es una sustancia orgánica que remueven los iones de calcio de la dentina fijándolos químicamente. El mecanismo de la desmineralización de la dentina se produce por la quelación, definido como la incorporación de un ion metálico en una cadena cerrada heterocíclica, en la cual el metal es ligado por dos o mas iones, dentro del complejo molecular, llamado ligando. Algunos átomos ligandos suministran electrones al átomo metálico y, consecuentemente comparten pares de electrones con el ion metálico. La quelación corresponde a la acción de esas sustancias sobre los iones metálicos y el compuesto de esa adición se denomina quelación.³⁰

La actividad del quelante depende de su solubilidad y capacidad de disociación iónica, necesitado de agua para que pueda disociarse. Sabemos que, debido a la fuerte polarización existente en las moléculas del agua, estas actúan sobre la sustancia iónica promoviendo la remoción de sus iones. Así, podemos deducir que hay mayor eficiencia en los factores quelantes, cuando estos se presentan en la forma de solución acuosa, que cuando se presentan en la forma de cremas.³⁰

Durante la instrumentación de conductos radiculares estrechos, se recomienda el uso de quelantes para facilitar el trabajo de ampliación del conducto. El efecto descalcificante del agente quelante resulta en menor resistencia dentinaria a la acción de corte de los instrumentos endodóncicos durante la instrumentación de los conductos radiculares estrechos.³⁰

Según Walton y Rivera, los agentes quelantes no revelan resultados satisfactorios en cuanto a la acción de descalcificación, principalmente en conductos radiculares estrechos.³⁰

Después de la instrumentación de los conductos radiculares se recomienda el uso de quelantes para la remoción de *smear layer* presente en las paredes dentinarias del conducto.³⁰

2.2.5. Actividad lubricante

Las soluciones químicas empleadas en la preparación químico-mecánica de los conductos radiculares a través de su poder de humectación conservan las paredes dentinarias hidratadas y actúa también como lubricantes reduciendo la fuerza de fricción y formando una película que disminuye el contacto físico entre las superficies del instrumento y de la dentina. En consecuencia, disminuyen el desgaste y preservan la capacidad de corte de los instrumentos durante la preparación de los conductos radiculares. En conductos estrechos favorecen el paso de los instrumentos para alcanzar la longitud de trabajo.³⁰

2.2.6. Suspensión de los Detritus

Los detritus pueden quedarse acumulados y obstruir el conducto, favoreciendo desvíos y perforaciones radiculares o, en virtud de la acción

de émbolo de los instrumentos, pueden ser forzados a espaciarse hacia los tejidos perirradiculares, donde actuarían como agentes irritantes.³⁰

Antes de que la sustancia alcance una viscosidad crítica, debemos renovarla por medio de la irrigación-aspiración, lo que favorece la remoción de los detritus mantenidos en suspensión en el interior del conducto radicular.³⁰

Esta renovación debe realizarse no sólo a cada cambio de instrumento, sino después de un pequeño número de movimientos (10 a 5) realizados durante la preparación del sistema de conductos radiculares. En los conductos estrechos, principalmente, es un grave error realizar la renovación de la solución química auxiliar solamente después del instrumento ganar libertad en su interior.³⁰

Según Campos después de la instrumentación de los conductos radiculares el volumen medio para maxilar superior era de 10.3 mm y para la mandíbula de 11.1 mm. Ciertas sustancias como el hipoclorito de sodio son inactivadas al entrar en contacto con la materia para que su acción solvente y antimicrobiana sea efectivo para que su acción solvente y antimicrobiana sea efectivo es necesario renovar siempre la solución que entra en contacto con las paredes del conducto³⁰

2.3. Soluciones irrigantes

La irrigación del sistema de conductos radiculares puede verse como el flujo a microescala de un líquido dentro de un dominio de forma irregular de dimensiones muy pequeñas.²²

Todas las sustancias desinfectantes presentan toxicidad para las células vivas no presentan selectividad para microorganismos la postura adoptada por diversos profesionales en no emplear sustancias químicas activas durante la preparación del conducto radicular puede a largo plazo ser responsable del fracaso del tratamiento endodóntico.³⁰

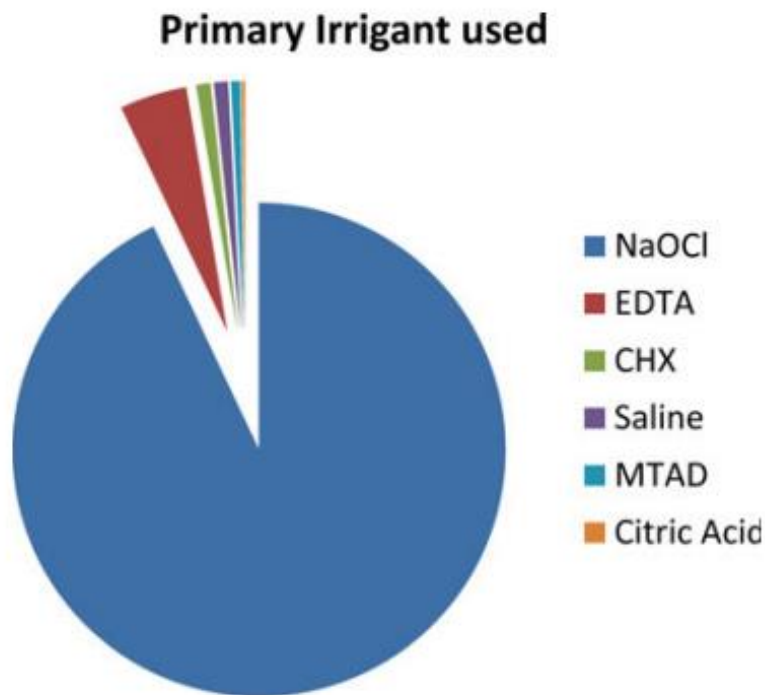


Fig.7.Tomada de Basrani B. Endodontic Irrigation Pag. 101. Percentage of responders who utilize each irrigant as their primary disinfectant agent, 2016.

2.3.1. Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es la solución más comúnmente utilizada en la irrigación endodóntica debido a su acción antimicrobiana y su capacidad de disolver los tejidos (Fig.7).¹³

El hipoclorito de sodio se obtiene por procesos electrolíticos que originan la llamada industria electroquímica del cloro. El hipoclorito de sodio fue

utilizado para la limpieza de heridas en 1915 por Dakin siendo propuestos empleo en endodoncia por Coolidge en 1919.³⁰

La electrolisis de una solución de cloruro de sodio, dependiendo de las condiciones, podrá proporcionar: hidróxido de sodio, cloro, hipoclorito de sodio y ácido clorhídrico.³⁰

El valor de un hipoclorito o cloroforo es en función del contenido de cloro que liberan. Este cloro liberado se denomina cloro activo. El contenido de cloro activo se determina mediante el método de titulometría yodométrica. Indudablemente para el hipoclorito de sodio, el análisis más importante es la determinación cuantitativa de los contenidos de cloro activo y de hipoclorito. Es evidente que el contenido de cloro activo está en función del contenido de hipoclorito, pues este es quien dará origen al primero.³⁰

Walker, en 1936, propuso la utilización de la soda clorada en la irrigación de conductos radiculares. Su utilización en la preparación químico-mecánica de los conductos radiculares se ha definido gracias a Grossman. El hipoclorito de sodio solamente existe en solución acuosa. Sus soluciones pueden presentar dos tipos de alcalinidad, caustica y por carbonato. La alcalinidad caustica representa la concentración de hidróxido de sodio y la alcalinidad por carbonato, la concentración del carbonato de sodio presentes en las soluciones cloradas.³⁰

El hipoclorito de sodio tiene una tensión superficial relativamente baja. Han propuesto agregar un surfactante al hipoclorito de sodio, con el fin de disminuir su tensión superficial y disminuir su capacidad de penetrar el conducto principal, los conductos laterales y los túbulos dentinarios y predentina.¹⁰

El hipoclorito de sodio es un compuesto inestable por ser oxidante, siendo estabilizado en función de la alcalinidad caustica, por dos vías:

Directa: el hipoclorito de sodio en exceso neutraliza los ácidos, en especial el ácido carbónico, presente casi siempre en forma de CO₂, transformándolo en carbonato de sodio, la presencia del carbonato de sodio dará lugar a un segundo tipo de alcalinidad, la alcalinidad por carbonato. El CO₂ tiene su fuente principal, la atmosfera, que va a saturar el agua usada para la obtención del producto final.³⁰

Indirecta: la alcalinidad caustica, que eleva el valor del pH cerca de 13.5 va a retardar la reacción de auto oxidorreducción del hipoclorito, la formación de clorato. La velocidad de esta reacción es mínima en valores alcalinos, pH mayor a 12, y este valor es mantenido solamente por la alcalinidad caustica. La velocidad es mínima, pero no se anula. Así la solución de hipoclorito contendrá siempre pequeñas concentraciones de clorato.³⁰

Por lo tanto, la alcalinidad caustica es un protector de la estabilidad de solución de hipoclorito. La alcalinidad por carbonato, que es una impureza siempre presente en los hidróxidos, indica lo contrario, es decir, la desestabilización, pues el ácido carbónico tiene condiciones de liberar cloro. La toxicidad del cloro comercial de uso doméstico varía en función de la cantidad de NaOH presente en la solución.³⁰

La solución Irrigante debe fluir suavemente bajo una ligera presión de la presión debe permitir un flujo de aproximadamente presión debe permitir un flujo de aproximadamente 4 a 5 ML de líquido por minuto.³⁰

Lo más importante en la irrigación aspiración es la relación existente entre el diámetro de la instrumentación apical y el diámetro de la aguja irrigadora. Su eficacia depende de su concentración, volumen y tiempo de contacto, pero también de la superficie del tejido expuesto. El NaOCl a mayor concentración tiene un efecto más fuerte, pero también es potencialmente más tóxico para el tejido periapical en caso de extrusión. También se han

notificado cambios en las propiedades mecánicas de la dentina, como la micro dureza y la rugosidad después de una exposición prolongada al hipoclorito de sodio solo en concentraciones de 2,5 y 5,25%.²⁴

2.3.1.1. Actividad Solvente

La actividad solvente de tejido de las soluciones cloradas ha sido estudiada por diversos autores, que verifican los factores que influyen la capacidad de esa solución en disolver tejido orgánico, como: relación entre el volumen de la solución y la masa de tejido orgánico; superficie de contacto entre tejido y la solución de hipoclorito. Tiempo de acción; temperatura de la solución; agitación mecánica; concentración de la solución y frecuencia de la renovación de la solución en el interior del conducto radicular.³⁰

La capacidad de disolución tisular promovida por el hipoclorito de sodio hace que fragmentos de tejido pulpar sean licuados facilitando así su remoción del interior del sistema de conductos radiculares.³⁰

La disolución del tejido pulpar se verifica por el efecto combinado entre dióxido de sodio y el ácido hipocloroso cada uno reaccionando con determinados componentes de la pulpa dental. El hidróxido de sodio reacciona con ácidos grasos (aceites y grasas) presentes en la materia orgánica formando sales de ácidos grasos (jabón) y glicerol (alcohol). (Ecuación I, Fig.8) Reacciona también con aminoácidos de las proteínas, formando sal y agua (reacción de neutralización). (Ecuación II, Fig.8)³⁰

El ácido hipocloroso reacciona con la agrupación amina de los aminoácidos de las proteínas formando cloraminas y agua. (Ecuación III, Fig.8)³⁰

Para Spanó, en las soluciones de hipoclorito de sodio menos concentradas, hubo mayor interacción del ácido hipocloroso con la materia orgánica

(Ecuación III, Fig.8) y que, en las soluciones más concentradas, hubo mayor interacción del hidróxido de sodio con la materia orgánica (Ecuación I, Fig.8).³⁰

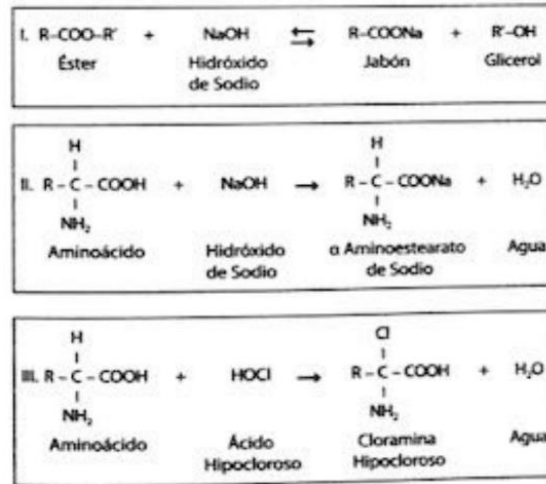


Fig.8. Tomada de Pereira Lopes H, Freitas Siqueira J Jr. Endodoncia: Biología y técnica. 4a ed. Elsevier Editora Ltda; 2015.

Hay varias formas de mejorar la eficacia del hipoclorito en la disolución de tejidos; dentro de estos se puede aumentar el pH y la temperatura de las soluciones, activación ultrasónica y tiempo de trabajo prolongado; el aumento de temperatura mejora la eficacia de las soluciones de hipoclorito.³⁰

2.3.1.2. Actividad Antimicrobiana

La acción desinfectante del hipoclorito de sodio es inversamente proporcional al pH de la solución. Algunos factores pueden interferir en la actividad antimicrobiana y solvente de tejido y del hipoclorito de sodio tales como:

2.3.1.2.1. pH de la solución

Las soluciones cloradas tendrán acción antimicrobiana en este medio ácido cuando entonces liberan ácido hipocloroso. Este ácido hipocloroso

solamente actúa en la forma no disociada y la acidez impide la ionización del ácido hipocloroso favoreciendo así su acentuada acción microbicida.³⁰ El pH alcalino mantiene la estabilidad de las soluciones de NaOCl. Por lo tanto, el pH de las soluciones cloradas debe llegar a las condiciones de acidez únicamente en el momento del uso con liberación de cloro naciente en medio ácido.³⁰

El hipoclorito de sodio tiene un pH de 11, este reacciona como disolvente orgánico y graso que degrada los ácidos grasos y los transforma en grasas, sales ácidas y glicerol, reduciendo la tensión superficial restante. Neutraliza los aminoácidos formando agua y sal. Con la salida de iones hidroxilo el pH se reduce. Cuando el cloro se disuelve en agua y entra en contacto con materia orgánica forma ácido hipocloroso que actúa como antioxidante.³⁰

2.3.1.2.2. Temperatura

La temperatura de la solución de hipoclorito de sodio ejerce una influencia significativa en sus propiedades, factores como un aumento de temperatura, aumento de concentración y largo tiempo de reacción química proporcionan una eficacia mayor de la solución de hipoclorito de sodio en relación a su acción solvente y antimicrobiana.³⁰

La elevación de la temperatura aumenta la frecuencia de los choques moleculares, que contribuyen para el aumento de la velocidad de una reacción. Lo más importante es que una elevación de la temperatura aumenta la proporción de moléculas que tendrán energía suficiente para reaccionar.³⁰

2.3.1.3. Materia Orgánica

Durante el tratamiento endodóncico, un pequeño volumen de solución de hipoclorito de sodio entra en contacto con una gran cantidad de materia

orgánica, representada principalmente por tejido pulpar, fluidos tisulares y microorganismos que componen la infección endodóncica, para compensar esta relación desproporcional, la solución de hipoclorito de sodio debe ser constantemente renovada.³⁰

2.3.1.4. Concentración

La concentración de una solución es la relación de cantidad entre soluto, solvente y solución. La actividad antimicrobiana y solvente del hipoclorito de sodio depende de la concentración de la solución química, actividad que disminuye a medida que la solución se diluye, siendo la capacidad solvente más afectada, que la antimicrobiana.³⁰

Siqueira y cols. demostraron que la solución de hipoclorito de sodio al 5.25% fue más eficaz que la solución al 1% para inhibir el crecimiento de bacilos productores de pigmentos negros.³⁰

Se ha observado muerte bacteriana en 30 minutos cuando se utiliza NaOCl al 0.5% mientras que las concentraciones más altas necesitan sólo 30 segundos para hacer el mismo trabajo. El ion cloro responsable de la disolución y capacidad antibacteriana de NaOCl, es inestable y consumido rápidamente durante la primera fase de disolución. Aunque el hipoclorito de sodio tiene muchas propiedades ideales, también tiene limitaciones como la toxicidad y la corrosión.¹¹

2.3.2. Gluconato de clorhexidina

Es un agente antimicrobiano de amplio espectro, actúa activamente contra bacterias gramnegativas, grampositivas y levaduras. La clorhexidina, debido a sus cargas catiónicas es capaz de unirse electrostáticamente a la superficie de las bacterias cargadas negativamente, dañando las capas externas de la pared celular haciéndola más permeable.¹³

Dependiendo de la concentración en la que se encuentre el gluconato de clorhexidina puede tener tanto efectos bacteriostáticos y bactericidas (Fig.9).

En altas concentraciones actúa como detergente y ejerce su efecto bactericida al dañar la membrana celular y provocar la precipitación del citoplasma. A bajas concentraciones es bacteriostático, causando bajo peso molecular de las sustancias que se filtran de la membrana celular sin que la célula sea permanentemente dañada.¹³

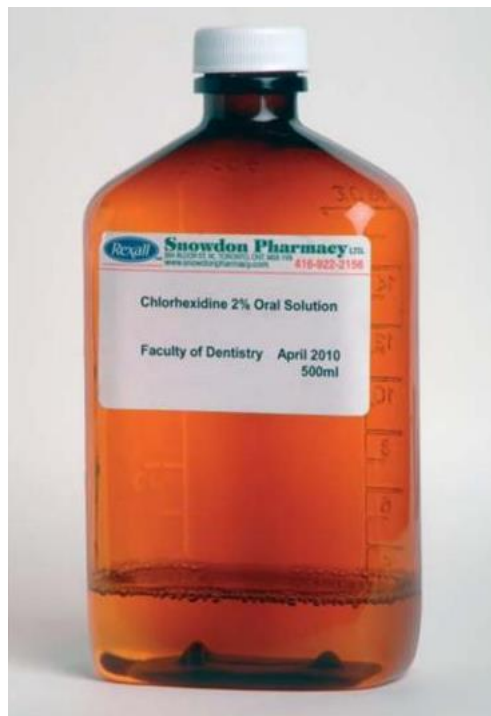


Fig.9. Tomada de Nestor C. Disinfection of root canal systems: The treatment of Apical Periodontitis. 1ª ed. 2014.

El 4% de gluconato de clorhexidina tiene una mayor sustentividad antibacteriana que el 0,2% después de la quinta aplicación, aunque este debe dejarse durante más de una hora en el conducto para ser absorbido por la dentina.¹⁴

Komorowski y cols. sugirió que una aplicación de 5 min de gluconato de clorhexidina no indujo la sustentividad.¹⁴

Mas tarde Malkhassian y cols. en sus estudios *in vivo* medicaron los conductos con formas liquidas o en gel de gluconato de clorhexidina durante una semana, ninguno de ellos pudo lograr la desinfección total. Por lo que se puede decir que la eficacia antimicrobiana residual del gluconato de clorhexidina aún tiene mucho que demostrar.¹⁴

El gluconato de clorhexidina ha sido estudiada en endodoncia para medicación e irrigación intraconducto *in vivo e in vitro*. Su eficacia como Irrigante depende de la concentración en la cual se ha demostrado que la concentración al 2% tiene mejor eficacia antibacteriana que al 0,12%.¹⁵

Al comparar la eficacia con NaOCl se encontraron varios resultados en los cuales el hipoclorito de sodio tiene una gran ventaja sobre la capacidad de disolución de materia orgánica la cual carece el gluconato de clorhexidina; por lo cual, aunque los estudios sugieran algunas ventajas con el uso de gluconato de clorhexidina, tan pronto como se agrega tejido orgánico y dentinario al NaOCl es claramente preferible.¹⁵

Se ha probado la eficacia antibacteriana del gluconato de clorhexidina al 2% en gel contra el hipoclorito de sodio al 2.5% en dientes con periodontitis apical, la carga bacteriana fue evaluada utilizando la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa en tiempo real y unidades formadoras de colonias bacterianas. La reducción en el grupo de NaOCl fue significativamente mayor que el grupo del gluconato de clorhexidina cuando se mide por RTQPCR; en la técnica de cultivo se detectó crecimiento bacteriano del 50% del grupo CHX en comparación al 25% del grupo NaOCl.¹⁵ Sus limitaciones son pocas, aunque existen, como la incapacidad de disolverse en materia orgánica, sin acción sobre el barrillo dentinario y efecto menor en la interrupción de la biopelícula.¹⁶

Las recomendaciones para su uso son en dientes con ápices abiertos o perforación en el cual se encuentra un riesgo de extruir NaOCl, cuando el efecto antimicrobiano que se busca es el máximo y como enjuague

después del EDTA para facilitar aún más la desinfección y para mejorar la unión de la dentina.¹⁶

El hipoclorito de sodio presenta además de la excelente actividad antimicrobiana otras propiedades como solvente de materia orgánica y blanqueador que la clorhexidina no tiene.³⁰

Kuruvilla y Kamash evaluaron en vivo la actividad antimicrobiana de las soluciones de hipoclorito de sodio al 2.5% clorhexidina al 0.2% y la asociación de ambas. Se realizaron colectas anti microbiológicas antes y después de la preparación este estudio mostró en una menor cantidad de cultivos positivos después de la preparación químico mecánica del conducto radicular. Sin embargo, la parte pigmentación parduzco impregnación de la dentina, oriunda de la combinación de las dos sustancias generando el compuesto paracloroanilina descarta su uso asociado en la irrigación de los conductos radiculares.³⁰

2.3.3. Ácido Etilendiaminotetracético (EDTA)

En 1957 Ostby indico la solución salina de etilendiaminotetracético disódico (EDTA) para la instrumentación de conductos radiculares estrechos. El EDTA en su forma de ácido presenta un pequeño poder de descalcificación porque su solubilidad en agua es pequeña (Fig.10).³⁰

En conjunto con EDTA y NaOCl se ha demostrado que el EDTA retuvo su capacidad de complejo de calcio cuando se mezcló con NaOCl, pero el EDTA hizo que el NaOCl perdiera su capacidad de disolver tejidos, y prácticamente no se detectó hipoclorito libre en las combinaciones. Clínicamente esto nos sugiere que el EDTA y el NaOCl deben usarse por separado.³⁰

Debe tenerse en cuenta que no es deseable un aumento de la temperatura del EDTA ya que los quelantes tienen un rango de temperatura en el que pueden funcionar al máximo. Cuando el EDTA se calienta de 20 a 90°; la capacidad de fijación de calcio disminuye.¹⁷



Fig.10 Tomada de Nestor C. Disinfection of root canal systems: The treatment of Apical Periodontitis. 1ª ed. 2014.

2.3.4. Ácido etidróico

El ácido etidróico, una sustancia que previene la resorción ósea, se ha utilizado como medicamento para pacientes que padecen osteoporosis o enfermedad de Paget y se sugirió como sustituto de los quelantes tradicionales debido a los menores efectos observados en la estructura de la dentina. Se considera el quelante que se puede mezclar con NaOCl sin interferir con su propiedad antimicrobiana.¹⁸

Después de que se usó NaOCl durante todo el procedimiento de conformación y limpieza, se debe usar irrigación con EDTA durante un minuto para eliminar la capa de barrillo dentinario. El EDTA se puede activar con ultrasonido durante un par de segundos para mejorar la penetración.²³

El EDTA disminuye la micro dureza de la dentina y el pH y que el tiempo de acción de la solución influye en la acción desmineralizadora. Siquiera y

cols. confirmaron que el EDTA pose actividad antibacteriana contra bacilos anaerobios.³⁰

2.3.5. Ácido Cítrico

Es un ácido orgánico sólido y cristalino que actúa sobre los tejidos mineralizados del diente promoviendo la desmineralización.

Cuando se encuentran a temperatura ambiente es muy soluble en agua. Actúa sobre los tejidos mineralizados del diente, promoviendo su desmineralización.³⁰

Puede ser empleado en la remoción del *smear layer* después de la preparación químico-mecánica del conducto radicular.

La concentración del ácido cítrico utilizado en endodoncia. Silveira, trabajando con ácido cítrico al 10% como solución química en la instrumentación de dientes de perros observó que, 24 horas después del tratamiento, en la mayoría de los casos los cotos pulpaes (tejido presente en el conducto cementario apical) exhibían de moderado a intenso infiltrado neutrofílico, que se extendía al ligamento periodontal.³⁰

El ácido cítrico al 50% tiene actividad antibacteriana contra el E Faecalis. El efecto antibacteriano del ácido cítrico está relacionado con su bajo pH que promueve la desnaturalización de proteínas.³⁰

Las soluciones de ácido cítrico pueden ser empleadas en la remoción del componente mineralizado del *smear layer*.

Cuando se le utilice, debemos dar preferencia a las soluciones de menores concentraciones.³⁰

3. NANOPARTÍCULAS EN ENDODONCIA

Son partículas microscópicas con una o más dimensiones en el rango de 1 a 100 nm. Cuentan con un amplio espectro de actividad antimicrobiana y una menor propensión a inducir resistencia microbiana en comparación con los antibióticos.¹³

Las nanopartículas han tenido una larga historia relacionada con la ciencia moderna. El concepto de nanotecnología fue explicado por primera vez por el Dr. Richard Feynman en 1959. En 1991, el Dr. Sumio Iijima introdujo el concepto de nanotubos (Fig.11).²⁷

El término nano-odontología fue acuñado por el Dr. Freitas Jr. en el año 2000. Desarrolló nanomateriales y nano robots, ayudó a la regeneración de la dentina y desarrollo de dentifrobots - robots en dentífricos. Todas estas ideas se considerarán inicialmente imposibles.²⁷

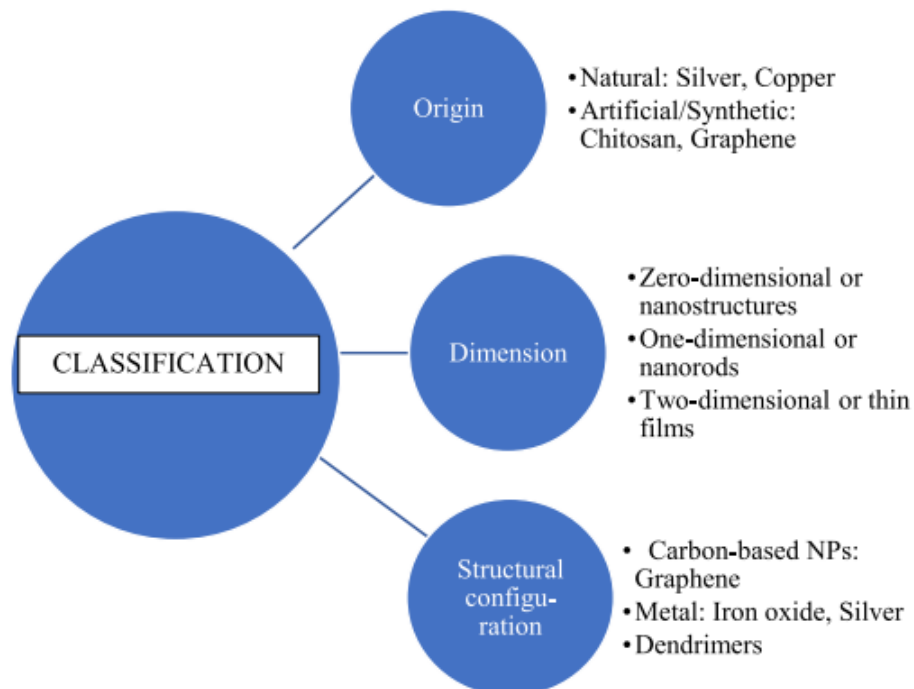


Fig.11. Tomada de Raura y cols. Biomaterials Research. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review. Classification of Nanoparticles. (2020) 24:21-

Las nanopartículas acceden a la membrana celular del microorganismo y provocan la liberación de ROS (especies reactivas del oxígeno), se produce un estrés oxidativo en la célula que inicia un ataque al microorganismo. Debido a este ataque, disminuye la respiración y la producción de ATP, lo que provoca la ruptura de la membrana celular. La formación de ROS por un óxido metálico se produce por el ciclo redox activo y por el grupo funcional prooxidante en la interfaz óxido metálico-NP.²⁷

Las nanopartículas en endodoncia han mostrado resultados prometedores. Se han discutido las diversas nanopartículas como grafeno, nanopartículas de plata, quitosano, nanopartículas de hidroxiapatita, compuesto de hierro, zirconio, ácido polico-glicólico, vidrio bioactivo, silicato de calcio mesoporoso, nanopartículas de dióxido de titanio, magnesio, óxido de calcio y óxido de cobre (Fig.14). Estas nanopartículas han obtenido y mostrado excelentes resultados en diversas aplicaciones en endodoncia, como la incorporación de nanopartículas en selladores, materiales de obturación, irrigación y medicamentos intraconducto (Fig.12).²⁶

La enfermedad pulpar es una infección facilitada por biofilm y el objetivo fundamental en su tratamiento es la remoción de este Biofilm de los conductos radiculares.²⁷

Nanomaterial se define como un material natural, incidental o manufacturado que contiene partículas en un estado no unido o como un agregado o como un aglomerado y donde, para el 50% o más de las partículas en la distribución del tamaño del número, una o más dimensiones externas están en el rango 1 - 100nm.²⁷

La aplicación de nanopartículas en forma de soluciones para irrigación, medicación y como selladores, materiales restauradores entre otros, se han evaluado para mejorar principalmente la eficacia del antibiótico en tratamientos de conductos y restauradores.²⁷

El termino Nano en odontología implica la aplicación de nano materiales y nano robots para el diagnóstico y tratamiento, con el objetivo de mejorar la salud bucal integral.²⁴

Las nanopartículas se clasifican generalmente como naturales o sintéticas, se clasifican como de naturaleza orgánica o inorgánica según la forma, en partículas, esferas, tubos, varillas, placas. Las nanopartículas se pueden fusionar con péptidos, fármacos, fotosensibilizadores, etc.

Las nanopartículas del núcleo se pueden usar como una superficie conveniente para el ensamblaje molecular y pueden estar compuestas de materiales orgánicos o inorgánicos.²⁴

El nivel actual de evidencia mostro que, a pesar de los avances de las estrategias del tratamiento, la tasa de fracaso del tratamiento no ha disminuido por debajo del 18% al 26% durante las últimas 4 a 5 décadas. Esto podría atribuirse principalmente a la incapacidad o a las limitaciones de las tecnologías actuales para abordar el proceso de la enfermedad en su conjunto.²⁴

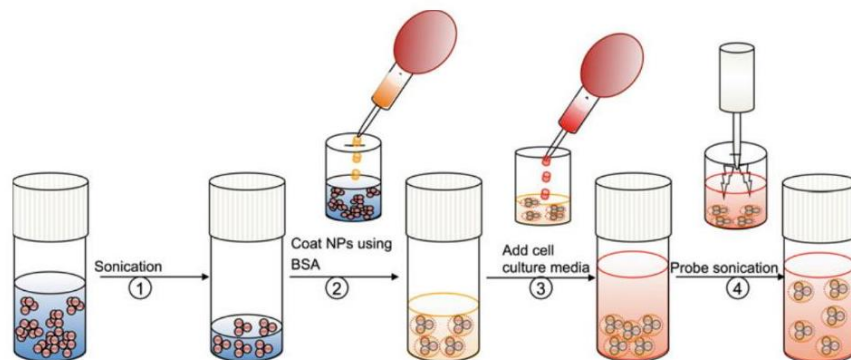


Fig.12. Tomada de Kishen A. Nanotechnology in endodontics. Preparation of nanoparticle dispersión for cytotoxicity studies, 2015.

Revisaremos las nanopartículas antibacterianas más nuevas que se han introducido a nivel de laboratorio con un potencial significativo para eliminar las biopelículas endodónticas.²⁸

Kishen y cols. Examinaron la eficacia de varias nanopartículas catiónicas para mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares. La dentina tratada con nanopartículas dio como resultado una adherencia significativamente reducida de *Enterococcus Faecalis* (Fig.13).²⁸

El mecanismo antimicrobiano de nanopartículas cargadas positivamente por acción mediada por contacto.

La biopelícula intacta en la superficie del tejido duro de la cavidad oral contiene numerosas bacterias de diversas especies y sus exopolisacáridos. Los catiónicos, cuando se complementan con un tratamiento local, son atraídos hacia la pared celular bacteriana cargada negativamente por interacciones electrostáticas.²⁸

Formación de especies reactivas de oxígeno con el consiguiente daño a la membrana. Esto provoca un aumento de la permeabilidad de la pared celular y la entrada de NP. Una vez dentro de la célula, las NP provocan la liberación de componentes citoplasmáticos, lo que da como resultado la lisis celular bacteriana.²⁸

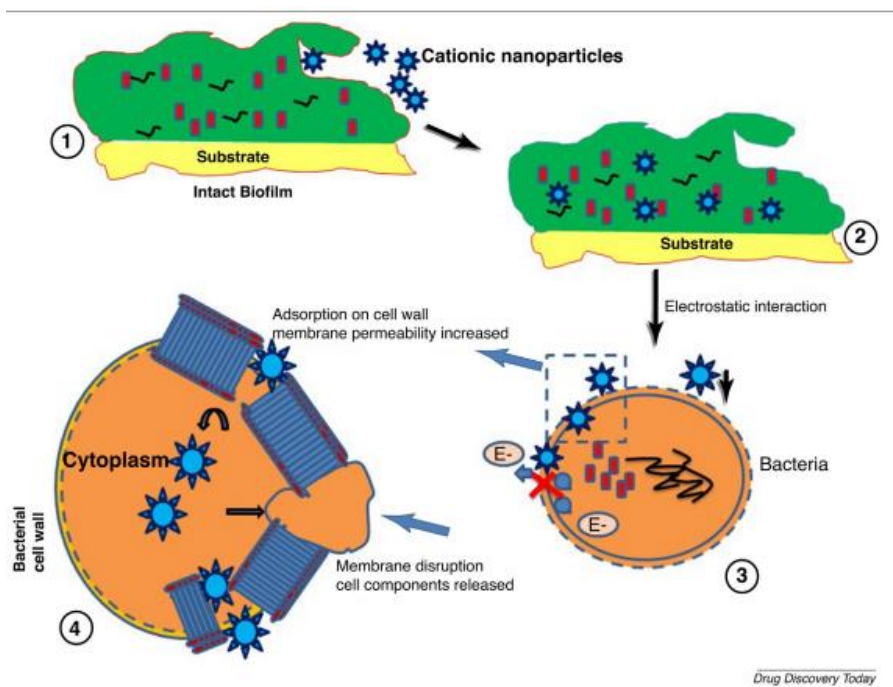


Fig.13 Tomada de Raura y cols. *Biomaterials Research. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review.* (2020) 24:21

| Resumen de | las propiedades de las | nanopartículas de uso | común en endodoncia. | |
|----------------------------|---|--|--|---|
| Nombre de la nanopartícula | Propiedad mecánica de nanopartículas | Propiedad física | Propiedad química | Propiedad biológica |
| Grafeno | <ol style="list-style-type: none"> 1.muy estable. 2.transparente. 3.material flexible. 4.mayor ductilidad y maleabilidad. | <ol style="list-style-type: none"> 1.La gran superficie se debe a su peculiar estructura. 2.Excelente propiedades electrónicas en forma de panal. 3.Excelentes propiedades ópticas. | <ol style="list-style-type: none"> 1.Presencia de una estructura 2D compuesta por láminas de carbono gruesas individuales. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Buen antimicrobiano, propiedades especialmente contra S. mutans. 2. Propiedades de disolución de tejidos. 3. Nivel de toxicidad bajo. |
| Carbón nanotubos | <ol style="list-style-type: none"> 1.Mayor resistencia a la tracción, ya que tienen una disposición hexagonal. 2.La maleabilidad es comparable a la del caucho. 3.Alta ductilidad (8-12%). 4.Resistencia mecánica superior. | <ol style="list-style-type: none"> 1.Gran superficie. 2.Extremadamente ligero. 3.Muy estable al calor. 4.Baja densidad. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Buena eficiencia de conducción. 2. Enlace superior entre estos átomos, lo que hace que estas nanopartículas sean bastante estables. 3. Los átomos de carbono están estructurados en forma de anillos hexagonales. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mejores propiedades antimicrobianas. 2. Capacidad para penetrar en la membrana de la célula bacteriana. 3. Índice inflamatorio y reacciones fibróticas bajo condiciones extremas. 4. Potencialmente tóxico. |
| Plata | <ol style="list-style-type: none"> 1.Buenos conductores de electricidad. 2. Posee buena maleabilidad y ductilidad. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Debido a su pequeño tamaño y alta superficie confiere excelentes propiedades ópticas y térmicas. | <ol style="list-style-type: none"> 1.Agente químico antibacteriano. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Eficaz agente antimicrobiano especialmente contra E. Faecalis. 2. Mayor permeabilidad en la membrana celular bacteriana. 3. Altamente biocompatible. 4. Bajos niveles de toxicidad. |
| Quitosano | <ol style="list-style-type: none"> 1. Inactivo e insoluble en agua, disolventes alcalinos y orgánicos. 2. pH más de 6 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Soluble en varios otros medios. 2. Muy viscoso, con propiedad de polielectrolito. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Es una poliamina lineal. 2. La presencia de hidroxilo altamente reactivo y los grupos amino dan como resultado la quelación de varios iones de metales de transición. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Excelentes propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales. 2. Causa interrupciones de la membrana celular bacteriana debido a su interacción electrostática. |

Fig. 14 Ranjeet A. Bapat. The use of nanoparticles as biomaterials in dentistry. The antimicrobial mechanism of positively charged nanoparticles (NPs) by contact-mediated action. Volume 24, Number 1, January 2019.

3.1. Nanopartículas de quitosano

Es un derivado del desacetilado de la quitina, es el segundo biopolímero natural más abundante. Se sintetiza en diversas formas, según la aplicación final o las características físicas requeridas en las nanopartículas, tiene

excelentes propiedades antibacterianas, antivirales y antifúngicas, su susceptibilidad se da más por las bacterias gram positivas.²⁴

Es versátil en diversas formas como polvo (micro y nanopartículas), cápsulas, películas, andamios e hidrogeles. Tiene una estructura similar a la matriz extracelular.²⁴

Una nanopartícula ideal debe ser no tóxica, biodegradable y bioinerte en diferentes tejidos. Por ello, muchos grupos de investigación se han centrado en las nanopartículas orgánicas, como el quitosano, para evitar los efectos adversos de las nanopartículas metálicas.²⁸

Este polímero hidrófilo con una gran cantidad de grupos hidroxilo y amino libres puede someterse a numerosas modificaciones químicas e injertos, lo que da como resultado una funcionalización, el quitosano tiene excelentes propiedades antibacterianas, antivirales y antifúngicas.²⁵

Las nanopartículas de quitosano eliminan las biopelículas de una manera dependiente a la concentración y al tiempo, de igual manera retienen sus propiedades antibacterianas después del envejecimiento durante 90 días. Las nanopartículas de quitosano se pueden administrar dentro de las complejidades anatómicas y los túbulos dentinarios de un conducto radicular infectado para mejorar la desinfección del conducto radicular.²⁰

El mecanismo de acción que se propone para este es la apoptosis mediada por contacto que va a implicar la atracción electrostática de quitosano cargado positivamente con membranas celulares bacterianas cargadas negativamente (Fig.15).²⁴

La agregación de CS-NP proporciona una reducción significativamente mayor de unidades formadoras de colonias en placas de agar, así como membranas de colágeno infectadas.²⁴

Los estudios iniciales destacaron que los CS-NP catiónicos tienen un potencial significativo para lograr una mejor desinfección del sistema de conductos radiculares. Sin embargo, el tiempo de tratamiento requerido para lograr una eliminación bacteriana efectiva y el efecto de los inhibidores de tejidos se presentaron como importantes contratiempos para los CS-NP. Esto garantizó métodos para superar estas deficiencias en la investigación futura hacia la investigación de CS-NP.²⁴

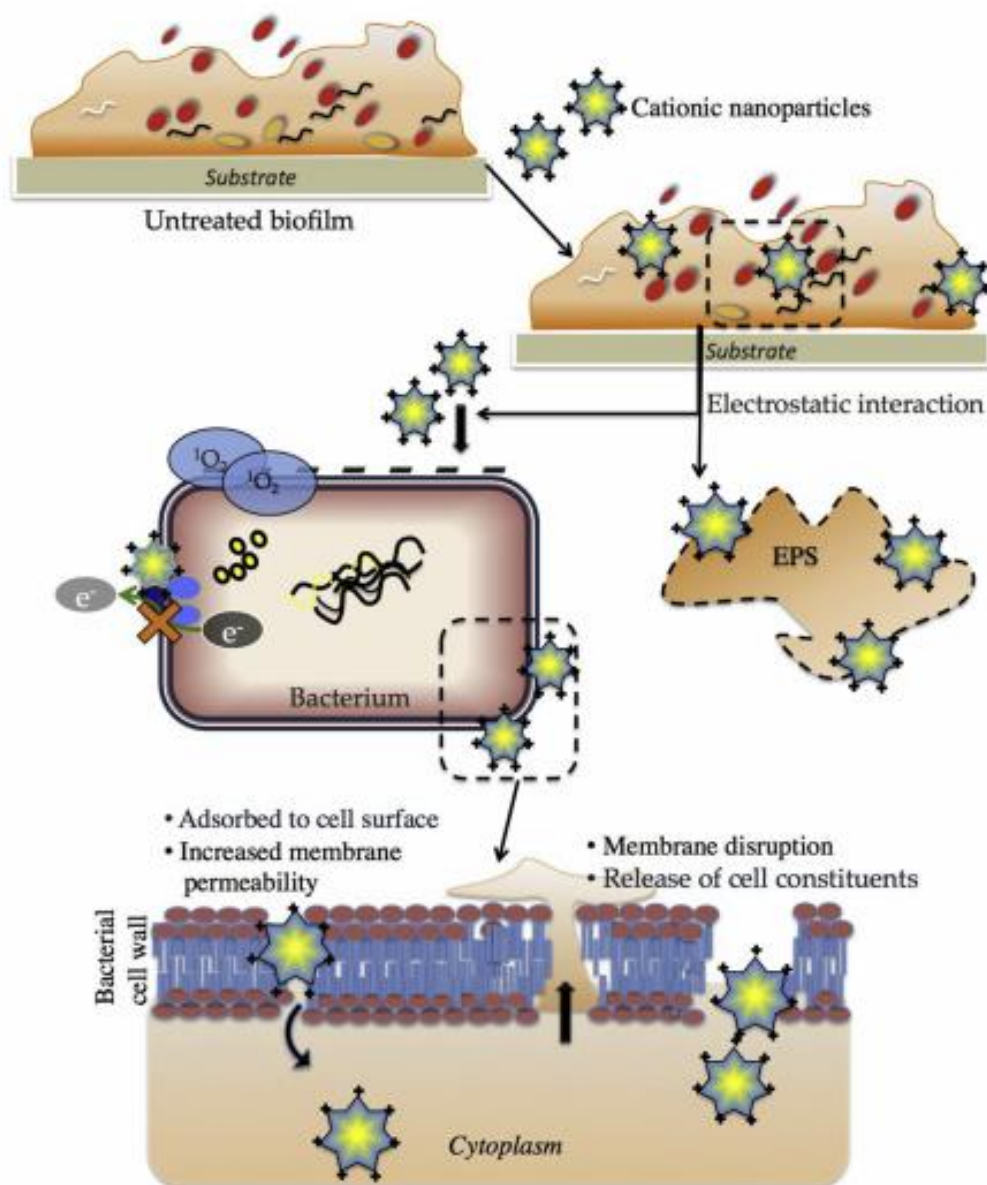


Fig.15. Tomada de Kishen A. Nanotechnology in endodontics. Diagrama esquemático que muestra el mecanismo antibacteriano de nanopartículas con carga positiva. 2015.

Las nanopartículas de quitosano han demostrado una mayor eficacia antibiofilm y tienen el potencial de desactivar las endotoxinas bacterianas. Estas nanopartículas provocan una mayor degradación bacteriana demostrada por una liberación organizada de especies de oxígeno. Se sugiere su uso como enjuague final en la irrigación de los conductos radiculares ya que no son tóxicos para las células eucariotas.²⁷

Chronopoulou y cols. Demostraron que las nanopartículas de quitosano atrapaban eficientemente la clorhexidina a pH neutro y se observó un perfil de liberación sostenida durante al menos 48h. Hubo una mejor liberación de fármaco y citocompatibilidad debido a la funcionalización con el derivado peptidomimético glutatión.²⁸

3.2 Nanopartículas de plata

Sustituto del hipoclorito de sodio en la irrigación intraconducto para el tratamiento de endodoncia.

Su interacción con los grupos sulfhidrilo de proteínas y ADN hacen de este material que dentro de sus propiedades sea antibacteriano, esto se debe a que desestabilizan la membrana bacteriana y aumentan la permeabilidad, lo que conduce a la fuga de componentes celulares.²⁴

Se sabe que la plata produce un efecto antibacteriano al actuar sobre múltiples objetivos a partir de la interacción con los grupos sulfhidrilo de las proteínas y el ADN, altera el enlace de hidrogeno y la cadena respiratoria, desenrolla el ADN e interfiere con la síntesis y división celular de la pared celular.²⁴

Las nanopartículas de plata se utilizan como una solución de irrigación y material de obturación en tratamientos de conductos radiculares, no se ha informado de toxicidad sistémica de las nanopartículas de plata ingeridas.²⁶

Contienen de 20 a 15.000 átomos de plata y sus diámetros suelen ser inferiores a 100 nm. Son de bajo costo y han mostrado baja citotoxicidad y respuesta inmunológica.²⁶

Las nanopartículas pueden liberar continuamente iones de plata, que pueden considerarse el mecanismo para eliminar a los microorganismos. Liberan iones de plata más rápido en solución ácida que en solución neutra. Las bacterias gramnegativas son más susceptibles, la pared celular de estas es más estrecha que la de las cepas grampositivas. Además de poder liberar iones de plata, las nanopartículas de plata pueden eliminar bacterias por sí mismas.²⁶

Debido a la atracción electrostática y además de las proteínas de azufre, los iones de plata pueden adherirse a la pared celular y la membrana citoplasmática. Los iones adheridos pueden mejorar la permeabilidad de la membrana citoplasmática y provocar la ruptura de la envoltura bacteriana.²⁶

Después de la absorción de iones de plata libres en las células, las enzimas respiratorias pueden desactivarse, generando especies reactivas de oxígeno, pero interrumpiendo la producción de trifosfato de adenosina. Las especies reactivas de oxígeno pueden ser un agente principal en la provocación de la alteración de la membrana celular y la modificación del ácido desoxirribonucleico (Fig.16).²⁶

Hiraishi y cols. en 1957 probaron fluoruro de diamina de plata contra *E. Faecalis* por medio de biopartículas (*in vitro*), el cual mostro eliminación completa de biopelículas de 48 horas después de 6 minutos de interacción. También se encontró fluoruro de diamina de plata al 3.8% depositado en la superficie de la dentina y penetro hasta 40 nanómetros en los túbulos dentinarios, otro estudio demostró que la eficacia antibiótica Ag-NP era significativa cuando se administraba como medicamento y no como Irrigante.²⁴

Se encontró que el gel de Ag-NP al 0.02% como medicamento durante siete días significativamente mejor en *E. Faecalis*, la disrupción de la biopelícula en comparación con los grupos de hidróxido de calcio e irrigación con jeringa con una solución de concentración mayor de Ag-NP al 0.1%. Dos problemas principales asociados con los Ag-NP son la posible decoloración de la dentina y la toxicidad hacia las células de mamíferos.²⁶

Las Ag-NP con actividad antibacteriana significativa podrían usarse para la desinfección del sistema de conductos radiculares. Sin embargo, es necesario considerar el tiempo de interacción prolongado por los Ag-NP para la eliminación eficaz de las bacterias, y su uso idealmente debería limitarse a medicamentos en lugar de como irrigantes. Además, la toxicidad asociada con los iones de plata no debe ignorarse con una selección cuidadosa de la concentración no tóxica para su uso *in vivo* (Fig.17).²⁴

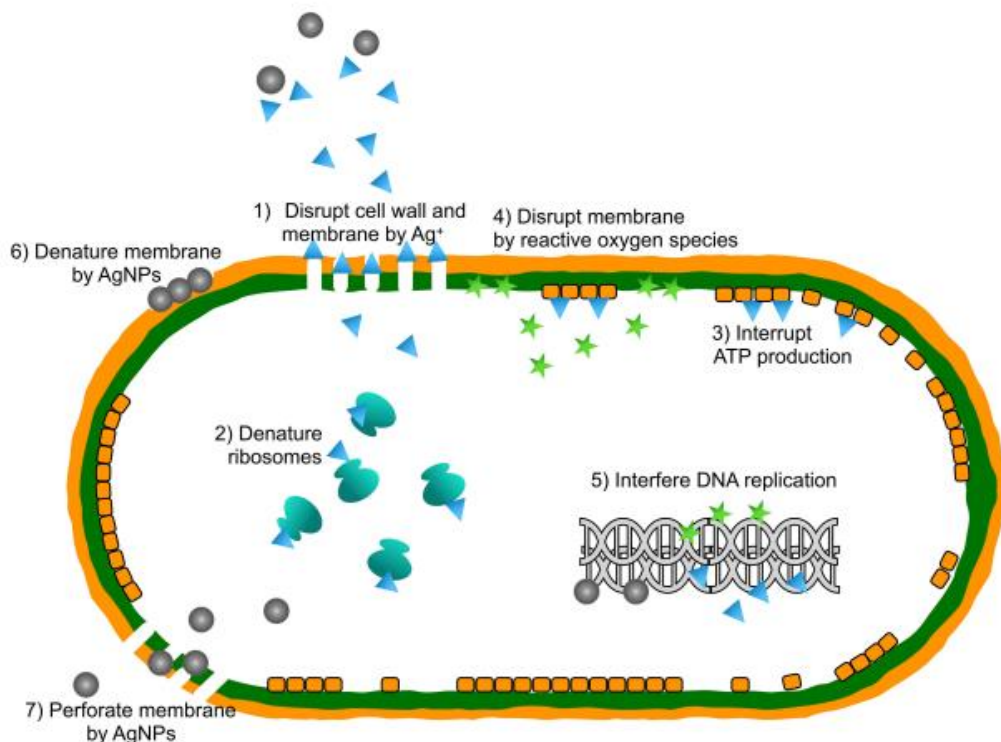


Fig.16. Tomada de Iris Xiaoxue Yin. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. International Journal of Nanomedicine downloaded from <https://www.dovepress.com/> by 189.147.174.91 on 04-Feb-2021

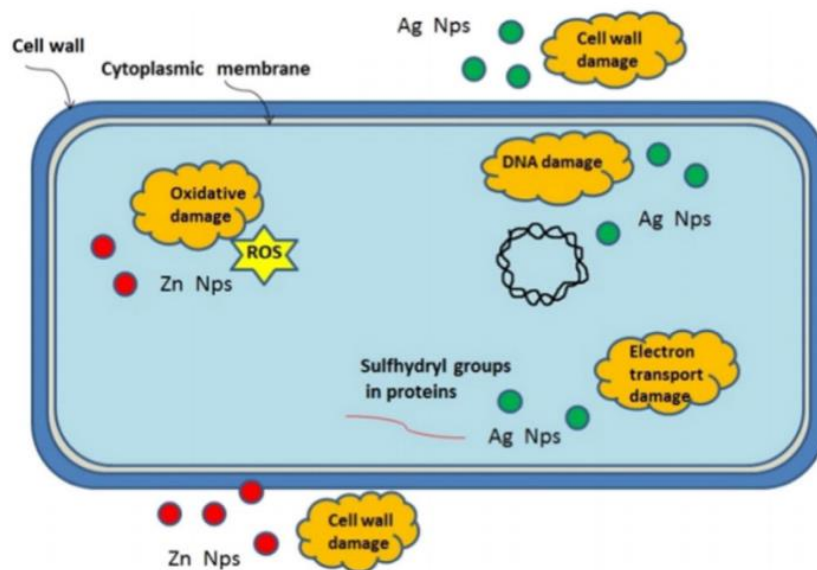


Fig.17. Tomada de Mohammad S. Nanoparticles for antimicrobial purposes in Endodontics: A systematic review of in vitro studies.. 2015.

Las nanopartículas de plata pueden provocar la desnaturalización de la membrana celular. Tienen la capacidad de penetrar las paredes de las células bacterianas y cambiar la estructura de la membrana celular. Además, pueden participar en la transducción de señales bacterianas pueden desfosforilar residuos de tirosina en los sustratos péptidos. La interrupción de la transducción de señales puede conducir a la apoptosis celular y la terminación de la multiplicación celular.²⁶

El hipoclorito de sodio reduce el módulo elástico y la fuerza externa de la dentina y causa daño toxico a los tejidos periapicales en una baja concentración de nanopartículas de plata tienen una biocompatibilidad superior, en relación con el hipoclorito de sodio. Algunos investigadores están preocupados por la toxicidad de la plata nanopartículas, la toxicidad de las nanopartículas de plata es directamente asociado con los iones de plata libres.²⁶

Las nanopartículas de plata pueden inducir estrés oxidativo y afectar la función mitocondrial de las células humanas, la plata se puede detectar en

órganos después de la administración de dosis masivas de nanopartículas de plata, especialmente en el hígado y el bazo, la capacidad para cruzar la barrera hematoencefálica, a través del transporte transináptico y acumularse en el cerebro.²⁶

La plata acumulada en los órganos se puede eliminar en su mayoría después de 8 semanas, algunos estudios de laboratorio informaron que las nanopartículas de plata tienen efectos citotóxicos en las células humanas.²⁶ La gutapercha recubierta con nanopartículas de plata se ha desarrollado como un obturador antimicrobiano para la obturación del sistema de conductos radiculares.²⁶

3.3 Nanopartículas de vidrio bioactivo

El vidrio bioactivo (BAG) recibió un interés considerable principalmente debido a su efecto osteoinductivo y propiedades antibacterianas hacia diversas aplicaciones ortopédicas y dentales. La actividad antibacteriana de BAG se ha investigado utilizando tres enfoques diferentes.

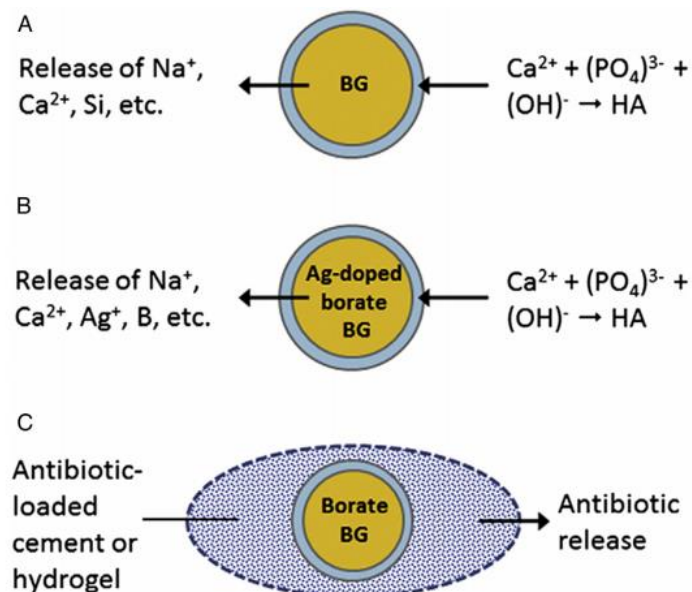


Fig.18.Tomada Rahaman MN, Bal BS, Huang W, Review: emerging developments in the use of bioactive glasses for treating infected prosthetic joints, pages 224–31, Copyright 2014, with permission from Elsevier.

La actividad antibacteriana de BAG depende de los siguientes factores actuando simultáneamente (Fig.18):

- **pH alto:** un aumento del pH debido a la liberación de iones en un ambiente en fase acuosa.
- **Efectos osmóticos:** Un aumento de la presión osmótica por encima del 1% es inhibidor de muchas bacterias.
- **Precipitación Ca/P:** Induce la biomineralización en la superficie bacteriana.

Se han aprobado BAG en micro y nano formas para mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares. Los estudios de desinfección radicular mostraron un efecto antibacteriano significativamente menor de BAG al compararlo con el hidróxido de calcio en comparación al crecimiento bacteriano residual. La eficacia antibacteriana reducida de nano BAG en comparación antes de la aplicación clínica.²⁵

3.4 Nanopartículas de oro

Exhiben acciones tanto antibacterianas como antifúngicas. Regiel-Futyra y cols. desarrollaron películas innovadoras compuestas de AuNP a base de quitosano como un material novedoso sin citotoxicidad que mostraba una alta actividad antibacteriana contra cepas resistentes a los antibióticos *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus*. Se concluyó que los nanocompuestos de quitosano-Au podrían usarse para muchas aplicaciones biomédicas, incluidos apósitos para heridas, vendajes adhesivos y recubrimientos.²⁸

Nanopartículas de oro exhiben acciones tanto antibacterianas como antifúngicas.

3.5 Nanopartículas de ácido polilactico-co-glico (PGLA)

El PGLA está aprobado por la Administración de Drogas y Alimentos en EE. UU para aplicaciones biomédicas, dado que su biodegradación da como resultado agua y CO₂.⁵

Los polímeros téticos tienen la ventaja de una alta pureza y reproductibilidad sobre los polímeros naturales. Entre los polímeros sintéticos, la familia del poliéster es de gran interés por su biocompatibilidad y propiedad de degradabilidad. El tamaño y la distribución de las nanopartículas de PGLA se ven afectados por la técnica utilizada para la producción de las mismas.⁷

Ejerce su actividad permeabilizando las membranas bacterianas, mientras que las membranas no se ven afectadas.⁸

Biocompatibilidad y biodegradabilidad, las propiedades antimicrobianas del PLGA. Pagonis y cols. detectaron que, en presencia de luz y azul de metileno, el PLGA eliminó por completo E. Faecalis en especies de biopelículas de conductos radiculares infectados en dientes humanos. Los estudios también respaldan que la encapsulación de agentes antimicrobianos en el nano núcleo de nanopartículas de PLGA podría controlar eficazmente el crecimiento de estos microorganismos.²⁸

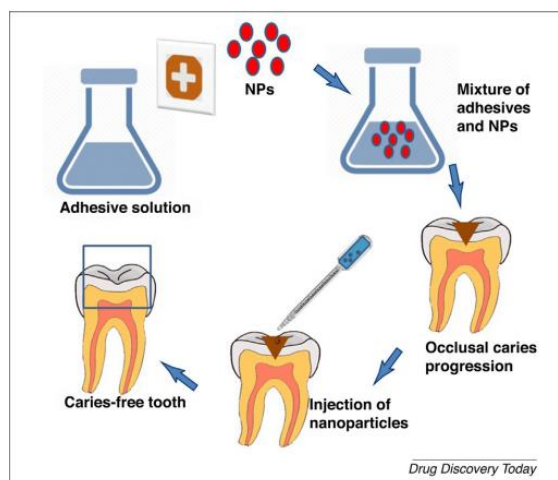


Fig.19. Tomada de Raura y cols. Biomaterials Research. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review. (2020) 24:21

Su baja toxicidad, propiedades antimicrobianas e interacciones mejoradas entre proteínas y superficies se pueden utilizar para aplicaciones dentales. En endodoncia, los riesgos basados en NP pueden ser un método novedoso para la irrigación del espacio del sistema de conductos radiculares proporcionando un beneficio adicional de acceder a los conductos laterales para la remoción de restos pulpares. También se ha mostrado que la adición de NP es eficaz contra los organismos que infectan el sistema de conductos radiculares y también reduce la microfiltración en los espacios de los conductos radiculares, lo que evita recurrencia de la infección (Fig.19).²⁸

3.6. Desinfección e irrigación con nanopartículas en el tratamiento de conductos radiculares

Su estrategia de desinfección tiene un objetivo muy interesante que es superar las deficiencias de las estrategias actuales eliminando las biopelículas, no solo de los conductos principales, si no más allá de las porciones no instrumentadas y las complejidades anatómicas del sistema de conductos radiculares.²⁴

La adición de nanopartículas en selladores o materiales de restauración se ha intentado principalmente para lograr una menor penetración bacteriana, una mayor actividad antibacteriana dentro de los túbulos dentinarios, una mayor sustentividad de los selladores y una mayor difusión de la actividad antibacteriana.²⁹

La mayoría de las nanopartículas probadas para la desinfección del sistema de conductos radiculares dependen de la actividad antibacteriana mediada por contacto y dependiente del tiempo. Por tanto, la incorporación de diversas nanopartículas en selladores mejoro significativamente la eficacia antibacteriana al inhibir la formación de biopelículas bacterianas en la superficie, así como interfase resina-dentina.²⁴

En una nanopartícula los materiales inorgánicos o polímeros normalmente forman el sustrato del núcleo. Se ha considerado que los fotosensibilizadores basados en nanopartículas potencian la eficacia de la terapia fotodinámica. Las nanopartículas funcionalizada con moléculas fotosensibilizadoras ofrecen propiedades fisicoquímicas únicas de nanopartículas como tamaños ultra pequeños, gran área de superficie, relación de masa y aumento de la reactividad físico-química.²⁹

La combinación de nanopartículas con fotosensibilizadores podría lograrse mediante:

- 1-Fotosensibilizadores complementados en nano partículas
- 2- Fotosensibilizadores encapsulados en nanopartículas
- 3- Fotosensibilizadores unidos o cargados a nanopartículas
- 4-Las propias nanopartículas sirven como fotosensibilizadores

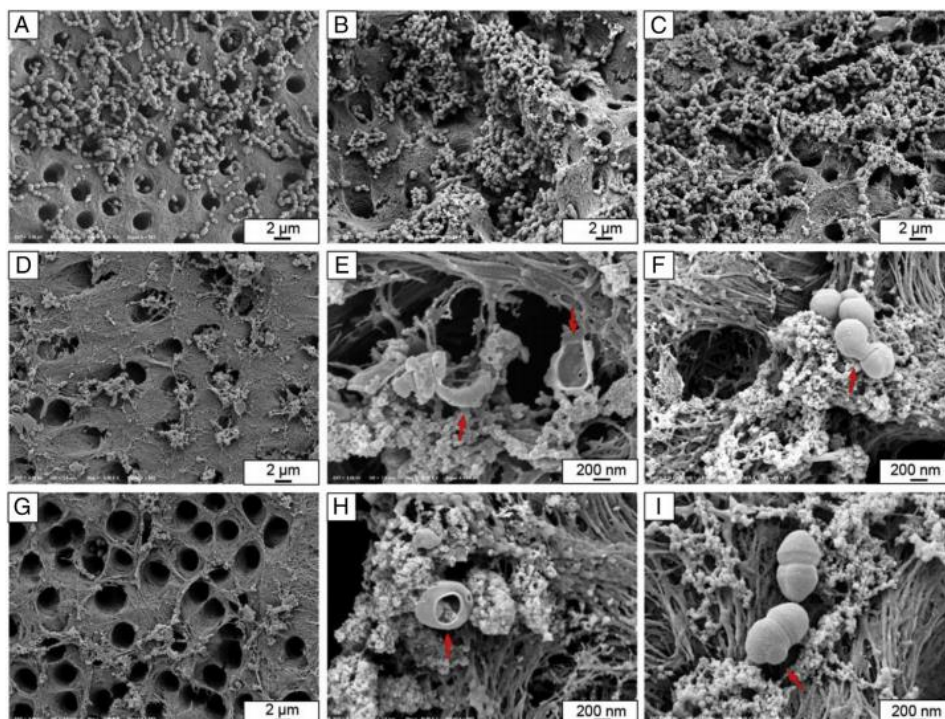


Fig.20. Tomada de Representative field emission scanning electron microscopic images showing colonization of *E. faecalis* on root canal walls. p. International Journal of Nanomedicine, Effects of adsorbed and templated nanosilver in mesoporous calcium-silicate nanoparticles on inhibition of bacteria colonization of dentin, volume 9, pages 5217–30, copyright 2014.

Se ha descubierto que las combinaciones de nanopartículas con fotosensibilizador mejoran la TDF antimicrobiana.

El concepto de la terapia fotodinámica (TFD) que utiliza agentes microbianos basados en nanopartículas ha sido objeto de muchas investigaciones. La TFD se basa en la utilización de radicales libres de productos no tóxicos, como el oxígeno, mediante la activación con una luz de baja energía.²⁹

La eficacia terapéutica de las nanopartículas antibacterianas requiere la optimización de sus características físicas, químicas y biológicas, teniendo en cuenta los factores específicos del tejido en el sitio de la infección y el método para administrar las nanopartículas de manera eficaz en el tejido diana. Las estrategias de tratamiento basadas en nanopartículas tienen el potencial de mejorar la eficacia antibacteriana y antibiótica en endodoncia (Fig.20).²⁴

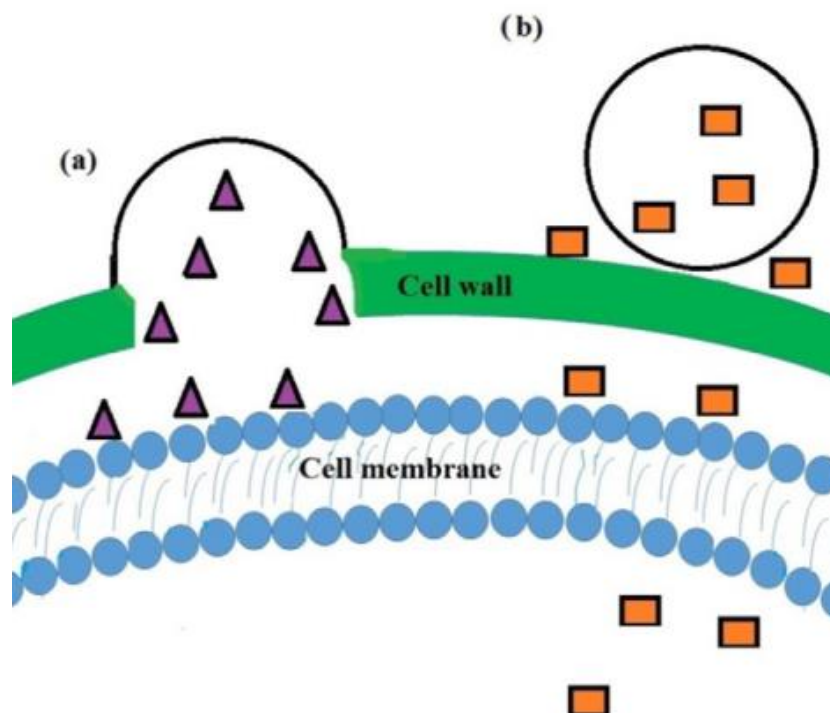


Fig.21. Tomada de Mohammad S. Nanoparticles for antimicrobial purposes in Endodontics: Possible mechanisms for NPs-based antimicrobials... 2015, journal homepage: www.elsevier.com/locate/msec

Las nanopartículas a través de modificaciones de la superficie brindarían la oportunidad de administrar medicamentos y productos químicos al sitio de la infección para interactuar selectivamente con la biopelícula y las bacterias (Fig.21). Se están desarrollando nanopartículas multifuncionales más nuevas basadas en los requisitos clínicos en colaboración con ingenieros, médicos y biólogos en términos de toxicidad de las nanopartículas antibacterianas más nuevas.²⁹

Todo este concepto de nanopartículas en el cuidado de la salud y la endodoncia debe aceptarse con cautela en futuros desarrollos.²⁹

Se recogieron datos sobre desinfecciones de conductos radiculares, mecanismos antimicrobianos y generales de las nanopartículas, tipo de nanopartículas como agente microbiano y efecto antimicrobiano de las nanopartículas en endodoncia y se sometieron a análisis descriptivo de datos.²⁵

Los microorganismos pueden acceder a la cámara pulpar por diferentes vías, inducidas por caries en tejidos duros, procedimientos quirúrgicos dentales o fisuras y fracturas inducidas por traumatismos.

Partículas con dimensiones 1-1000 nm comúnmente 5-350 nm de diámetro fabricadas a partir de cualquier tipo de sustancia biocompatible con nanopartículas.²⁵

Según la literatura las formulaciones de base nano proporcionan una mejor penetración y permiten una liberación lenta y controlada de los ingredientes activos en los sitios de destino.²⁵

En nanotecnología, una disminución de las dimensiones hasta el nivel atómico conduce a un aumento considerable de la superficie de un agente, por tanto, aumenta el contacto de las nanopartículas con los microorganismos y, en consecuencia, la interacción efectiva con la membrana del patógeno.²⁵

Además, el potencial antibacteriano de algunas nanopartículas, como los de los metales, son de gran importancia en las estrategias utilizadas para combatir las infecciones crónicas.²⁵

CONCLUSIONES

A lo largo del tiempo se ha buscado eliminar las bacterias de la biopelícula no solo del sistema de conductos radiculares principales si no también de las zonas no instrumentadas y sus complejidades anatómicas.

El objetivo primordial es que no se induzcan efectos adversos sobre los tejidos. Se espera que la nanotecnología mejore fundamentalmente el cuidado de la salud con el desarrollo de nuevos métodos y modernice la práctica odontológica.

El empleo de nanopartículas para combatir infecciones dentro del sistema de conductos radiculares ha demostrado un efecto mejorado, sin embargo, se encuentran deficiencias, efectos celulares y toxicidad como lo son los irrigantes convencionales.

La incorporación de nanopartículas, sobre todo de plata a nuestro procedimiento endodóncico como método de irrigación podría mejorar las características mecánicas y las propiedades antibacterianas de los materiales. Han demostrado ser prometedores para reducir la formación de biopelículas.

Si bien es cierto que a lo largo de este trabajo hemos podido comprender la importancia de estudiar más a fondo estas nanopartículas esperando se empleen completamente en algún tiempo como método principal de irrigación.

El hipoclorito de sodio sigue siendo la primera elección para utilizar durante la irrigación y desinfección del sistema de conductos radiculares, sin embargo, evaluando sus propiedades se espera que en un tiempo cercano se encuentre un mejor material de irrigación basado en nanopartículas.

Lo ideal es encontrar la manera de utilizar varios métodos de irrigación a la vez siempre y cuando no genere otra reacción química para así garantizar la completa desinfección del sistema de conductos radiculares y saber con mayor seguridad que el tratamiento no fracasará o generara una periodontitis apical en los dientes de pacientes tratados previamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Costeron JW, Lewandowski Z, Caldwell DE, Korber DR, Lappin-Scott HM. Microbial biofilms. *Annu Rev Microbiol.* 1995; 49:711–45.
2. Ricucci D, Siqueira Jr JF. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010;36(8):1277–88.
3. Stewart PS. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathological findings. *J Endod.* 2010; 36 (8): 1277-88.
4. Basrani B. Endodontic Irrigation: Chemical disinfection of the root canal system. 1ª ed. Cham, Suiza: Springer International Publishing; 2015; 65-66.
5. Liu, H. et al. (2006) Less harmful acidic degradation of poly(lactico-glycolic acid) bone tissue engineering scaffolds through titania nanoparticle addition. *Int. J. Nanomed.* 1, 541–545
6. Siqueira J. Endodontic infections: concepts, paradigms, and perspectives. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002; 94(3): 281-93.
7. Astete C, Sabliov C. Synthesis and characterization of PGLA nanoparticles. *J. Biomater. Sci. Polymer Edn*, Vol.17, No 3, pp 247-289, 2006.
8. Pagonis, T.C. et al. (2010) Nanoparticle-based endodontic antimicrobial photodynamic therapy. *J. Endod.* 36, 322–328
9. Cohenca N. Disinfection of Root Canal Systems: The treatment of Apical Periodontitis. Department of Endodontics and Pediatric Dentistry, University of Washington, Seattle, WA, USA. 2014.
10. Ohara P, Torabinejad M, Kettering JD. Antibacterial effects of various endodontic medicaments on selected anaerobic bacteria. *J Endod.* 1993;19(10): 498–500.

11. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Garcia RB, de Andrade FB, Bernardineli N, de Moraes IG, Duarte MA. The antimicrobial effect of new and conventional endodontic irrigants on intra-orally infected dentin. *Acta Odontol Scand.* 2013;71(3–4):424–31.
12. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spano JC, Marchesan MA, Pecora JD. Mecanismo de accion del hipoclorito de sodio. *Braz Dent J.* 2002; 13: 113.
13. Davies A. The mode of action of chlorhexidine. *J Periodontal Res.* 1973; 12:68–9.
14. Denton G. Chlorhexidine. In: Block SS, editor. *Disinfection, sterilization and preservation.* 4th ed. Philadelphia: Lea and Febiger; 1991.
15. Paquette L, Legner M, Fillery ED, Friedman S. Antibacterial efficacy of chlorhexidine gluconate intracanal medication in vivo. *J Endod.* 2007; 33:788–95.
16. Vianna ME, Horz HP, Gomes BP, Conrads G. In vivo evaluation of microbial reduction after chemomechanical preparation of human root canals containing necrotic pulp tissue. *Int Endod J.* 2006; 39:484–92.
17. Haapasalo M. Can I use chlorhexidine as the only irrigating solution in my endodontic treatments? *J Can Dent Assoc.* 2011;77: b16. Zehnder M. Irrigants of the root cell. *J Endod.* 2006; 32 (5): 389-98.
18. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy. *J Endod.* 2005; 31: 817-20.
19. Kishen A (ed). *Nanoparticles for desinfección endodontic.* In: *Nanotechnology in endodontics: Current and potential clinical applications.* Springer International Publishing Switzerland 2015;
20. Shrestha A, Fong SW, Khoo BC, Kishen A. Distribution of antibacterial nanoparticles in dentine tubules by high intensity focused ultrasound. *J Endod* 2009; 35:1028–33.

21. Basrani B, editor. Endodontic Irrigation: Chemical disinfection of the root canal system. Cham, Suiza: Springer International Publishing; 2016; 2-11.
22. White FM. Fluid mechanics. 4th ed. Boston: McGraw-Hill; 1999. p. 1–56, 129–214, 541.
23. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005; 31:817–20.
24. Shrestha A, Kishen A. Antibacterial nanoparticles in endodontics: A review. *J Endod.* 2016; 42(10): 1417-26.
25. Samiei M, Farjami A, Dizaj SM, Lotfipour F. Nanoparticles for antimicrobial purposes in Endodontics: A systematic review of in vitro studies. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2016;58: 1269-78.
26. 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 Nanomedicina.* 2020; 15:2555–62.
27. Raura N, Garg A, Arora A, Roma M. Nanoparticle technology and its implications in endodontics: a review. *Biomater Res.* 2020;24(1):21
28. Bapat RA, Joshi CP, Bapat P, Chaubal TV, Pandurangappa R, Jnanendrappa N, et al. The use of nanoparticles as biomaterials in dentistry. *Drug Discov Today.* 2019;24(1):85–98.
29. Samiei M, Farjami A, Dizaj SM, Lotfipour F. Nanoparticles for antimicrobial purposes in Endodontics: A systematic review of in vitro studies. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2016; 58:1269–78.
30. Pereira Lopes H, Freitas Siqueira J Jr. Endodoncia: Biología y técnica. 4a ed. Quint essence Editora; 2020.