



UACH
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

FORMACIÓN DE RECUBRIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN ALAMBRES ORTODÓNTICOS NiTi USANDO SUERO CORPORAL SIMULADO

Tesis que presenta la C.D.
Gabriela Javalera Herrera,
para obtener el Título de
Maestro en Estomatología Ortodoncia

Director de Tesis:

Dr. Humberto A. Monreal Romero

Co-Director: Dra. Claudia López Meléndez



Chihuahua, Chih., 17/08/2022

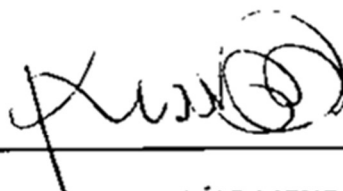
La Tesis: Formación de recubrimiento de Nanopartículas de plata en alambres ortodónticos NiTi usando Suero Corporal Simulado, presentada por la pasante: Gabriela Javalera Herrera, como requisito para obtener el Título de Maestro en Estomatología opción terminal Ortodoncia ha sido aprobada y aceptada por:



DR. JUAN ANTONIO GALACHE VEGA
Director



DR. GUILLERMO MARTÍNEZ MATA
Secretario de Investigación y Posgrado



DRA. KISSI DANIELA DÍAZ MENDOZA
Secretaria Académica



DR. HUMBERTO ALEJANDRO MONREAL ROMERO
Director de tesis



DRA. CLAUDIA LÓPEZ MELENDEZ
Co-Director Externo

RESUMEN

En este estudio, se sintetizaron recubrimientos en fluido corporal simulado (SBF) en presencia de nanopartículas de plata en la superficie de arcos de níquel-titanio. Los recubrimientos se caracterizaron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), microscopía de fuerza atómica (AFM), análisis de dispersión de energía de rayos X (EDS), transformada rápida de Fourier (FFT), análisis de densidad espectral de fuerza (PSD), análisis de geometría superficial y distribución de partículas. Los resultados muestran la eficiencia de la interacción electrostática del sustrato SBF y las nanopartículas de Ag en la formación de los recubrimientos. Las nanopartículas de Ag en los recubrimientos tenían diámetros de aproximadamente 50 a 150 nm. Las condiciones de pH y temperatura dentro de la solución se optimizaron usando una técnica estática. La funcionalidad de los recubrimientos y su relación con la longitud de onda dominante en los análisis de densidad espectral de fuerza (PSD) y transformada rápida de Fourier (FFT); fueron analizados. Este método abre una nueva ruta para la síntesis de recubrimientos en varios fluidos corporales utilizando otros materiales biocompatibles.

Palabras clave: Fluido corporal simulado, Arcos de níquel titanio, Recubrimientos, Nanopartículas de plata, Microscopía electrónica de barrido, Microscopía de fuerza atómica.

FORMATION OF SILVER NANOPARTICLE COATING ON NITI ARCHWIRES USING SIMULATED BODY FLUID

SUMMARY

In this study, coatings were synthesized on simulated body fluid (SBF) in the presence of silver nanoparticles on the surface of nickel-titanium archwires. The coatings were characterized using scanning electron microscopy (SEM), atomic force microscopy (AFM), X-ray energy dispersive analysis (EDS), fast Fourier transform (FFT), force spectral density (PSD) analysis, surface geometry analysis and particle distribution analysis. The results show the efficiency of the electrostatic interaction of the SBF substrate and Ag nanoparticles in the formation of the coatings. The Ag nanoparticles in the coatings had diameters of approximately 50 - 150 nm. The pH and temperature conditions within the solution were optimized using a static technique. The functionality of the coatings and their relationship with the dominant wavelength in the force spectral density (PSD) and fast Fourier transform (FFT) analyses; were analyzed. This method opens up a new route for the synthesis of coatings in various body fluids using other biocompatible materials.

Keywords: Simulated body fluid, Nickel titanium archwires, Coatings, Silver nanoparticles, Scanning electron microscopy, Atomic force microscopy.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

CHIHUAHUA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



ÍNDICE

| | |
|----------------------------------|-----|
| ÍNDICE DE TABLAS | II |
| ÍNDICE DE FIGURAS | III |
| 1. GLOSARIO | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 4. OBJETIVO GENERAL | 6 |
| 5. OBJETIVOS PARTICULARES | 7 |
| 6. HIPÓTESIS | 8 |
| 7. MARCO TEÓRICO | 9 |
| 8. MATERIALES Y MÉTODOS | 29 |
| 9. CRITERIOS DE INCLUSIÓN | 32 |
| 10. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN | 33 |
| 11. VARIABLE DEPENDIENTE | 34 |
| 12. VARIABLE INDEPENDIENTE | 35 |
| 13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 36 |
| 14. RESULTADOS | 37 |
| 15. DISCUSIÓN | 47 |
| 16. CONCLUSIONES | 51 |
| 17. BIBLIOGRAFÍA | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| 1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ARCOS NITI | 10 |
| 2. PRINCIPALES BACTERIAS RELACIONADAS A INFECCIONES EN ORTODONCIA | 14 |
| 3. MECANISMOS DE ACCIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN DIFERENTES MICROORGANISMOS | 24 |
| 4. COMPOSICIÓN DE SBF..... | 29 |
| 5. ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES EN LA MUESTRA CONTROL..... | 38 |
| 6. ANÁLISIS DE CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS PRESENTES EN LA MUESTRA CONTROL SOMETIDA A PROCEDIMIENTO CON SBF | 40 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 1. PESAJE DE REACTIVOS | 29 |
| 2. AJUSTE DE PH, VASO DE PRECIPITADO EN AGITACIÓN DENTRO DE INCUBADORA..... | 30 |
| 3. CONTENEDOR CON MUESTRAS EN INCUBACIÓN ESTÁTICA | 30 |
| 4. IMAGEN DE SEM DE ALAMBRE ORTODÓNCICO NITI SIN RECUBRIMIENTO, SELECCIÓN DE 3 ÁREAS DE ESTUDIO | 37 |
| 5. IMAGEN DE EDS (X1,000) DE ALAMBRE ORTODÓNCICO NITI DONDE SE CONFIRMA LA PRESENCIA DE RECUBRIMIENTO HOMOGÉNEO DE NPAGS DEL ÁREA SELECCIONADA | 39 |
| 6. IMAGEN DE SEM DE ALAMBRE DE ORTODÓNCICO NITI DONDE SE SELECCIONAN 5 ÁREAS DE ESTUDIO PARA LA VALORACIÓN DE LA PRESENCIA DE NPAGS | 39 |
| 7. RECUBRIMIENTO DE NPAGS EN SBF MEDIANTE MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA | 41 |
| 8. ACERCAMIENTO DE LAS PARTÍCULAS PRESENTES EN EL RECUBRIMIENTO , MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA | 42 |
| 9. DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE NPAGS | 43 |
| 10. PERFÍL DE RUGOSIDAD DE LOS RECUBRIMIENTOS | 44 |
| 11. ESPECTRO DE FRECUENCIA DE LOS RECUBRIMIENTOS | 44 |
| 12. ANÁLISIS DE DENSIDAD ESPECTRAL DE POTENCIA (PSD) | 45 |
| 13. ANÁLISIS DE LA GEOMETRÍA DE LOS RECUBRIMIENTOS CON NANOPARTÍCULAS DE AG | 46 |

1. GLOSARIO

Adhesión:

Fuerza de atracción que mantiene unidas moléculas de distinta especie química.

Biocompatible:

Ausencia de reacciones alérgicas, inmunitarias, etc. en el contacto entre los tejidos del organismo y algunos materiales.

Biopelícula:

Comunidades de microorganismos que crecen embebidos en una matriz de exopolisacáridos y adheridos a una superficie inerte o un tejido vivo.

Caries:

Patología multifactorial, transmisible y progresiva considerada una infección bacteriana caracterizada por la destrucción de los tejidos calcificados del diente, debido a la acción de los microorganismos que integran la placa dental.

Conformabilidad:

Propiedad que permite doblar el alambre en cualquier configuración deseada sin fracturarse.

Corrosión:

Desgaste paulatino de los cuerpos metálicos por acción de agentes externos.

Deformación elástica:

Es un cambio de forma temporal y el material vuelve a sus dimensiones originales que tenía antes de que se aplicara la tensión.

Fricción:

Fuerza resistencia entre dos objetos en movimiento que entran en contacto.

Módulo de elasticidad:

Relación entre la tensión aplicada al alambre y la deformación resultante.

Nanopartículas:

Partículas coloidales sólidas con un rango de tamaño de 1 a 1,000 nm.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

CHIHUAHUA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



Ortodoncia:

Rama de la odontología dedicada al estudio y corrección de las irregularidades y anomalías en la posición de los dientes y maxilares.

Periodonto:

Tejidos de soporte dentario.

Periodontopatías:

Término genérico para referirse a las diversas enfermedades que afectan al periodonto.

Proliferación:

Multiplicarse abundantemente.

Susceptibilidad:

Estado de tener predisposición o estar sensible a desarrollar una determinada enfermedad.

Oclusión:

Relaciones que se establecen al poner los arcos dentarios en contacto.

2. INTRODUCCIÓN

El entorno de la cavidad oral presenta ciertas características que permiten la proliferación de bacterias, las cuales son capaces de producir ácidos que desmineralizan las superficies del esmalte dental. El tratamiento de ortodoncia aumenta la colonización bacteriana ya que incrementa la retención y adhesión de biopelícula (también conocida por su nombre en inglés – *biofilm*), además que provoca que la higiene se vuelva más complicado, esto a su vez aumenta la susceptibilidad del paciente a la desmineralización del esmalte y el progreso de diferentes enfermedades gingivales. Lograr que los aparatos de ortodoncia adquieran una capacidad antibacteriana ha sido crucial a lo largo de la historia (1,2)

Los alambres de ortodoncia constituyen los componentes activos de la aparatología, que permiten el movimiento dental en los sistemas de aparatología fija. El ortodontista debe considerar los diferentes alambres y sus características de acuerdo con la etapa de tratamiento y el propósito para el cual utilizara el alambre. Es importante que tome en cuenta la elasticidad de este, ya que la fase de alineación y nivelación requiere de alambre con una alta recuperación de elasticidad que permita la aplicación de fuerzas bajas, los materiales de primera elección en esta fase es la aleación de Níquel- Titanio (NiTi), desarrollada por primera vez en la década de 1960 por el William F. Buehler, compuesto de aproximadamente 55% de níquel y 45% titanio. Sin embargo, se ha encontrado que los alambres de NiTi pueden presentar mayor fricción en comparación con otros materiales y pueden sufrir fracturas en su superficie lo que aumenta de igual forma esta fricción y permite la adhesión bacteriana a estas zonas. Es importante recordar que la fricción debe ser lo más mínima posible, ya que su aumento puede disminuir la velocidad del movimiento dental, esta puede verse influenciada por la corrosión del alambre o la rugosidad de la superficie del mismo. Por lo que las características ideales de un alambre de ortodoncia son que sea biocompatible, altamente resistente a la corrosión y no favorece el crecimiento de microorganismos, con esto se garantiza una mejora en el éxito del tratamiento ortodóncico (3,4).

La nanotecnología aplicada a la odontología permite mejorar el tratamiento, el cuidado y la prevención de las enfermedades bucodentales (3,5). Las nanopartículas de plata (NPAGs) son partículas insolubles de un tamaño inferior a 100 nm y pueden ser utilizadas en los diferentes materiales ortodóncicos, colocándolas en forma de recubrimientos con el objetivo de disminuir la adhesión bacteriana; estos recubrimientos se pueden obtener por medio de diversos métodos químicos, físicos y biológicos. La plata ha demostrado tener una buena actividad antimicrobiana contra bacterias grampositivas y negativas, hongos, protozoos y ciertos virus (5); principalmente ha presentado efectividad contra *S. Aeurus*, *S. Mutans*, *Lactobacillus Acidophilus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia Coli*, *Bacillus Cereus*, *Listeria Innocua*, *Salmonella Choleraesuis* y *Candida Albicans* (5,6).

La combinación de la nanotecnología con la ortodoncia ayuda a mejorar la calidad de tratamiento, debido a los efectos beneficiosos que los nanomateriales pueden brindar la incorporación de recubrimientos de NPAGs a los alambres ortodóncicos le confiere la capacidad de antihaderencia bacteriana para la prevención de la desmineralización de la superficie del esmalte y el desarrollo de enfermedades gingivales; además disminuye la rugosidad de la superficie lo que tiene un efecto directo en el descenso de la fricción y la corrosión; mejorando las características de del alambre (7). Por lo cual es importante el desarrollo de proceso cada vez más accesibles y fáciles de elaborar que permitan la incorporación de estos recubrimientos y garanticen su estabilidad.

3. JUSTIFICACIÓN

La incorporación de recubrimientos de nanopartículas de plata en arcos de ortodoncia han sido de gran interés debido a la importancia por generar barreras que inhiban la proliferación bacteriana que hacen que los materiales usados en ortodoncia pierdan eficacia por efectos de corrosión y consecuentes fracturas, se propone desarrollar un modelo experimental de formación de un recubrimiento que contenga nanopartículas de plata en suero corporal simulado en presencia de alambres ortodónticos de Níquel-Titanio.

Este sistema permitirá posteriormente el análisis de la eficiencia anticorrosiva y la funcionalidad de nanopartículas de plata en la síntesis de biorecubrimientos.

4. OBJETIVO GENERAL

Sintetizar recubrimientos de nanopartículas de plata usando suero corporal simulado en alambres ortodónticos NiTi.

5. OBJETIVOS PARTICULARES

- Preparación de solución de suero corporal simulado (SBF).
- Obtener el recubrimiento por cultivo en SBF y alambre NiTi.
- Preparar las muestras para su caracterización.
- Caracterizar los recubrimientos por medio de microscopía electrónica de barrido, fuerza atómica, energía dispersiva de rayos X, espectroscopia de densidad de potencia (PSD), análisis de geometría, distribución de partículas, perfil de rugosidad y transformada rápida de Fourier (FFT).

6. HIPÓTESIS

Es posible desarrollar recubrimientos de nanopartículas de plata usando suero corporal simulado en alambres ortodónticos NiTi que presenten propiedades anticorrosivas.

7. MARCO TEÓRICO

7.1 ORTODONCIA Y ARCOS NiTi

La ortodoncia es la rama de la odontología que se encarga del diagnóstico, prevención y corrección de las malposiciones dentales y maxilares a través de aparatología. Para cumplir su función, la ortodoncia debe lograr una armonía entre los diferentes componentes del aparato estomatognático con el fin de obtener un adecuado funcionamiento y salud del mismo (8).

Aunque actualmente existen varios sistemas mecánicos para el tratamiento de ortodoncia, los más utilizados son los sistemas fijos, donde se trabaja por medio de deslizamiento entre el *bracket* a través de un arco de alambre (9). Los arcos o alambres de ortodoncia son el elemento activo básico por el cual *los dientes pueden moverse en el sistema de aparatología fija, para lograr esto el alambre debe ser introducido en el slot del bracket generándose una deformación en el mismo y logrando así dicho movimiento*. Dentro de las diferentes etapas del tratamiento el ortodoncista debe considerar la variedad de alambres que tiene a su disposición, ya que estos presentan parámetros y características específicas para lograr el propósito en cada una de estas etapas (10). Las etapas de ortodoncia consisten en la alineación y nivelación de las arcadas, cierre de espacios y consolidación o terminado, la primera de estas presenta la mayor cantidad de cambios en la oclusión del paciente; donde la deformación elástica o también conocido como efecto de memoria de forma, juega un papel importante para lograr el objetivo de alinear y nivelar las arcadas dentales (10,11). La aleación con memoria de forma más utilizada en la actualidad es a base de níquel- titanio (55% níquel y 45% titanio); dicha aleación fue descubierta en 1960 por William Buehler y comercializada por primera vez por la corporación 3M Unitek bajo la marca de Nitinol, más adelante diferentes corporaciones se harían cargo de su comercialización hasta llegar a Ormco (Orange, CA) bajo la marca NiTi como se conocen en la actualidad (12,13).

En la tabla 1 se enlistan algunas de las ventajas y desventajas de los alambres de Niti (8,9,14).

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| <p>Capacidad de deformación elástica Alto modulo de elasticidad Biocompatibilidad Estabilidad ambiental (Sin embargo, se ha observado cierta corrosión) Memoria de forma Alta resistencia</p> | <p>Menor rigidez que los de acero Incapacidad para poder ser soldados Mayor precio Mayor fricción que los de acero Pueden sufrir corrosión Falta de Conformabilidad</p> |

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de los alambres NiTi

Analizando la tabla anterior podemos observar la amplia variedad de ventajas que los alambres de NiTi brindan al ortodoncista al momento de su uso; sin embargo dentro de las desventajas expuestas anteriormente se suman las ocasionadas por acumulación de placa dentobacteriana; cabe recalcar que los alambres de ortodoncia proporcionan las condiciones adecuadas para la colonización de diferentes microorganismos en su superficie ya que promueven la retención y adhesión de biopelículas; *esto puede aumentar el riesgo de corrosión de la superficie del alambre, aumentar la fricción entre el alambre y el bracket* (15,16), así como aumentar la susceptibilidad del paciente a caries y periopatías (17,18).

7.2 CORROSIÓN EN ALAMBRES NiTi

Como se mencionó anteriormente se ha determinado que los alambres de NiTi exhiben un ataque de corrosión (13,14), esto debido a las propiedades iónicas, térmicas, microbiológicas y enzimáticas que el medio ambiente oral presenta lo que sugiere un

entorno hostil para estos. Algunos autores (Ogawa y col.,2019) sugieren que la corrosión que sufren los alambre de NiTi se debe a la cantidad de Titanio (Ti), que tiene la capacidad de formar diferentes óxidos como el TiO_2 , este oxido se libera en presencia de fluoruros (como los contenidos en pastas y enjuagues de uso convencional) y cambios de pH del ambiente (19). Cuando el alambre NiTi presenta corrosión no se forma una película protectora sobre la superficie metálica, sino que se liberan los iones de Ti, disminuyendo así su módulo de elasticidad y capacidad de deformación elástica y por consecuencia el alambre puede llegar a presentar agrietamiento o fracturarse (20).

7.3 AUMENTO DE FRICCIÓN EN ALAMBRES NiTi

La fricción se define como la fuerza de resistencia al movimiento que se generan entre dos superficies que se deslizan entre sí. El aumento en la cantidad de fricción influye negativamente en el movimiento dental, tanto así que se sabe que al reducirla se pueden mejorar los resultados de la fase de alineación y cierre de espacios y por lo tanto reducir el tiempo de tratamiento (16). Sin embargo, la fricción es necesaria para que se produzca movimiento pero se busca que sea la menor posible para que dicha fricción que se genera entre el *bracket* y el alambre produzca este movimiento (21,22).

Dentro de los factores que influyen en la fricción generada entre el *bracket* y el alambre se incluyen:

- Tamaño del alambre
- Forma del alambre
- Material del alambre
- Tipo de *bracket*
- Material del *Bracket*
- Tipo de ligadura
- Variables biológicas

-

Por lo que se busca que todos estos factores generen la menor cantidad de fricción posible que produzca los efectos positivos antes mencionados así como la reducción en el riesgo de reabsorción radicular y mejor control de anclaje (6,22,23). Se habla que el entorno bucal y sus variables biológicas es un factor importante a considerar, puesto que *la formación de biopelículas bacteriana en la superficie del alambre aumenta en gran medida la fricción, afectando así el sistema de bracket-alambre* independiente de cuál sea el elegido y esto llevara a que el resultado se vea comprometido por el poco o nulo movimiento que se generara (6,23).

7.4 MICROBIOMA ORAL, MICRORGANISMOS PATÓGENOS Y CAMBIOS EN EL TRATAMIENTO DE ORTODONCIA

El ambiente de la cavidad presenta diversas características para que las bacterias pueden proliferar; sobre todo cuando se tiene la presencia de biopelículas que juegan un papel crucial en la adherencia de microorganismos ya sea en la superficie dental como en los diferentes componentes de la aparatología ortodóncica. Estos componentes impiden la correcta higiene oral, por lo que esta colonización bacteriana se hace inminente, sin la adecuada prevención. Si bien existen estrategias preventivas para minimizar las consecuencias de dicha proliferación bacteriana (enjuagues, cepillado, pastas, etc.), solo menos del 15% de los pacientes con aparatología siguen las instrucciones del profesional; por lo que el riesgo de padecer desmineralización, caries o alguna periopatía aumenta (15,24).

7.4.1 PROCESO DE FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS

Las biopelículas se forman a partir de la adsorción de los diferentes biopolímeros salivales los cuales se adhieren a la superficie del material de ortodoncia, este primer recubrimiento forma una interfaz entre el material y los microorganismos orales que van a colonizar. La placa o recubrimiento continúa creciendo por la acumulación de los microorganismos formándose una estructura tridimensional; en esta etapa los microorganismos bacterianos inician la producción de ácidos orgánicos a partir de hidratos de carbono; la placa madura tiene un gran potencial acidogénico, lo que aumenta el riesgo de desmineralización dental y formación de caries (24,25). Algo a destacar es que el ecosistema oral está compuesto de bacterias, sin embargo, esta colonización microbiana antes mencionada puede llegar a contener otros microorganismos como los hongos y virus pudiendo llevar a problemas de salud más desafiantes.

- **Composición de las biopelículas:** Las biopelículas se componen básicamente de material de matriz en un 85% conocido como glucocálix y un 15% de microcolonias bacterianas (26).

7.4.2 POBLACIONES BACTERIANAS DE LA CAVIDAD ORAL

Dentro de la cavidad oral se han encontrado aproximadamente 750 especies de poblaciones bacterianas, de las cuales predominan los Estreptococos, Neisseria, Actinomyces, Veillonella y algunas otras bacterias aerobias estas últimas ayudan a evitar que los microorganismos patógenos se adhieran a las diferentes zonas de la cavidad oral (a esto se le denomina microbiota o microbioma oral). Sin embargo cuando se llega a generar una colonización, se pueden generar diferentes enfermedades infecciosas, a continuación se presenta una tabla (Tabla 2) donde se exponen algunas de las bacterias orales y con que infección se relacionan en ortodoncia (27).

| Enfermedad Bucal | Bacterias relacionadas |
|----------------------------|---|
| Halitosis | <p>Atopobum parvulum Eubacterium sulci Solobacterium Moorei</p> |
| Enfermedades periodontales | <p>Actinomyces Capnocytophaga Fusobacterium Synergistetes Porphyromonas endodontalis Campylobacter Prevotella Porphyromonas gingivalis Eubacterium saphenum Bacterium spp Eikenella Peptostreptococcus spp Dialister spp Parvimonas miera Filifactor Alocis Treponema denticola Tennerella forsythia Desulfobulbus spp Prevotella denticola</p> |
| Caries dental | <p>Streptococcus Selenomonas Prevotella Actinomyces Bifidobacterium Veillonella Propionibacterium Thiomonas Granulicatella Laptotrichia Pseudoramibacter Lactobacillus</p> |

Tabla 2. Bacterias relacionadas a las principales infecciones por ortodoncia

7.4.2.1 INFECCIONES BACTERIANAS DE LA CAVIDAD ORAL POR ORTODONCIA

Los diferentes microorganismos patógenos de la cavidad oral son los responsables de producir diversas enfermedades infecciosas así como problemas como la desmineralización. Las enfermedades bucodentales son el primer lugar de las diez enfermedades más comunes de toda la población, a continuación se abarcarán más ampliamente cada una de dichas enfermedades (27).

a) Lesiones de mancha blanca

La desmineralización del esmalte o también conocidas como lesiones de mancha blanca que se generan alrededor de la aparatología ortodóncica, es un efecto secundario común del tratamiento, resultante de la acumulación de placa dentobacteriana por la retención que los componentes ortodóncicos representan; la incidencia de las manchas blancas por ortodoncia puede llegar a afectar hasta al 50% a un 80% de los pacientes con aparatología fija dentro del primer mes de tratamiento. Entre los diferentes componentes de la aparatología, los alambres desempeñan el papel más importante para dicha desmineralización, ya que se encuentran presentes durante todo el tratamiento y estos impiden el acceso a las superficies entre el alambre y el *bracket* para una limpieza adecuada (28-31).

La placa dental aumenta potencialmente la incidencia de manchas blancas y la educación del paciente es el primer paso para prevenirlas (29), sin embargo cuando la limpieza llega a ser deficiente inicia la colonización bacteriana y posteriormente el ataque ácido; el pH se reduce a valores inferiores de 5,5 promoviendo así el proceso de desmineralización lo cual puede ocurrir incluso en el primer mes después de la colocación de la aparatología y comprometer la estética y salud del paciente. Otras estrategias para la prevención de este problema, incluyen la aplicación tópica de flúor e incorporar agentes antibacterianos en enjuagues y pastas, por lo que estas estrategias suponen la cooperación del paciente (39-41).

b) Caries Dental

La caries dental representa un proceso complicado que afecta a gran parte de la población mundial, independientemente de la edad, género o nacionalidad, los principales factores para su desarrollo son la placa dental y la desmineralización dental (27,33). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) se define como un proceso de origen multifactorial,

que inicia como una desmineralización seguida de un ablandamiento de los tejidos duros dentales y posteriormente evolucionando a una cavidad, es decir la pérdida de tejido. La OMS reporta una prevalencia de 60%-90% de niños y 100% de adultos con este padecimiento alrededor del mundo, coincidiendo con las cifras reportadas por la Norma Oficial Mexicana 013, donde se indican que en México dicha prevalencia es del 90% de la población total (15).

La colonización bacteriana de las superficie dental produce cambios en la acidez del ambiente bucal, dentro de las bacterias más comunes responsables de esta enfermedad se encuentran diferentes tipos de Streptococcus, Actinomyces y Lactobacillus (34); los cambios tanto cualitativos como cuantitativos de placa dentobacteriana supragingival de los pacientes con aparatología de ortodoncia ocurren incluso una semana después del inicio del tratamiento (35).

Diversos estudios han determinado que las bacterias más predominante en la enfermedad de caries dental es el Streptococcus Mutans; estas son bacterias grampositivas en forma de coco en cadena, esta bacteria promueve el metabolismo de los carbohidratos generado ácidos de ahí su efecto cariogénico, su control principal es a través de técnicas de cepillado e higiene bucal (36-38). Los pacientes con ortodoncia pueden presentar mayor cantidad de Streptococcus Mutans que los pacientes no tratados; por lo cual, la prevención de la adhesión bacteriana a los diferentes elementos de la aparatología en una preocupación importante para el ortodoncista (39).

c) Periodontopatías inducidas por ortodoncia

La principal causa de las diferentes enfermedades periodontales se debe al desequilibrio entre las bacterias patógenas y la respuesta inmune del paciente ante la infección; este proceso se inicia con la formación de placa dentobacteriana la cual puede llegar a formarse en el espacio subgingival, provocando la inflamación de las encías mejor conocida como gingivitis; si esta placa subgingival no es eliminada y la gingivitis perdura se entra en una etapa crónica, donde las células inmunitarias se activan, estas liberan citoquinas proinflamatorias y especies reactivas de oxígeno (ROS) que causaran la destrucción de hueso alveolar y ligamento periodontal (38), al verse afectadas estas dos estructuras de soporte dental producen una pérdida de inserción la cual lleva al aflojamiento del órgano dental y en casos más severos a la pérdida del mismo.

Las principales bacterias patógenas relacionadas a estos padecimientos son la Porphyromonas gingivalis, Tennerella forsythia y Treponema denticola (39,40).

La periodontitis es difícil de tratar por lo que es importante proteger al periodonto de estos patógenos, al igual que la caries dental las enfermedades periodontales pueden ser prevenidas mediante el control mecánico de la placa dentobacteriana (40).

7.4.3 INFECCIONES FÚNGICAS Y VIRALES DE LA CAVIDAD ORAL

Si bien las infecciones por hongos y virus provocadas por la presencia de aparatología ortodóncica tienen muy baja prevalencia; es importante destacar que estas también pueden llegar a presentarse.

a) Infecciones Fúngicas

Los hongos con parecido a levaduras se encuentran de igual forma en la cavidad oral, dentro de los más comunes podemos encontrar la *Cándida Albicans*, *Cándida Glabrata* y *Cándida tropicalis* (15). Aunque ningún individuo sano desarrolla una infección por *Cándida* causada por aparatología fija de ortodoncia, los que no son portadores de *Cándida* pueden convertirse en portadores a través de la aparatología, ya que esta especie es la causa más común de infecciones micóticas oportunistas de la cavidad oral (41,42). Aunque la adhesión bacteriana es un requisito previo para que se pueda dar la colonización de *Cándida*, esta puede desarrollarse en algunas superficies como el acrílico; *algunos estudios han revelado una mayor adherencia de Cándida Albicans en los Brackets estéticos respecto a los Brackets metálicos* (39,42,43). En lo que respecta a la presencia de *Cándida* en paciente con ortodoncia, muchos estudios han reportado una alta prevalencia sobre todo en pacientes jóvenes de hasta un 50%; este tipo de pacientes son los que recurren con mayor frecuencia a los tratamientos de ortodoncia por lo que se debe tener extremo cuidado para evitar este tipo de infecciones (35).

b) Infecciones Virales

Las infecciones por virus pueden hacerse presencia tanto en la piel como en la cavidad oral, el principal ejemplo de esto es la infección por herpes oral causada por el virus del herpes humano simple 1 (HHV-1), el cual lleva a provocar dolor en las diferentes zonas de la mucosa oral (33). La infección primaria por herpes suele afectar principalmente a niños de 10 años aproximadamente con la aparición de vesículas en la mucosa oral que evolucionan a erosiones (44). Si bien la ortodoncia no llega a ser un agente causal para el desarrollo de una infección por HHV-1, es importante que el ortodoncista conozca que estas pueden llegar a presentarse, razón por la que es mencionada en este apartado.

7.5 NANO-ORTODONCIA

Como se mencionó anteriormente la formación de biopelículas en los arcos de ortodoncia pueden llevar a efecto secundarios biológicos y mecánicos que influyen negativamente en el tratamiento. Si bien el acumulo de estas biopelículas puede ser prevenido con el uso de buenas técnicas de higiene oral, estas dependen de la cooperación del paciente, minucioso cuidado y destreza para lograrlo; desafortunadamente menos del 15% de los pacientes tratados con ortodoncia siguen las instrucciones de cuidado (45); por lo que a través del tiempo los especialistas en la materia se han dedicado a desarrollar nuevas tecnologías con el fin de prevenir la propagación de microorganismos patógenos y la evolución de placa dentobacteriana en los diferentes componentes de la aparatología fija ortodóncica y así brindar un mejor resultado al tratamiento de sus pacientes (46).

Modificar la superficie de los elementos de ortodoncia es una posibilidad, esto con el fin de mejorar sus propiedades y prevenir la formación de biopelículas, esto gracias a la nanotecnología y su aplicación en el área de ortodoncia (45).

El concepto de nanotecnología se atribuye al físico estadounidense Richard Phillips Feynman el cual en 1959 propuso emplear máquinas para la fabricación de herramientas más pequeñas hasta llegar a nivel molecular y de nanoescala; este concepto se define como la ciencia multidisciplinaria para la creación de materiales, dispositivos y sistemas a nivel de nanoescala. El término “Nano” proviene de la palabra griega que significa “enano” (46-49); esto refiriéndose al tamaño tan pequeño de lo estudiado en este campo, es importante conocer que 1 nanómetro (nm) corresponde a una mil millonésima parte de una metro y que la nanotecnología estudia todo aquello con una escala menor a 100 nm. La nanotecnología ha revolucionado diversas disciplinas de la ciencia, por lo que la odontología (nanodontología) no se queda atrás, tanto así que este campo le ofrece la posibilidad de mejorar los tratamientos, el cuidado y la prevención de las múltiples enfermedades orales por medio de la manipulación y modificación de los materiales utilizados en la práctica odontológica (48,50).

La nanodontología se aplica a todas las áreas de la odontología incluyendo la ortodoncia (51,52); si bien la nanoortodoncia se encuentra en las etapas iniciales de su desarrollo, los avances obtenidos hasta el momento son prometedores y garantizan mejorar las propiedades de los materiales utilizados durante el tratamiento (49,52), la nanoortodoncia tiene diferentes aplicaciones como lo son el desarrollo de nanorobots para acelerar el movimiento dental, nanocompuestos para mejorar la adhesión, nanotecnología para la

prevención de las diferentes enfermedades bucodentales relacionadas con la aparatología, como lo es la formación de recubrimientos de *Brackets*, alambres, tubos, bandas y ligaduras para aumentar la bioeficacia de estos y de igual forma reducir la fricción y la corrosión de los metales durante el tratamiento (52,53).

7.5.1 NANORECUBRIMIENTOS EN ORTODONCIA

En el entorno bucal los diferentes elementos de la aparatología se ven afectados por diversos factores, los cuales incluyen a la saliva, los alimentos, las fluctuaciones de temperatura y las fuerzas masticatorias; todo esto lleva a procesos de aumento en la fricción, corrosión y aumento de susceptibilidad de las diferentes enfermedades bucodentales, afectando la funcionalidad de estos elementos. La prevención de estos cambios es un tema importante para el ortodoncista, es de gran importancia mejorar y mantener las características mecánicas y médicas de la aparatología para garantizar un mejor resultado del tratamiento. Los recubrimientos es una forma actualmente disponible para poder modificar la superficie del material para reforzar las propiedades mecánicas y biológicas (53). Los alambres o arcos son una parte esencial en el tratamiento de ortodoncia y con el fin de mejorar sus características para que el sistema presente fuerzas óptimas, sea predecible y con mayor eficacia, se han desarrollado la formación de recubrimientos bactericidas con diferentes tipos de metales (54).

Se ha demostrado que las bacterias tienen menor capacidad para desarrollar resistencia contra los recubrimientos metálicos antibacterianos en comparación con las cepas que se vuelven resistentes a los antibióticos convencionales. Esto ha llevado a que se tenga un gran interés para el uso de estos antibacterianos alternativos en la actualidad (55).

Los nanorecubrimientos permiten minimizar las fuerzas de fricción entre el alambre y el *bracket*, aumentando el movimiento deseado y reduciendo así el tiempo de tratamiento; ya que estos recubrimientos son utilizados como lubricantes secos (materiales en fase sólida capaces de reducir la fricción sin necesidad de un medio líquido). De igual manera las nanopartículas al presentar una mayor relación superficie-volumen interactúan más estrechamente con los microorganismos y brindan al material recubierto una protección antimicrobiana fuerte (56).

7.5.2 NANOPARTÍCULAS DE PLATA

La plata tiene ha sido desde hace mucho tiempo como agente antimicrobiano en las diferentes áreas de la medicina, la odontología y la industria alimenticia (56-58). Sus efectos

de inhibición microbiana junto con la ventaja de su tamaño nanométrico hacen que las nanopartículas de plata sean un material ideal para aumentar los efectos antimicrobianos de los materiales en odontología; varios estudios han demostrado que pueden presentar actividad antibacteriana, antiviral y antifúngica siendo afectivo para diversos microorganismos de la cavidad oral incluyendo *Candida Albicans* (56).

Diversos estudios indican que los materiales que son recubiertos que nanopartículas de plata (Nps/Ag) tienen la capacidad de liberar iones de plata durante aproximadamente 4 meses y así ejercer un efecto antimicrobiano a largo plazo; esto representa una gran ventaja al momento de recubrir elementos ortodóncicos como lo son los arcos de ortodoncia ya que su tiempo de uso en boca oscila entre los 3 a 4 meses según sea el caso, por lo que este tiempo de efecto antimicrobiano a largo plazo es ideal para estos. Si bien el mecanismo exacto del efecto antimicrobiano de las nanopartículas de plata no es totalmente comprendido, existen varias propuestas cuales son (59). Existen muchos factores que influyen en la eficacia de las Nps/Ag dentro de los cuales se encuentra el tamaño, la forma, la estabilidad química, concentración y carga; donde las Nps/Ag con carga positiva, gran estabilidad química, y menor tamaño presenta la mejor actividad antimicrobiana (60).

7.5.2.1 EFECTOS ANTIMICROBIANOS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA

Los iones de plata tienen una gran influencia sobre los microorganismos ya que estas pueden generar diferentes cambios tanto estructurales como morfológicos al entrar en contacto con las células microbiológicas; estos iones pueden tener dicho contacto con tres elementos principales de la célula que son la pared celular, la membrana plasmática y el Ácido Desoxirribonucleico conocido también por las siglas ADN (61). Dentro de los mecanismos de acción de las Nps/Ag se encuentran:

1. Producción de ROS

Se le conoce como ROS (Especies Reactivas del Oxígeno) a los compuestos oxigenados como lo son los superóxidos, peróxido de hidrógeno y radicales hidroxilos que pueden generar diversas reacciones biológicas. El aumento en la cantidad de ROS ocasiona la peroxidación de los lípidos, disminución de ATP, cambios en la cadena respiratoria, aumenta la permeabilidad de la membrana celular, así como también puede llegar a producir daño al ADN y ARN (57,62,63,64,65).

Cuando existe un agente oxidante, las nanopartículas de plata se disuelven, liberando iones de plata Ag^+ ; esto conduce a la generación de ROS aumentando su cantidad dental de la

bacteria (63). El exceso de ROS en la célula del microorganismos puede dañar los microorgánulos intracelulares como la mitocondria, los ribosomas y las vacuolas; y biomoléculas como las proteínas y los lípidos, llevando a la apoptosis (66).

2. Destrucción de la membrana celular

Las NPAs tienen un mecanismo de acción particular en el cual pueden romper la membrana celular de las bacterias de dos formas:

- a) Desorganizando la membrana celular y permitiendo la filtración de contenido citoplasmático en las bacterias gram positivas.
- b) Modificando la permeabilidad de la membrana de las bacterias gram negativas.

De tal manera que las Nps/Ag pueden destruir la primera línea de defensa de la bacteria (57,67). Los estudios demuestran que la carga positiva de las Nps/Ag es importante para mejorar este mecanismo de acción, ya que esta carga permite que exista una atracción electrostática entre la carga negativa de la membrana celular y las nanopartículas (60). Otros autores refieren que la membrana puede ser afectada por las Nps/Ag ya que estas inhiben la fuerza motriz de los protones, la cadena de transporte de electrones y la permeabilidad de la misma (67,68).

Las nanopartículas habitualmente reaccionan a las biomoléculas que contienen fósforo y azufre, los cuales son los componentes principales de la membrana celular, las proteínas y el ADN; por lo que las Nps/Ag se pueden acumular y generar cambios en la membrana como la perforación, cambios en la concentración de citoplasma o desprendimiento de la misma. Es importante señalar que hablando específicamente de las bacterias, las bacterias Gram positivas llegan a ser más resistentes a las Nps/Ag ya que su pared celular llega a ser más gruesa y tener mayor presencia de peptidoglicanos (69). La diferencia de acción de las Nps/Ag entre las bacterias gram negativas y gram positivas se debe a la estructura de la pared celular de peptidoglucanos, esto provoca que las bacterias gram negativas sean más fáciles que inhibir que las gram positivas. Por otro lado si se compara el mecanismo de acción de las Nps/Ag en bacterias y hongos, las Nps/Ag solo se da en las células eucariotas (70).

Dentro de los diferentes informes que existen se ha determinado que las Nps/Ag pueden ejercer su actividad antibacteriana contra *Streptococcus Mutans*, *Streptococcus Sobrinus*, *Lactobacillus Acidophilus*, *Stafilococcus Aureus*, *Streptococcus Sanguinis*, *Enterococos Feacalis*, *Actinomyces* (61,70).

3. Efectos en el ADN

Cuando el microorganismo y las Nps/Ag entran en contacto, la plata reacciona con el azufre de los aminoácidos produciendo una reacción química que conduce a la fractura del ADN y produciendo la muerte del microorganismo (63,68). Su interacción con el ADN se da a través de los grupos -SH al igual que pueden alterar las bases nitrogenadas, esto provoca el desenrollado de la cadena y resulta en la muerte bacteriana (68,71). Por lo que los efectos principales de las Nps/Ag sobre el ADN son la destrucción de la estructura y bloqueo de la replicación de este; de igual forma puede ocasionar mutaciones, modificando las bases nitrogenadas y los enlaces cruzados(72).

4. Inactivación de enzimas

Los iones de plata pueden afectar la función de las proteínas y enzimas; Yamanaka y col confirmaron que la subunidad 30S y la succinil-CoA sintasa de los ribosomas son inhibidas por la plata; la subunidad 30S participa en la decodificación del ARNm, el succinil-CoA forma parte de la ruta de glucosa y del ciclo TCA (ciclo del ácido tricarboxílico), lo que es crucial para la supervivencia microbiana (73). De igual forma tienen la capacidad de desactivar enzimas al reaccionar con grupos tiol (74).

5. Inhibición de la cadena respiratoria

Las Nps/Ag pueden conducir a la muerte celular dañando o inhibiendo la cadena respiratoria de las células bacterianas, esta cadena respiratoria proporciona ATP a las bacterias para poder mantener algunas reacciones bioquímicas y un crecimiento normal; por lo que su alteración daña severamente a la célula (57,75). Después del ingreso de las Nps/Ag a la célula, estas inactivan las deshidrogenasas de la cadena respiratoria, esto a su vez inhibe el crecimiento de la célula (70).

6. Inducción de genotoxicidad

Las Nps/Ag tienen la capacidad de inducir genotoxicidad por medio del bloqueo de la mitosis, esto gracias a la inhibición de la síntesis de ADN y la unión a proteínas protectoras del mismo, lo que provoca que este deje de funcionar. La genotoxicidad es una de las acciones más letales para las bacterias (57).

7. Actividad antifúngica

Las Nps/Ag pueden perturbar principalmente la estructura de la membrana de los hongos, dañando la integridad de esta (75). Se ha demostrado que la Candida es afectada por las Nps/Ag por medio de la vía mediada por ROS esto ocasiona la disfunción de la mitocondria; de igual forma se puede dar por la vía independiente de ROS, que lleva al mismo resultado; se puede ver afectada también la integridad de la membrana, su potencial y fluidez, la célula deja de crecer y su ciclo celular se bloquea (70). La efectividad antifúngica de las Nps/Ag es capaz de atacar especies como la Candida Albicans y Aspergillus Niger. Algunos autores sugieren que las Nps/Ag pueden llegar a saturar y unirse a la hifa de los hongos y con esto llegar a inactivarlo (72,76).

8. Actividad Antiviral

Las Nps/Ag poseen una actividad antimicrobiológica tan importante que son capaces de tener propiedades antivirales; y llegar a ser virucidas potentes y con gran efectividad. (72,77,78). Esto puede darse gracias a que las nanopartículas bloquean el contacto del virus con las células e impide su paso o bien inactiva el virus directamente, como en el caso del virus del herpes simple tipo 1 (72). Aunque el mecanismo antiviral no es extensamente conocido, sigue siendo objeto de estudio para presentes y futuras investigaciones (76).

Se ha descubierto que las Nps/Ag son más seguras que otros metales para realizar recubrimientos, lo que la convierte en el material de primera elección para la incorporación a los elementos de ortodoncia. Subramanian y Col (2021) concluyeron que las Nps/Ag tienen mayor actividad antibacteriana que las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂) (75). Se informa que los iones de plata tienen una afinidad por diversos grupos funcionales de los microorganismos como lo son los grupos carboxilo, amino, fosfato y tiol, lo que lleva a las alteraciones biológicas antes mencionadas (73).

La tabla 3 presenta los diferentes mecanismos de acción de las Nps/Ag en cada uno de los microorganismos (74).

Tabla 3. Mecanismos de acción de las nanopartículas de plata en diferentes microorganismos (74).

| MICROORGANISMO | ACCIÓN |
|------------------|--|
| Bacterias | Daño en el transporte de electrones Inhibición de la función mitocondrial Disolución de la membrana celular Generación de ROS Inhibición de la proliferación bacteriana Inducción de genotoxicidad Destrucción del ADN |
| Hongos | Disolución de la membrana celular Reacción con grupos tiol Inhibición de la función mitocondrial Fuga de iones por parte de la célula |
| Virus | Bloqueo de la replicación viral Interacción con la superficie de glucoproteínas Inhibición de la capacidad de penetración del virus a las células |

Los mecanismos de acción de las Nps/Ag están asociados a la liberación de plata catiónica y el gran potencial oxidativo que presenta principalmente, además del tamaño y forma de estas. En bacterias gram negativas como la *Escherichia Coli* se ha demostrado que la acción principal de las Nps/Ag se da principalmente en la membrana externa, lo que provoca la pérdida de componentes celulares de estas bacterias (70,79). El espectro de actividad antimicrobiana de las Nps/Ag es muy amplio (80) y provoca efectos adversos sobre el huésped pero a su vez logra un gran control del crecimiento de las cepas bacterianas en boca sobre todo por la influencia que tiene la liberación de los iones metálicos de la plata (71). En general, en cuanto más disminuye el tamaño de las partículas de plata utilizadas para un recubrimiento, más aumenta su efecto antibacteriano, por lo que es de vital importancia seleccionar nanopartículas con el menor tamaño posible que garanticen un mejor resultado (72).

Aunque como se pudo analizar el uso de recubrimientos de Nps/Ag tiene un gran futuro en la ortodoncia para lograr el control microbiano y formación de biopelículas en sus diferentes

elementos, aún existen algunos obstáculos técnicos y rentabilidad que necesitan corregirse para poder lograr que los métodos para realizarlos sean más simples y de bajo costo sin afectar los beneficios y rendimiento de los mismos. Si bien la mayoría de los métodos para realizar recubrimientos antimicrobianos representan un costo alto, esto no representa una barrera insuperable, por lo que es importante buscar nuevas alternativas para disminuir dichos costos y hacer más rentable su uso (75-81).

7.5.3 NANOPARTÍCULAS Y SU USO PARA DISMINUIR LA FRICCIÓN EN ORTODONCIA

Como se mencionó anteriormente el tratamiento de ortodoncia consiste en un alambre que se desliza a lo largo de varios *brackets*, con esto se provoca una fuerza de resistencia entre estos dos componentes a lo que se le conoce como fricción. Se hace evidente que la reducción de la fricción da como resultado una disminución en el tiempo de tratamiento y el riesgo de sufrir reabsorciones radiculares, esto permite que se tenga un mejor control de los movimientos a realizar y a su vez a mejorar el anclaje. Es por esto que los ortodoncistas buscan la manera de generar la menor fricción posible en sus tratamientos con el fin de obtener estos beneficios, por lo que el avance de la tecnología y la incorporación de nanorecubrimientos a los diferentes elementos de la aparatología han dado paso a mejorar las propiedades mecánicas de los mismos; el uso de nanopartículas con para la reducción de la fricción se da gracias al desarrollo de lubricantes secos, los cuales son materiales en fase sólida que tienen la capacidad de reducir la fricción entre dos superficies sin la necesidad de un medio líquido (82,83).

Los recubrimientos de nanopartículas se pueden generar tanto en *brackets* como en alambres para desarrollo de lubricantes secos (84). Baker y col., investigaron el efecto que tenía la saliva sobre la fricción y pudieron concluir que la saliva reduce la fricción entre un 15% y un 19%; por lo que es importante asegurar que el paciente presente una adecuada cantidad de saliva; de no sé así una gran alternativa para pacientes con hiposalivación para mejorar la lubricación de los alambres es dicho efecto de lubricante de los recubrimientos. Otros estudios sugieren que la formación de placa dentobacteriana en los arcos de ortodoncia se aumenta por un pH alto, lo que genera rugosidad en el arco y por lo tanto se aumenta la fricción entre el alambre y el *bracket*; por lo que encontrar elementos para la fabricación de recubrimientos para lubricar tiene que tener en cuenta que este elemento también tenga buena acción antimicrobiana para evitar esta adhesión microbiana (83).

Ahmed Reem y colaboradores (2022); concluyeron que los alambres y *brackets* de ortodoncia con recubrimientos pueden reducir el problema de la fricción de manera

significativa (85). En el 2016 Kachoeiet indico que hay evidencia suficiente para decir que la cantidad de fricción entre los alambres y los *brackets* de autoligado con nanorecubrimientos con nanopartículas de esféricas se ve ampliamente afectada; esto debido a que las nanopartículas generaron un espacio entre estos dos compuestos y disminuyeron las irregularidades de la superficie de los alambres llevando a la fricción a un nivel muy bajo y generando un fácil deslizamiento del alambre (86). Otros estudios indican haber presentado una reducción de un 17% a un 54% de fricción al cubrir alambres con películas de nanopartículas (23).

7.5.4 METODOS PARA GENERAR NANORECUBRIMIENTOS

A lo largo del tiempo se han buscado diferentes métodos por los cuales se puedan incorporar las nanopartículas metálicas a los diferentes elementos de ortodoncia, a continuación se presentan los diferentes métodos existentes hasta el momento y los equipos necesarios para realizarlos; para así comprender más a fondo el objetivo del presente trabajo. Estos procesos o métodos pueden ser de naturaleza química, física o biológica para adherir nanopartículas metálicas a los diferentes materiales de ortodoncia así como aparatos, lo principal a buscar en estos procesos es que las propiedades físicas y químicas de estos no se vean alteradas negativamente y que resulten en un aumento en el rendimiento clínico de estos (87).

1. Electrodeposición o Galvanoplastia

Esta es una técnica en la cual se realizan recubrimientos para diferentes superficies utilizando un electrodo negativo (Cátodo) en una celda con electrolito (solución acuosa con una sal metálica depositada en ella) , este electrolito tiene que permitir que una corriente eléctrica fluya y a su vez mantener una misma temperatura; el circuito eléctrico se completa con un ánodo distante al cátodo. Cuando los iones son cargados positivamente en el electrolito, estos se moverán en dirección al cátodo cuando se alimenta el circuito con un voltaje bajo y directo; posterior a esto los iones se transformarán en átomos y se depositarán en el cátodo (88-90).

2. Deposición de vapor químico

En este proceso un precursor de gas fluye hacia una cámara la cual contiene uno o varios sustratos los cuales van a ser recubiertos; se requieren altas temperaturas para realizar este procedimiento de entre 600 y 900 grados centígrados por lo que los alambre de ortodoncia

como los de níquel-titanio pueden perder sus propiedades al ser sometidos a dichas temperaturas (90,91).

3. Evaporación al vacío

Este proceso se realiza en una cámara al vacío, donde un material es calentado a temperaturas aproximadas al punto de fusión, la utilización de este método aun no es descrito para aparatología ortodóncica, pero se han realizado recubrimientos las limas de endodoncia (Tripi y cols., 2003) (53,92).

4. Deposición por pulverización catódica

En este método se realiza la deposición de partículas de vapor en una superficie por medio de pulverización, donde una superficie es sometida a un bombardeo de partículas energéticas de tamaño atómico, dichas partículas son iones de un material gaseoso y estas son aceleradas por medio de un campo eléctrico; este proceso ha demostrado ser eficaz, requiere bajas temperaturas y permite realizar un recubrimiento uniforme (53).

5. Deposición de iones de inmersión en plasma

Proceso al vacío en el cual se calienta un cátodo hasta alcanzar el rojo vivo, después se aplican diferentes voltajes con carga negativa y se liberan iones de plata del cátodo hacia el material a recubrir el cual se encuentra sumergido en un plasma; con este proceso se obtiene un recubrimiento delgado y una amplia cobertura de superficie; para este es necesaria una cámara de implantación de iones (89,90).

Se cual sea el método utilizado para realizar el recubrimiento en la superficie de *brackets* y alambres es importante recalcar que la adhesión de las Nps/Ag se da gracias a los fuertes enlaces electrostáticos (Fuerzas de Van der Waals), lo que hace que el desprendimiento de las Nps/Ag sea casi imposible y por lo cual las nanopartículas pueden permanecer ancladas hasta 3 o 4 meses en la superficie del material, principalmente por los pares que se forman entre los electrones de oxígeno y la carga positiva de las Nps/Ag (93).

Dentro de las ventajas de los recubrimientos tenemos la mejora en las propiedades físicas de los materiales como lo es la mejora en la superficie haciéndola más uniforme por lo que se disminuye el coeficiente de fricción, una fuerza de unión eficiente y la liberación continua de agentes antimicrobianos o de su efecto. Si bien la aplicación de la nanotecnología en ortodoncia esta en sus inicios, es importantes implementar su uso para mejorar el futuro de los tratamientos (94).

La estabilidad de un recubrimiento es la capacidad que este tiene para mantener sus propiedades durante un periodo de tiempo, este es un factor crucial que determinara que tan idóneo es el recubrimiento y si este puede ser utilizado clínicamente (95).

7.5.5 MICROSCOPIAS PARA LA EVALUAR NANORECUBRIMIENTOS

Existen diversas maneras de evaluar la efectividad de la generación de los nanorecubrimientos, dentro de las técnicas de microscopía se encuentran:

a) Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Esta es una técnica utilizada para estudiar la morfología y el tamaño de las nanopartículas, a su vez permite analizar la homogeneidad del recubrimiento (56).

b) Energía dispersiva de rayos X (EDS)

Es una técnica que permite estudiar la microestructura de los materiales sólidos y así determinar sus áreas cristalinas y el porcentaje de fracción cristalina que estos poseen (56).

c) Microscopía de fuerza atómica (AFM)

Esta técnica permite analizar las características de la superficie de los alambres de ortodoncia, la principal ventaja de esta es que produce imágenes en tercera dimensión en una resolución muy alta, además la muestra no necesita ser sometida a tratamientos especiales (56).

d) Microscopía de tunelaje (TEM)

Esta microscopía se utiliza para ver las características de las nanopartículas de los recubrimientos (48).

Como se puede ver, en la actualidad existen múltiples métodos para la incorporación de nanopartículas de plata a los alambres de ortodoncia, sin embargo el equipo necesario para realizarlos supone un gran gasto por lo que el costo-beneficio del uso de nanorecubrimientos se ve afectado y su uso en el consultorio se disminuye a causa de esto; por lo que es importante generar nuevos métodos que supongan un menor gasto pero obteniendo las mismos beneficios de los métodos ya existentes.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1. Materiales:

Se utilizaron muestras de alambre de NiTi de calibre 0.018" (American Orthodontics®, Sheboygan, Wisconsin, EE. UU.) de 1cm cada una, obteniendo un total de 20 muestras.

8.2. Métodos:

8.2.1. Preparación de SBF

Se inicio con el pesaje de cada reactivo indicados en la tabla 4, en una báscula analítica de precisión (Modelo VE-204, Cylab; Torres, Torreón, México) seguido de esto en un vaso de precipitado sobre un agitador magnético se disolvieron uno a uno los componentes en orden según la tabla para evitar que precipitaran.

Tabla 4. Composición de SBF.

| COMPOSICIÓN | |
|--|----------|
| COMPONENTES | CANTIDAD |
| NaCl | 8.035 g |
| NaHCO ₃ | 0.355 g |
| KCl | 0.225 g |
| KH ₂ PO ₄ ·3H ₂ O | 0.231 g |
| MgCl ₂ ·6H ₂ O | 0.311 g |
| CaCl ₂ | 0.292 g |
| Na ₂ SO ₄ | 0.072 g |
| Tris | 6.118 g |
| HCl 1.0M | 39.00 ml |
| H ₂ O | 1000 ml |



Fig. 1. Pesaje de reactivos

Una vez disueltos se pusieron en agitación dentro de incubadora a una temperatura de 36.5°C hasta conseguir una mezcla homogénea. Se procedió a añadir la solución tampón tris indicada (6.188g), tras esta adición se ajustó el pH.



Fig 2. Ajuste de pH, vaso de precipitado en agitación dentro de incubadora.

Para dicho ajuste la disolución se calentó nuevamente hasta llegar a la temperatura de 36.5°C, una vez alcanzada dicha temperatura, se añadió en agitación la solución de ácido clorhídrico (HCl 1.0M, 39.00ml) hasta llegar a un pH de 7.4 final (la cantidad de HCl depende de la cantidad de cada sal y la concentración real de HCl ya que puede variar ligeramente y no ser 1.0M).

8.2.2. Incorporación de Nps/Ag

Una vez preparado el SBF se introdujeron las muestras en un contenedor con tapa, agregando el fluido y las nanopartículas de plata (Silver, nanopowder <150nm, 99%, Sigma-Aldrich®; Merck KGaA, Darmstadt, Germany) hasta cubrir por completo todas las muestras de alambre; se cerró el contenedor y se llevó a incubadora en modo estático de 1 a 2 semanas hasta lograr la evaporación total de la solución.



Fig 3. Contenedor con muestras en incubación estática.

8.2.3. Caracterización

Después de la evaporación total en incubación de la solución se procedió a la caracterización de las muestras con el recubrimiento de Nps/Ag por medio de microscopía electrónica de barrido, fuerza atómica, energía dispersiva de rayos X, espectroscopia de densidad de potencia(PSD), análisis de geometría, distribución de partículas, perfil de rugosidad y transformada rápida de Fourier (FFT).

9. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Para la selección de los alambres a recubrir se utilizaron arcos de ortodoncia que fueran utilizados para la fase de alineación y nivelación de los tratamientos de ortodoncia realizados en la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Chihuahua, los cuales fueran de aleación de níquel-titanio. Por lo que se seleccionó un arco de NiTi de calibre 0.018" de la marca American Orthodontics®, (Sheboygan, Wisconsin, EE. UU.) para la preparación de 20 muestras de 1cm cada una. Se seleccionó un arco que no hubiese sido manipulado por mano desnuda y se buscó que este fuera recién sacado del empaque.

10. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron todos aquellos alambres o arcos de ortodoncia que no fueran utilizados en la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Chihuahua o bien que estos no fueran de aleación níquel-titanio, por lo que los arcos de acero o TMA fueron descartados para este estudio. De igual forma se descartaron todos aquellos arcos que no cumplieran con el calibre o marca seleccionados, aquellos que hubiesen sido manipulados con la mano, alambres dañados o que presentaran empaques dañados o expuestos al sol.

11. VARIABLE DEPENDIENTE

Recubrimiento de nanopartículas de plata en suero corporal simulado.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

CHIHUAHUA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



12. VARIABLE INDEPENDIENTE

Arco de NiTi

13. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis estadístico del comportamiento de manera lineal mostrando la probabilidad de la velocidad de corrosión de los alambres NiTi. Se evaluó el nivel de corrosión en función de la exposición con las partículas de plata. Para ello se usó un nivel de significancia $=0.05$, se obtuvieron valores de p menores con lo cual se demuestra el alto grado de ensamble de nanopartículas de plata en los alambres NiTi como lo demuestran las micrografías de barrido, fuerza atómica, transformada rápida de Fourier, espectroscopia de potencia y análisis de geometría de superficie.

14. RESULTADOS

Se procedió a la caracterización de los recubrimientos obteniendo los siguientes resultados:

Caracterización de recubrimientos por SEM y EDS

Se realizó la caracterización de las muestras sin recubrimiento por medio de microscopía electrónica de barrido con el fin de analizar la morfología de estas; se obtuvo la imagen presente en la Figura 4, donde podemos observar la superficie del alambre de nickel-titanio sin recubrimiento donde se aprecia fracturas en la superficie del área 2 y cráteres en la superficie del área 1, por lo que presenta irregularidad evidente.

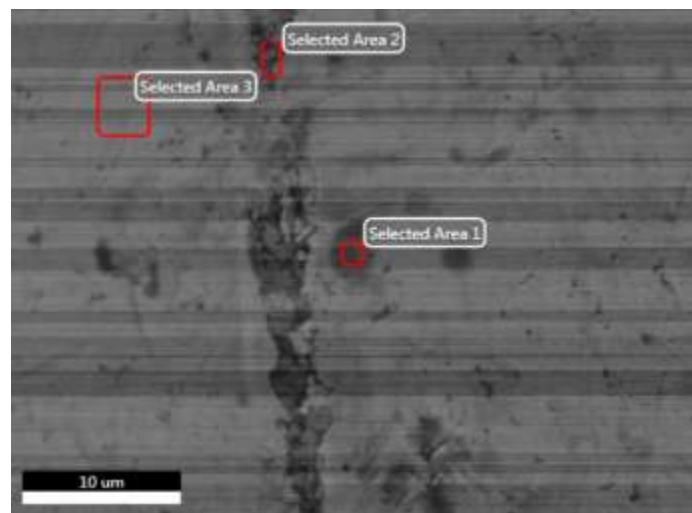
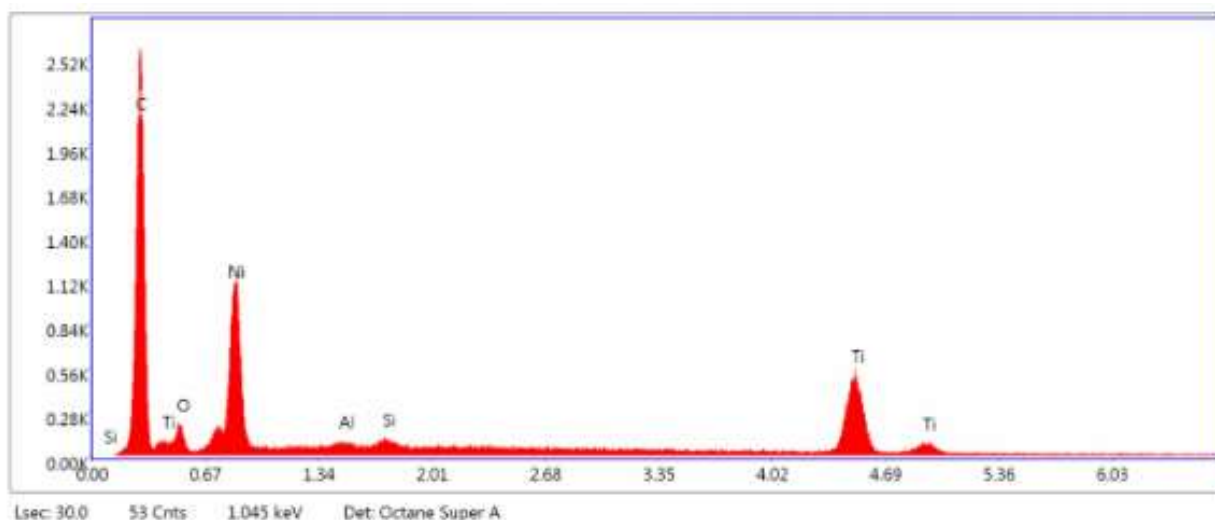


Fig 4. Imagen de SEM de alambre ortodóncico Niti sin recubrimiento, selección de 3 áreas de estudio.

De acuerdo al análisis de cuantificación de elementos químicos presentes en la muestra control, se encontró en mayores cantidades cobre (C), níquel (Ni), titanio (Ti) y en menores cantidades aluminio (Al) y silicio (Si) la presencia de estos compuestos puede deberse al posible manejo de producción de los alambres o al material del instrumento con el que se realizó el corte de los mismos.

Tabla 5. Análisis de cuantificación de elementos químicos presentes en la muestra control no sometida a procedimiento con SBF. Cobre 39,66%, Nickel 21,11% y Ti 34,78% del peso total como componentes principales de la aleación del alambre.



| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z | A | F |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| C K | 39.66 | 71.48 | 1013.02 | 7.69 | 0.2255 | 1.1918 | 0.4770 | 1.0000 |
| O K | 2.70 | 3.66 | 49.56 | 18.43 | 0.0066 | 1.1299 | 0.2148 | 1.0000 |
| NiL | 21.11 | 7.78 | 398.99 | 5.61 | 0.1335 | 0.8531 | 0.7410 | 1.0000 |
| AlK | 0.78 | 0.63 | 38.90 | 15.64 | 0.0058 | 0.9894 | 0.7484 | 1.0021 |
| SiK | 0.96 | 0.74 | 49.47 | 10.84 | 0.0081 | 1.0087 | 0.8321 | 1.0035 |
| TiK | 34.78 | 15.72 | 407.71 | 5.19 | 0.2983 | 0.8449 | 1.0023 | 1.0128 |

Posterior a esto se analizaron las muestras sometidas al método de recubrimiento utilizando SBF y por medio de esta misma microscopía (SEM), con lo cual se obtuvieron las siguientes imágenes y resultados

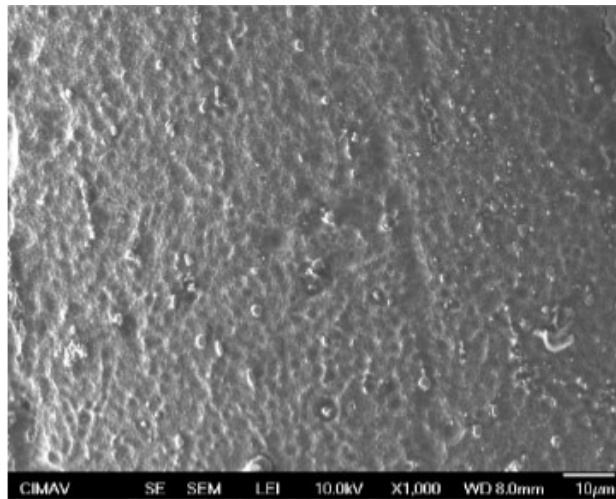


Fig 5. Imagen de EDS (X1,000) de alambre ortodóncico NiTi donde se confirma la presencia de recubrimiento homogéneo de NPAs del área seleccionada.

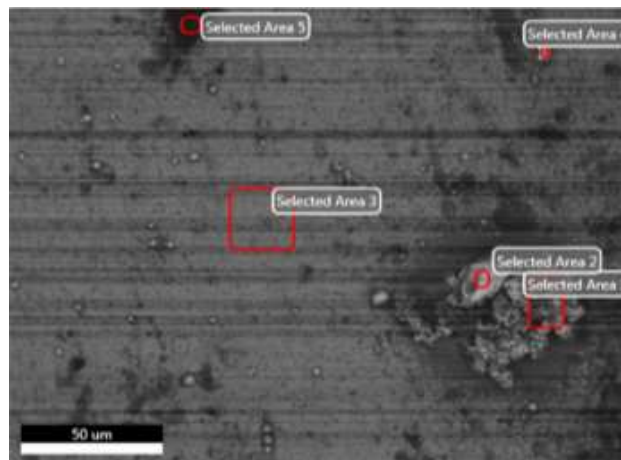


Fig 6. Imagen de SEM de alambre de ortodóncico NiTi donde se seleccionan 5 áreas de estudio para la valoración de la presencia de NPAs.

Se procedió a analizar y cuantificar los elementos químicos presentes en las muestras control y se plasmaron los resultados en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis de cuantificación de elementos químicos presentes en la muestra control sometida a procedimiento con SBF. Se aprecia la incorporación de diferentes componentes propios del recubrimiento y la presencia de plata (Ag) en un 52,30%.

| Element | Weight % | Atomic % | Net Int. | Error % | Kratio | Z | A | F |
|---------|----------|----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| CK | 2.94 | 10.17 | 30.74 | 18.35 | 0.0113 | 1.3997 | 0.2745 | 1.0000 |
| OK | 12.32 | 32.01 | 161.25 | 11.90 | 0.0352 | 1.3307 | 0.2147 | 1.0000 |
| NIL | 3.82 | 2.70 | 40.52 | 13.52 | 0.0224 | 1.0074 | 0.5818 | 1.0000 |
| NaK | 5.24 | 9.46 | 111.06 | 10.45 | 0.0292 | 1.2008 | 0.4631 | 1.0016 |
| AlK | 0.41 | 0.63 | 13.72 | 34.68 | 0.0034 | 1.1729 | 0.6969 | 1.0057 |
| SiK | 0.53 | 0.78 | 18.66 | 30.37 | 0.0050 | 1.1973 | 0.7873 | 1.0096 |
| CK | 15.20 | 17.82 | 348.25 | 4.82 | 0.1633 | 1.1129 | 0.9345 | 1.0329 |
| AgL | 52.30 | 20.14 | 475.58 | 5.01 | 0.4393 | 0.8426 | 0.9966 | 1.0002 |
| TiK | 7.24 | 6.28 | 56.99 | 14.66 | 0.0687 | 1.0212 | 0.9226 | 1.0069 |

La presencia del recubrimiento de Nps/Ag se examinó mediante el análisis de EDS y SEM. La Figura 5. Muestra la imagen de CDS del recubrimiento de NPAGs después de incubación a 36,5°C. La imagen CDS muestra las Nps/Ag sintetizadas de forma esférica, distribuidas de manera homogénea. Los resultados del análisis SEM concuerda con CDS. Figura 6. Muestra la imagen SEM y son seleccionadas las áreas para análisis de cuantificación de elementos químicos. Tanto el análisis EDS y SEM revelaron que la formación de recubrimiento de Nps/Ag por medio de SBF se completó con éxito.

Caracterización de recubrimientos por AFM

Después de estos análisis microscópicos se realizó la microscopía de fuerza atómica (AFM) para analizar la superficie de los alambres con recubrimiento y se obtuvieron las imágenes presentadas en la figura 7 y 8.

En la figura 7, se observa el recubrimiento de nanopartículas de plata en suero corporal simulado mediante microscopio de fuerza atómica. Se muestra la formación de estructuras en block y la distribución de las nanopartículas sobre la superficie, es importante destacar que también se formaron huecos definidos los cuales pueden deberse a la existencia de nanopartículas dentro de los block

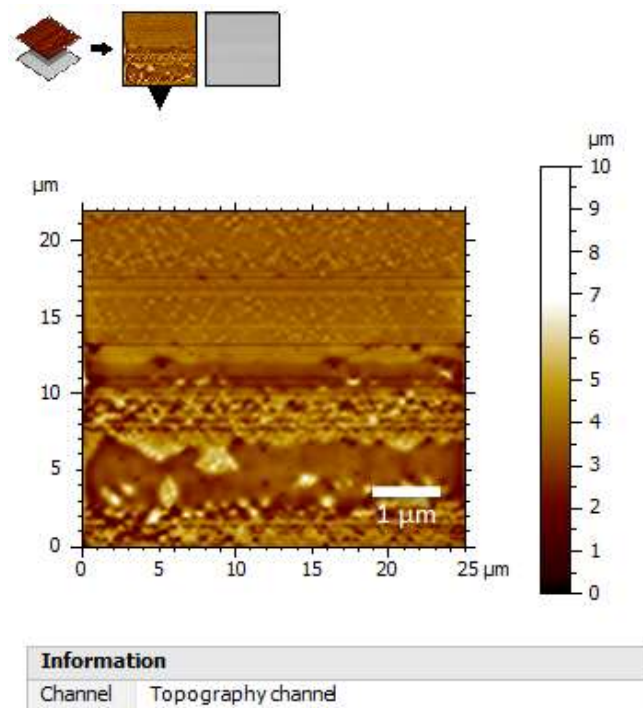


Fig 7. Recubrimiento de NPAs en SBF mediante microscopio de fuerza atómica.

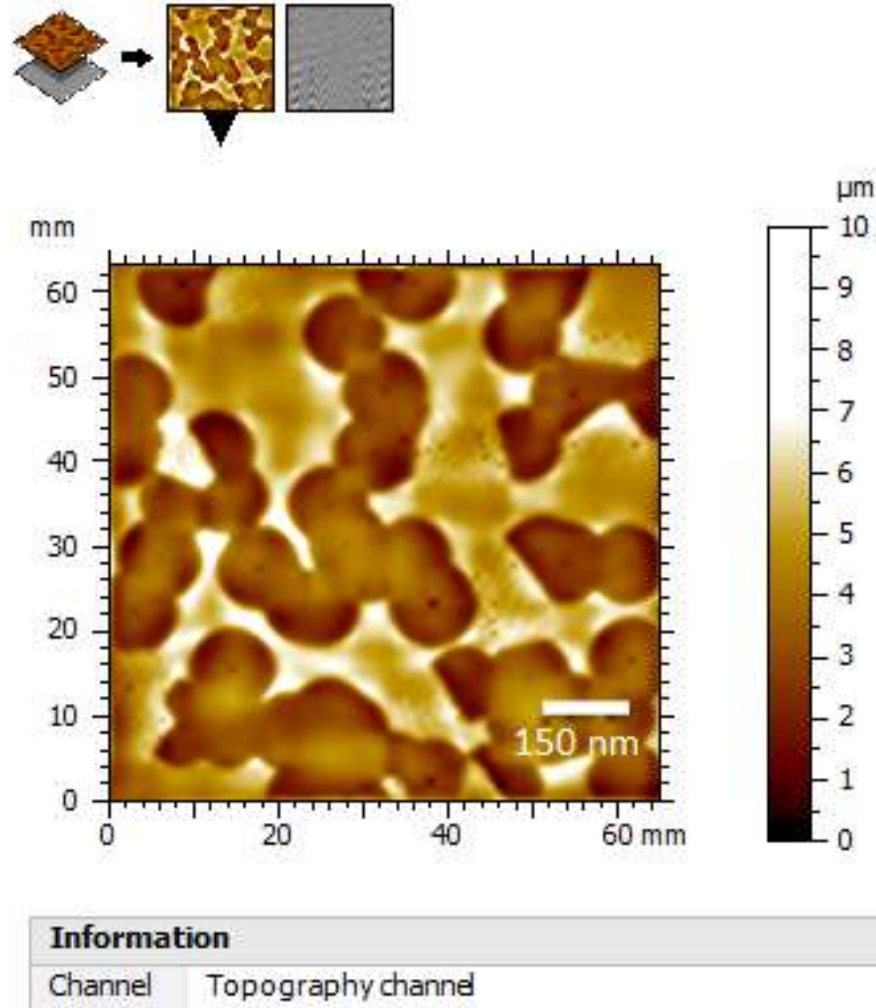


Fig 8. Acercamiento de las partículas presentes en el recubrimiento, microscopio de fuerza atómica.

La figura 8, muestra en microscopio de fuerza atómica, un acercamiento de las partículas presentes en el recubrimiento, se puede observar que algunas partículas se encuentran cubiertas por la matriz que compone el recubrimiento y otras que sobresalen de él.

La distribución del tamaño de partícula se muestra en la figura 9, se observan los rangos que se encuentran entre 50 y 150 nm respectivamente, sobresaliendo un tamaño de partícula de 120 nm de diámetro con una frecuencia del 18% aproximadamente. El tamaño de partícula se realizó por las mediciones del diámetro y número de partículas obtenidas en las imágenes de microscopio de fuerza atómica.

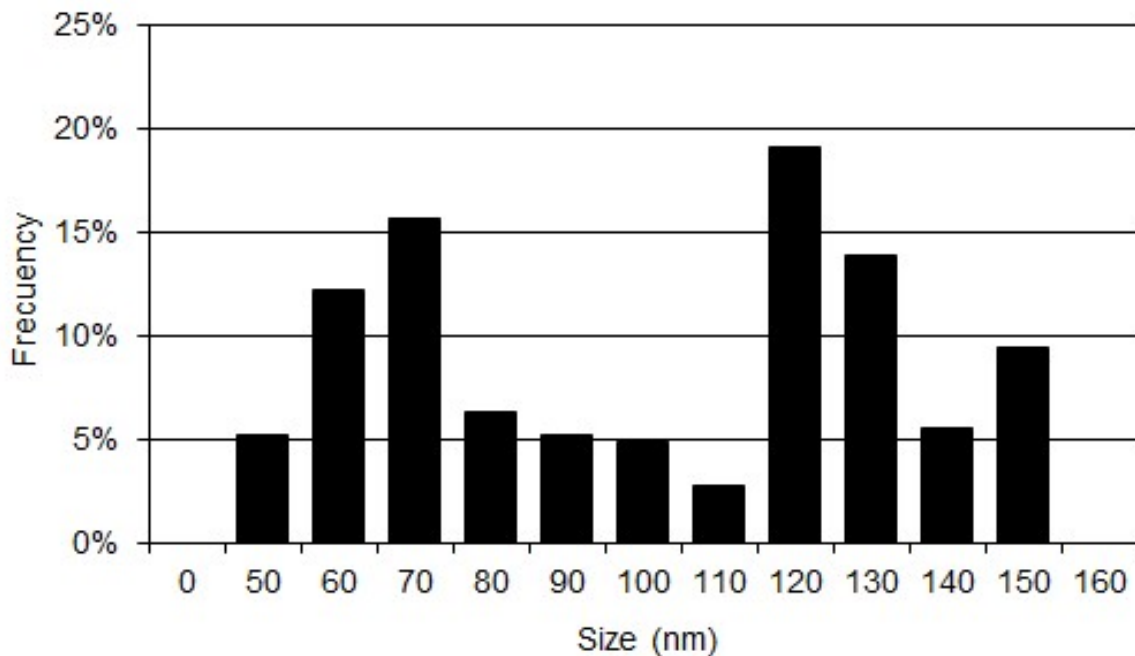


Fig 9. Distribución de tamaño de NPAGs

En la Figura 10 se muestra el análisis de la rugosidad del recubrimiento, se muestra el valor promedio de la profundidad máxima de los valles (R_m) con 0.001445 nm, un valor de rugosidad media aritmética (R_a) de 0.015 nm, que corresponde al promedio de las distancia a la línea media (además de que durante el proceso de formación del recubrimiento no se alteró) y un valor de la altura máxima del perfil (R_{max}) de 0,057 nm, que corresponde a la altura máxima de los picos y las profundidades de los valles.

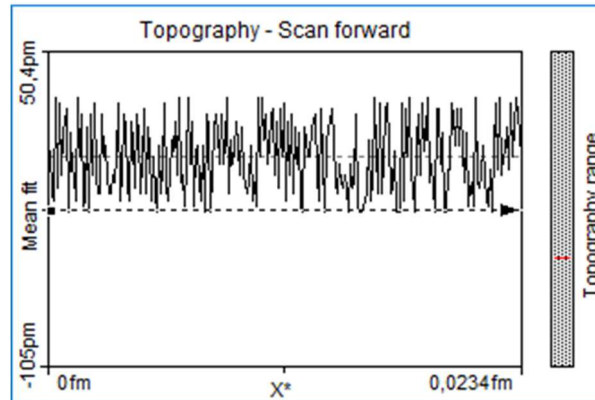


Fig 10. Perfil de rugosidad de los recubrimientos.

Caracterización de recubrimientos por FFT

La imagen de la figura 11 muestra el espectro de frecuencias de la transformada rápida de Fourier, que representa el patrón general de los recubrimientos con nanopartículas. Se aprecia la retención de las partes que representan una transición alta en sus niveles de intensidad. Se han extraído las secciones de los recubrimientos que representan los cambios bruscos en sus niveles de intensidad, es decir, altas frecuencias, provocados por las nanopartículas (puntos de luz). Por otro lado, las partes más atenuadas representan bajas frecuencias provocadas por el fluido corporal simulado.

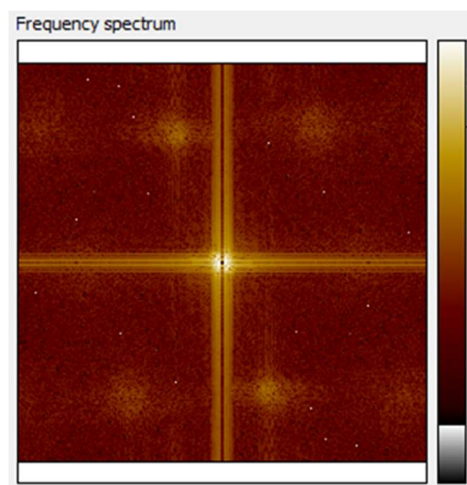


Fig 11 . Espectro de frecuencia de los recubrimientos.

Caracterización de recubrimientos por análisis de densidad espectral de potencia (PSD)

En la figura 12 se puede observar el análisis de densidad espectral de potencia (PSD) en la caracterización de la superficie de los recubrimientos con nanopartículas de plata, además del cuadrado absoluto del perfil de Fourier que contiene la información vertical y lateral de las características de la estructura de los recubrimientos. Estos datos representan propiedades funcionales de la humedad, así como la dispersión de la luz. La distribución de longitudes de onda de la energía dominante se muestra con un pico de 8,146 μm y una amplitud de 1,227 μm y una curva que desciende hasta unos 10 μm , seguida de dos picos en descenso para normalizar el ancho de frecuencia. Las señales de fuerza periódica están contenidas en los picos originados por la combinación de los componentes del fluido corporal simulado y las nanopartículas, el sistema propuesto en la formación de recubrimientos; juega un papel importante en la estabilización del ruido térmico causado por la agitación de los electrones en los arcos de NiTi.

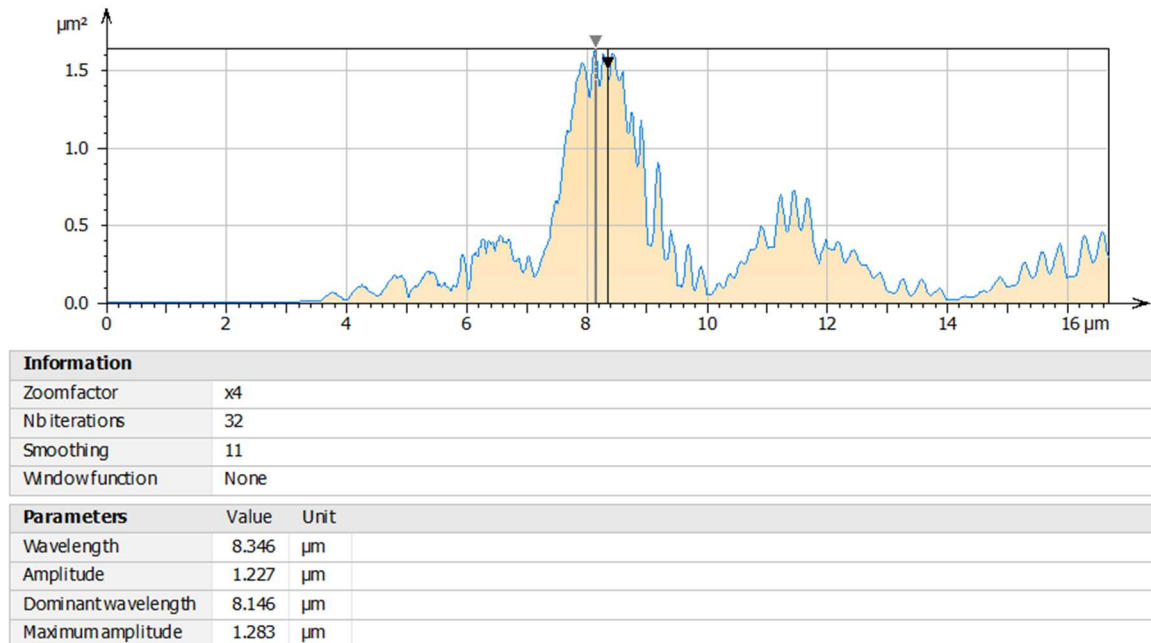


Fig 12. Análisis de densidad espectral de potencia (PSD)

Caracterización de recubrimientos por análisis de geometría superficial

La Figura 13 representa el análisis de la geometría superficial de los recubrimientos de fluidos corporales simulados con nanopartículas de plata. Muestra el perfil del análisis de la altura de paso de recubrimientos con picos en forma de curva. La estabilidad de la superficie del recubrimiento se debe a la estabilidad termodinámica del sistema propuesto, dada por las características isotrópicas del fluido corporal simulado, de esta forma la tensión superficial no genera ángulos perdidos en la forma del recubrimiento.

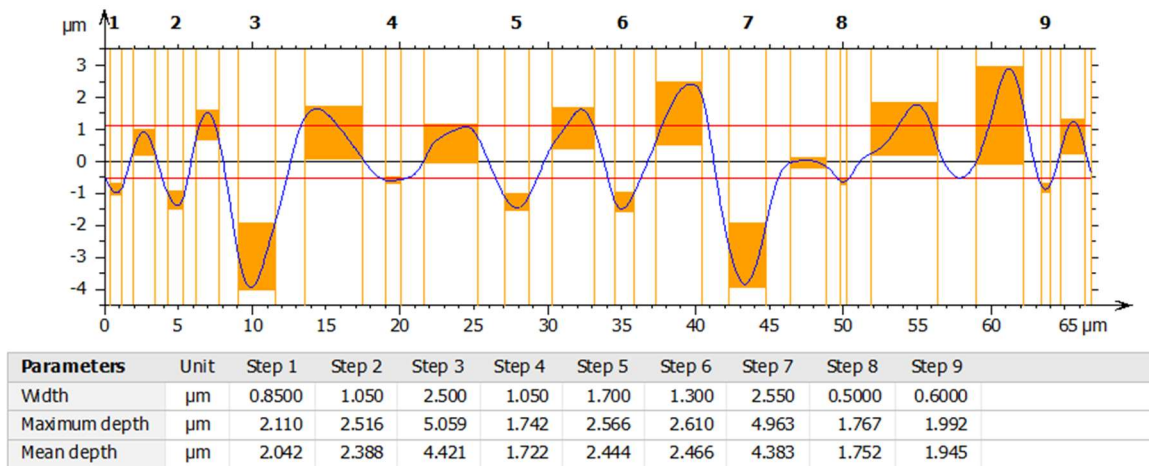


Fig 13. Análisis de la geometría superficial de los recubrimientos con nanopartículas de Ag.

15. DISCUSIÓN

De acuerdo con las caracterizaciones realizadas la síntesis de recubrimiento de nanopartículas de plata usando SBF resulta ser un método eficiente para realizar recubrimientos en alambres de ortodoncia de NiTi. Dentro de las técnicas utilizadas para analizar la morfología y tamaño de las nanopartículas, SEM dio información suficiente e importante para determinar la efectividad del procedimiento. *Mhaske, y cols*, indicaron que la generación de un recubrimiento realizado por medio de evaporación térmica el cual resulto ser homogéneo y con buena estabilidad, resultados obtenidos en el presente trabajo con el uso de SBF (56).

Otros estudios donde se utilizaron otros procedimientos refieren la posibilidad de formación de recubrimientos de nanopartículas de plata en arcos de ortodoncia, dentro de los que se destacan; el estudio de *Goncalves, y cols*, utilizaron el método de síntesis hidrotérmica para unir nanopartículas de plata a alambres de ortodoncia obteniendo como resultado un recubrimiento uniforme y sin cambios en las propiedades de los alambres (96). *Gil, y cols*, realizaron sus recubrimientos por medio de electrodeposición, obteniendo que las partículas se mantuvieran bien incrustadas en toda la superficie del alambre (97).

Según las imágenes obtenidas por medio de AFM la distribución del recubrimiento obtenido es uniforme, este procedimiento parece no tener efectos negativos de cambio estructural en la superficie del alambre sometido a este. *Meyer-Kobbe, y cols*, utilizaron la técnica de deposición de inmersión de plata, para realizar recubrimientos con iones de plata y de igual forma esta técnica represento estas ventajas (89), sin embargo se requieren un generador de corriente eléctrica para su realización, lo que lleva a nuestro método a ser más económico y fácil de realizar.

Es importante modificar la superficie de los diferentes elementos ortodóncicos para mejorar las características de los mismo y así impulsar el tratamiento a resultados más prometedores, donde la mecánica y la salud del paciente se vean beneficiados. *Espinosa, y cols*, demostraron que la utilización de nanopartículas de plata como recubrimientos en *brackets* y alambres de ortodoncia tienen la capacidad de inhibir la adhesión bacteriana y la capacidad de las bacterias *Streptococcus mutans* de crecer (98).

Los procedimientos para realizar recubrimientos se pueden utilizar en todos los elementos de la aparatología de ortodoncia, esto con el fin de obtener un recubrimiento uniforme y homogéneo que presente gran estabilidad, lograr estos efectos es posible mediante la evaporación al vacío tal como lo indicaron *Redlich y cols* (27); como pudimos observar en los resultados estos beneficios obtenidos por la evaporación al vacío pueden ser obtenidos con nuestro procedimiento, sin sacrificar el costo por la necesidad de una máquina de recubrimiento al vacío que supone un gasto elevado.

Los resultados demuestran además, que las nanopartículas inducen un proceso de fusión dentro de la solución al modificar la estructura supramolecular del fluido corporal simulado. Las nanopartículas permiten la miniaturización y la funcionalidad de los recubrimientos, permitiendo que los campos de fuerza entre moléculas sean óptimos para poder interactuar. Esta característica es la que permite a través de interacciones electrostáticas, en medio acuoso, que los compuestos de la solución del fluido corporal simulado, principalmente los cloruros utilizados como sustratos, y las nanopartículas de Ag, interactúen, finalmente, formando los recubrimientos y dando como resultado la modificación química de la superficie de los arcos de níquel-titanio, favoreciendo la adhesión de las nanopartículas. Otro aspecto a destacar es que no se encontraron rastros de apatita, este hecho es fuertemente confirmado por el análisis EDS, el cual demuestra que no existe bioactividad para formar apatita cuando se utiliza el fluido corporal simulado, lo que contrasta con varios eventos que han tenido ha sido confirmado en otros estudios.

Por lo tanto, se muestra el efecto de inhibición de las nanopartículas de plata en la solución de fluido corporal simulado.

Visnja, y cols, indicaron que los alambres de NiTi pierden su resistencia a la corrosión de manera importante al estar expuestos repetidamente a agentes remineralizantes y a el entorno salival, y como los recubrimientos pueden ayudar a evitar la corrosión ocasionada por este entorno(99). No se encontró evidencia de corrosión en los arcos de ortodoncia durante la inmersión de las partículas en el fluido corporal simulado debido a la inhibición enólica provocada por la interacción de las nanopartículas de plata. La inhibición enólica permite una mayor actividad de las nanopartículas para que no se formen biopelículas que puedan colonizar superficies biológicas y no biológicas provocando procesos corrosivos, el perfil de rugosidad mostrado evidencia que no existe superposición de capas que sugieran la formación de biopelículas sobre la superficie. superficie del revestimiento.

Asimismo, se puede controlar la distribución del tamaño de partícula cuando se realizan variaciones en la concentración de los reactivos del fluido corporal simulado, ya que es una solución coloidal que se deposita en la superficie de los arcos de NiTi, esto permite un control dentro del medio estabilizador que realizan las nanopartículas de plata una vez removidas por efecto de la temperatura.

La frecuencia en los niveles de intensidad, se determinaron mediante la transformada rápida de Fourier. El análisis FFT permite el estudio de aspectos cuantitativos y cualitativos como el diámetro, tamaño y funcionalidad del recubrimiento en relación con la longitud de onda de emisión de cada pico de fluorescencia, permitiendo una mayor absorción y adsorción, evitando así un deterioro progresivo de los arcos de NiTi. Este hecho está ligado a una oscilación de los electrones de las nanopartículas, lo que mejora el campo electromagnético del sistema, transmitiéndose a través de iones en el fluido corporal simulado, lo que aumenta el campo magnético con respecto a un ambiente en ausencia de nanopartículas.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE

CHIHUAHUA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



De igual manera, la eficacia de estabilización de la densidad espectral de potencia depende de varios factores. Las señales de fuerza periódica están contenidas en los picos originados por la combinación de los componentes del fluido corporal simulado y las nanopartículas, el sistema propuesto en la formación de recubrimientos; juega un papel importante en la estabilización del ruido térmico causado por la agitación de electrones en los arcos de NiTi. El objetivo del análisis psd fue mostrar los cambios de oscilación de las señales electromagnéticas altas y bajas que ocurren durante la interacción de las nanopartículas y el fluido corporal simulado, las señales encontradas determinan una excelente manera de lograr la caracterización de los recubrimientos que no se puede realizar a través de otras técnicas, así mismo, la activación de las frecuencias de señal se generan en todo el sistema una vez que las nanopartículas interactúan con el medio acuoso.

La estabilidad de la superficie del recubrimiento, se debe a la estabilidad termodinámica del sistema propuesto, dada por las características isotrópicas del fluido corporal simulado, de esta forma la tensión superficial no genera ángulos perdidos en forma de el recubrimiento. Adicionalmente, los aniones carboxilatos que se producen son neutralizados a bases dentro del sistema, lo que provoca que se genere sal y agua, este hecho no permite que el recubrimiento se degrade, evitando así la liberación de nanopartículas y dando inicio a un proceso de corrosión que puede alterar el propiedades fisicoquímicas de los arcos de NiTi.

16. CONCLUSIONES

En este estudio, informamos la síntesis de recubrimientos en fluidos corporales simulados en presencia de nanopartículas de plata en la superficie de arcos de níquel-titanio. El método propuesto demostró ser eficiente por la interacción electrostática de los cloruros presentes en el fluido corporal simulado y las nanopartículas de Ag. Los resultados obtenidos de los recubrimientos en presencia de nanopartículas de Ag, muestran una alta estabilidad y homogeneidad de la superficie utilizando como sustrato el fluido corporal simulado. Los valores de energía dominantes con un valor de $8.146 \mu\text{m}$ encontrados en el análisis de densidad espectral de potencia (PSD), resaltan la unión del fluido corporal simulado y el sistema de nanopartículas de plata. Los valores de rugosidad permiten conocer la evolución del sistema a escala iónica y atómica en presencia de nanopartículas de Ag inmersas en fluido corporal simulado sobre la superficie de los arcos de NiTi sin afectar la integridad estructural por medio de la corrosión. La actividad funcional de los recubrimientos en las características morfológicas y de tamaño fue confirmada por AFM y SEM, lo que sugiere aplicaciones importantes en materiales de ortodoncia, ciencia de materiales, biomateriales y nanotecnología.

17. BIBLIOGRAFÍA

1. Lasa I., Pozo J. L. del, Penadés J. R., Leiva J.. Biofilms bacterianos e infección. *Anales Sis San Navarra*. 2005; 28(2): 163-175.
2. Patel, Bhuamik, et al. "Advances in Nanocarriers for Drug Delivery in Dental Therapies." *Recent Progress in Materials*. 2021; 3(3): 6.
3. Dong, Yingshan, y Xuesong Sun. "Antibacterial Mechanism of Nanosilvers." *Current Pharmacology Reports*. 2019; 5(6): 401-409.
4. Abdallah, Mohamed-Nur, et al. "Biomaterials used in orthodontics: brackets, archwires, and clear aligners." *Advanced Dental Biomaterials*. Woodhead Publishing, 2019. 541-579.
5. Jasso-Ruiz, Irania, et al. "Silver nanoparticles in orthodontics, a new alternative in bacterial inhibition: in vitro study." *Progress in Orthodontics*. 2020;21(1): 1-2.
6. Ali Bf, Borzabadi E, Lynch E. Nanoparticles in ortodoncia, una revisión de las aplicaciones antimicrobianas y anticaries. *Acta Odontol Scand*. 2014; 72: 413 - 7.
7. Subramani, Karthikeyan, Usha Subbiah, y Sarandeep Huja. "Nanotechnology in orthodontics—1: The past, present, and a perspective of the future." *Nanobiomaterials in clinical dentistry*. Elsevier. 2019. 279-298.
8. Barot, Tejas, Deepak Rawtani, and Pratik Kulkarni. "Nanotechnology-based materials as emerging trends for dental applications." *Reviews on Advanced Materiales Óciense* .2021;60(1): 173-189.
9. Sattar, Tahir, et al. "Improved in vitro bioactivity and electrochemical behavior of hydroxyapatite-coated NiTi shape memory alloy." *Journal of materials science* . 2019; 54 (9): 7300-7306.
10. Abdallah, Mohamed-Nur, et al. "Biomaterials used in orthodontics: brackets, archwires, and clear aligners." *Advanced Dental Biomaterials*. Woodhead Publishing. 2019. 541-579.

11. Malik, Nidhi, et al. "A review of orthodontic archwires." *Journal of Orofacial Research*. 2015; 10(5): 6-11.
12. Brantley, William A. "Evolution, clinical applications, and prospects of nickel-titanium alloys for orthodontic purposes." *Journal of the World Federation of Orthodontists* .2020;9(3): S19-S26.
13. Srimaneepong, Viritpon, y col. "Corrosion resistance of graphene oxide/silver coatings on Ni–Ti alloy and expression of IL-6 and IL-8 in human oral fibroblasts." *Scientific Reports*.2020; 10(1): 1-12.
14. Katić, Višnja, et al. "Corrosion behavior of coated and uncoated nickel-titanium orthodontic wires in artificial saliva with short-term prophylactic fluoride treatment." *International Journal of Electrochemical Science* .2018;13(5): 4160-4170.
15. Perkowski, Konrad, et al. "Examination of oral biofilm microbiota in patients using fixed orthodontic appliances in order to prevent risk factors for health complications." *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* .2019;26 (2):231-235.
16. Redlich, Meir, y Reshef Tenne. "Nanoparticle coating of orthodontic appliances for friction reduction." *Nanobiomaterials in Clinical Dentistry*. Elsevier.2019. 309-331.
17. Jasso-Ruiz, Irania, et al. "Silver nanoparticles in orthodontics, a new alternative in bacterial inhibition: in vitro study." *Progress in Orthodontics* .2020;21 (1): 1-8.
18. Gomez, Danya Lizeth Soto, et al. "Streptococcus: An orthodontic point of view." *International Journal of Applied Dental Sciences* .2021;7(3): 237-241.
19. Ogawa, Celso M., et al. "In vivo assessment of the corrosion of nickel–titanium orthodontic archwires by using scanning electron microscopy and atomic force microscopy." *Microscopy Research and Technique*. 2020; 83(8): 928-936.

20. Mary, A. Christy Catherine, et al. "Corrosion behavior of orthodontic wires in artificial saliva with presence of beverage." *Nanotechnology in the Beverage Industry*. Elsevier, 2020. 471-504.
21. Shah, Priyanka K., Padmaja Sharma, and Santosh Kumar Goje. "Comparative evaluation of frictional resistance of silver-coated stainless steel wires with uncoated stainless steel wires: an in vitro study." *Contemporary Clinical Dentistry* .2018; 9 (2): S331-S336.
22. Tantiwinyupong, Natthalak, et al. "Frictional and Mechanical Properties of Surface Modified Nickel-Titanium Orthodontic Archwires." *Key Engineering Materials*. 2019; 801(39): 39-43.
23. Indumathi, P., et al. "The effect of various nanoparticle coating on the frictional resistance at orthodontic wire and bracket interface: A systematic review." *Journal of orthodontic science*.2022;11(1): 1-13.
24. Polke, Pritish, et al. "Comparative Evaluation of Biofilm Adhesion to Different Types of Archwire and Microbiological Colonization During Orthodontic Treatment." *Journal of Indian Orthodontic Society* .2021;55(2): 150-157.
25. Meyer-Kobbe, Viktoria, et al. "Comparison of intraoral biofilm reduction on silver-coated and silver ion-implanted stainless steel bracket material." *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie* .2019;80(1): 32-43.
26. Krishnamurthy, Shashikala, and Sandhya Vijayasathy. "Role of nanomaterials in clinical dentistry." *Nanobiomaterials in Dentistry*. William Andrew Publishing. 2016: 211-240.
27. Mosaddad, Seyed Ali, et al. "Oral microbial biofilms: an update." *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* .2019;38 (111): 1-15.
28. Mhaske, Arun Rameshwar, et al. "Antiadherent and antibacterial properties of stainless steel and NiTi orthodontic wires coated with silver against *Lactobacillus acidophilus*—an in vitro study." *Progress in orthodontics* .2015; 16(1): 1-6.

29. Oz, Aslihan Zeynep, y col. "Effectiveness of an antibacterial primer used with adhesive-coated brackets on enamel demineralization around brackets: an in vivo study." *Progress in Orthodontics*. 2019;20 (1): 1-7.
30. Sánchez-Tito, Marco, and Lidia-Yileng Tay. "Antibacterial and white spot lesions preventive effect of an orthodontic resin modified with silver-nanoparticles." *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* .2021;13(7): e685-91.
31. Espinosa-Cristóbal, León Francisco, et al. "Antiadherence and antimicrobial properties of silver nanoparticles against *Streptococcus mutans* on brackets and wires used for orthodontic treatments." *Journal of Nanomaterials* 2018: 1-11.
32. Kreve, Simone, and Andréa C. Dos Reis. "Bacterial adhesion to biomaterials: What regulates this attachment? A review." *Japanese Dental Science Review* .2021;57: 85-96.
33. Patel, Bhuamik, y col. "Advances in Nanocarriers for Drug Delivery in Dental Therapies." *Recent Progress in Materials* .2021; 3(3): 1-12.
34. Hepyukselen, Busra Guven, and Mine Gecgelen Cesur. "Comparison of the microbial flora from different orthodontic archwires using a cultivation method and PCR: A prospective study." *Orthodontics & Craniofacial Research* .2019;22 (4): 354-360.
35. Contaldo, Maria, et al. "The oral microbiota changes in orthodontic patients and effects on oral health: An overview." *Journal of Clinical Medicine* .2021;10(4): 1-13.
36. Lima, Kleist Christian Costa, et al. "Comparative analysis of microorganism adhesion on coated, partially coated, and uncoated orthodontic archwires: a prospective clinical study." *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* .2019;156(5): 611-616.
37. Butrón Téllez Girón, Claudia, et al. "Therapeutic use of silver nanoparticles in the prevention and arrest of dental caries." *Bioinorganic chemistry and applications*. 2020; 2020 (1): 1-7.

38. Saloom, Hayder F., Harraa S. Mohammed-Salih, and Shaymaa F. Rasheed. "The influence of different types of fixed orthodontic appliance on the growth and adherence of microorganisms (in vitro study)." *Journal of clinical and experimental dentistry* .2013;5(1): e30-e41.
39. Allaker, Robert P., and Zhiyu Yuan. "Nanoparticles and the control of oral biofilms." *Nanobiomaterials in clinical dentistry*. Elsevier.2019:243-275.
40. Noronha, Victor T., et al. "Silver nanoparticles in dentistry." *Dental Materials*. 2017; 33(10): 1-11.
41. Polke, Pritish, et al. "Comparative Evaluation of Biofilm Adhesion to Different Types of Archwire and Microbiological Colonization During Orthodontic Treatment." *Journal of Indian Orthodontic Society*.2021; 55(2): 150-157.
42. Soomro, Maqsood Ahmed, et al. "Adhesion of oral candida and bacteria on prosthodontic and orthodontic appliances." *J Pak Dent Assoc*.2012; 21 (4): 223-7.
43. Saloom, Hayder F., Harraa S. Mohammed-Salih, and Shaymaa F. Rasheed. "The influence of different types of fixed orthodontic appliance on the growth and adherence of microorganisms (in vitro study)." *Journal of clinical and experimental dentistry*.2013; 5(1): e36.
44. Sicard, L., et al. "Orthodontics and oral mucosal lesions in children and teenagers." *Journal of Dentofacial Anomalies and Orthodontics* .2018;21 (2): 1-13.
45. Kielan-Grabowska, Zofia, et al. "Improvement of Properties of Stainless Steel Orthodontic Archwire Using TiO₂: Ag Coating." *Symmetry* .2012;13(9): 1-12.
46. Botequim, D., et al. "Nanoparticles and surfaces presenting antifungal, antibacterial and antiviral properties." *Langmuir* .2012; 28(20): 7646-7656.
47. Govindankutty, Deepti. "Applications of nanotechnology in orthodontics and its future implications: A review." *Int J Appl Dent Sci*.2015; 1(4): 166-171.

48. Subramani, Karthikeyan, Usha Subbiah, and Sarandeep Huja. "Nanotechnology in orthodontics—1: The past, present, and a perspective of the future." *Nanobiomaterials in clinical dentistry*. Elsevier. 2019: 279-298.
49. Maheshwari, Sandhya, et al. "Nano-orthodontics revolutionizing oral health care." *Indian Journal of Oral Sciences* .2014; 5(3): 109.
50. Subramani, Karthikeyan, Usha Subbiah, and Sarandeep Huja. "Nanotechnology in orthodontics—1: The past, present, and a perspective of the future." *Nanobiomaterials in clinical dentistry*. Elsevier. 2019: 279-298.
51. Mok, Zi Hong, Gordon Proctor, and Maya Thanou. "Emerging nanomaterials for dental treatments." *Emerging topics in life sciences* . 2020 ;4(6): 613-625.
52. Nambi, Navaneetha, et al. "Renaissance in orthodontics: nanotechnology." *International Journal of Orthodontic Rehabilitation* .2016; 7(4): 139.
53. Baçela, Justyna, et al. "Functional coatings for orthodontic archwires—A review." *Materials* .2020; 13 (15): 3257.
54. Modi, Nikita, Ruhee Gupta, and Manas Borah. "Newer orthodontic archwires—a review." *International Journal of Applied Dental Sciences* .2020;6(4): 90-94.
55. Navarro-Suarez, S., et al. "Nanobiomaterials in dentistry." *Nanobiomaterials*. Woodhead Publishing. 2018. 297-318.
56. Lekhadia, Dhaval Ranjitbhai. "Nanotechnology in Orthodontics—Futuristic Approach." *Dental Applications of Nanotechnology*. Springer, Cham. 2018:155-175.
57. Gonçalves, Isabella Salgado, et al. "Antimicrobial orthodontic wires coated with silver nanoparticles." *Brazilian Archives of Biology and Technology*.2020; 63: 1-10.
58. Tahmasbi, Soodeh, et al. "A review on the applications of nanotechnology in orthodontics." *Nanomedicine Journal* .2019;6(1): 11-18.
59. Yin, Iris Xiaoxue, et al. "The antibacterial mechanism of silver nanoparticles and its application in dentistry." *International journal of nanomedicine*. 2020;15: 2555.

60. Allaker, Robert P., and Kaveh Memarzadeh. "Nanoparticles and the control of oral infections." *International journal of antimicrobial agents*. 2014; 43(2): 95-104.
61. Adam, Razia Z., and Saadika B. Khan. "Antimicrobial efficacy of silver nanoparticles against *Candida albicans*: A systematic review protocol." 2021; 16(1): 1-13.
62. Bai, Rushui, et al. "Metallic Antibacterial Surface Treatments of Dental and Orthopedic Materials." *Materials* .2020;13 (20): 4594.
63. Gil, F. Javier, et al. "New bactericide orthodontic archwire: NiTi with silver nanoparticles." *Metals* . 2020;10 (6): 702.
64. Burduşel, Alexandra-Cristina y col. "Biomedical applications of silver nanoparticles: an up-to-date overview." *Nanomaterials*. 2018;8(9): 2-25.
65. Agnihotri, Rupali, Sumit Gaur, and Sacharia Albin. "Nanometals in dentistry: Applications and toxicological implications—A systematic review." *Biological trace element research* .2020;197(1): 70-88.
66. Lee, Sang Hun, and Bong-Hyun Jun. "Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine." *International journal of molecular sciences* .2019;20(4): 1-24.
67. Sinha, Nehi, et al. "Nanodentistry: novel approaches." *Nanostructures for Oral Medicine*. Elsevier, 2017. 751-776.
68. Goderecci, Sarah S., et al. "Silver oxide coatings with high silver-ion elution rates and characterization of bactericidal activity." *Molecules*. 2017;22(9):1-15.
69. Tang, Shaoheng, and Jie Zheng. "Antibacterial activity of silver nanoparticles: structural effects." *Advanced healthcare materials* .2018; 7(13): 1-10.
70. Fernández, Clara Couto, et al. "Applications of silver nanoparticles in dentistry: advances and technological innovation." *International journal of molecular sciences* .2021;22(5): 11-21.
71. Bapat, Ranjeet A., et al. "The use of nanoparticles as biomaterials in dentistry." *Drug discovery today* .2019;24(1): 85-98.

72. Xu, Li, et al. "Silver nanoparticles: Synthesis, medical applications and biosafety." *Theranostics* . 2020;10(20): 8996-9031.
73. Wang, Qiyu, et al. "Therapeutic applications of antimicrobial silver-based biomaterials in dentistry." *International Journal of Nanomedicine*. 2022;17: 443-462.
74. Staroń, Anita, and Olga Długosz. "Antimicrobial properties of nanoparticles in the context of advantages and potential risks of their use." *Journal of Environmental Science and Health*. 2021;56(6): 680-693.
75. Liu, Chunhua, et al. "Antimicrobial nanomaterials against biofilms: an alternative strategy." *Environmental Reviews* .2017; 25.2 (2): 225-244.
76. Bapat, Ranjeet A., et al. "An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry." *Materials Science and Engineering*: .2018;91: 881-898.
77. Şuhani, Mihai Flaviu, et al. "Current perspectives regarding the application and incorporation of silver nanoparticles into dental biomaterials." *Clujul medical* .2018; 91(3): 274-279.
78. Jandt, Klaus D., and David C. Watts. "Nanotechnology in dentistry: Present and future perspectives on dental nanomaterials." *Dental Materials* .2020;36(11): 1-14.
79. Ahmad, Syed Anees, et al. "Bactericidal activity of silver nanoparticles: A mechanistic review." *Materials Science for Energy Technologies* .2020;3: 1-41.
80. Zbucea, Andrei, et al. "Recent advances and perspectives of silver nanotechnology in surgery and dentistry." *wounds* .2020;3(2): 37-45.
81. Jhanji, Kunal, and Sai Charan Pasupuleti. "Nanotechnology in Dentistry: A Review." 2022;4(4):1-6.
82. Kavitha, R., et al. "Nanotechnology-A Review on Application of Nanotechnology in Orthodontics." *International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Topics* .2022;3(1): 37-40.

83. S.Narayanan, C.Sabarigirinathan, Saurab Goel, K.Saidath, A.Siddharthan, Balashanmugam, D.Deepiha. MUTANS, NITI ARCHWIRES AGAINST S., and E. COLI. International Journal of Pharmacology Research.2019; 9(2):84-96.
84. Nanda, Madhurima, et al. "An overview of nanotechnological advances in orthodontics." Indian Journal of Dental Sciences .2021;13(3): 209-214.
85. Ahmed, Reem. "Effect of Arch-Wire Coating on Friction of Ceramic Bracket laboratory study." Dental Science Updates .2022;3(1): 25-31.
86. Khatria, Harjoy, et al. "Nano-orthodontics: small is the new big." EC Dental Science .2019;18(2): 233-239.
87. Shukur, Ishil. "Nanoparticles and their Potential affect as Antimicrobials in dentistry." International Journal of Medical, Pharmacy and Drug Research (IJMPD). 2021; 5(3): 37-46.
88. Arash, Valiollah, et al. "Evaluation of antibacterial effects of silver-coated stainless steel orthodontic brackets." Journal of Dentistry (Tehran, Iran) .2016;13 (1): 49.
89. Meyer-Kobbe, Viktoria, et al. "Comparison of intraoral biofilm reduction on silver-coated and silver ion-implanted stainless steel bracket material." Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie. 2019;80(1): 32-43.
90. He, Longwen, et al. "Biological effects, applications and strategies of nanomodification of dental metal surfaces." Materials & Design .2021;207: 1-19.
91. Prabha, Rahul Damodaran, et al. "Antibacterial nanosilver coated orthodontic bands with potential implications in dentistry." The Indian Journal of Medical Research.2016; 144(4): 580.
92. S.Narayanan, C.Sabarigirinathan, Saurab Goel, K.Saidath, A.Siddharthan, Balashanmugam, D.Deepiha. MUTANS, NITI ARCHWIRES AGAINST S., and E. COLI. International Journal of Pharmacology Research.2019; 9(2):84-96.
93. He, Longwen, et al. "Biological effects, applications and strategies of nanomodification of dental metal surfaces." Materials & Design .2021;207: 1-19.
94. Sharan, Jitendra, et al. "Applications of nanomaterials in dental science: A review." Journal of Nanoscience and Nanotechnology.2017;17(4): 2235-2255.

95. Cloutier, Maxime, Diego Mantovani, and Federico Rosei. "Antibacterial coatings: challenges, perspectives, and opportunities." *Trends in biotechnology*. 2015; 33(11): 637-652.
96. Gonçalves, Isabella Salgado, et al. "Antimicrobial orthodontic wires coated with silver nanoparticles." *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2020; 63: 1-10.
97. Gil, F. Javier, et al. "New bactericide orthodontic archwire: NiTi with silver nanoparticles." *Metals* . 2020;10 (6): 702.
98. Espinosa-Cristóbal, León Francisco, et al. "Antiadherence and antimicrobial properties of silver nanoparticles against *Streptococcus mutans* on brackets and wires used for orthodontic treatments." *Journal of Nanomaterials* 2018: 1-11.