

**Cambios topográficos y estructurales en la desinfección de los conos de gutapercha, un estudio Cuasiexperimental in vitro**

**Felipe Menses Tamayo, Juan Esteban Martínez Gómez, Sindy Paola Bustos Villalba**

**Trabajo de grado para optar el título de Endodoncista**

**Director**

**Hernán Becerra Buitrago**

**Especialista en Endodoncia**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias de la Salud**

**Especialización en Endodoncia**

**2024**

### **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a Dios por su infinita sabiduría y amor, que nos han guiado a lo largo de este camino. Su luz ha sido nuestra fortaleza en los momentos difíciles y su gracia nos ha permitido alcanzar nuestras metas.

A nuestra familia, que ha sido nuestro mayor apoyo: gracias por su amor incondicional, por creer en nosotros y por estar siempre a nuestro lado en cada paso de este proceso. Su aliento y comprensión nos han dado la fuerza para perseverar y seguir adelante.

Este trabajo es un reflejo de sus sacrificios y de la educación que nos han brindado y a ellos les debemos nuestro éxito.

### **Agradecimientos**

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo.

Agradecemos al Dr. Hernán Becerra por su constante apoyo, motivación y orientación a lo largo de este proceso. Su experiencia ha sido invaluable para el desarrollo de nuestra investigación.

A Luis Fernando Giraldo y Carlos Mario Chaparro, por su colaboración en la recopilación de datos y su ayuda en la elaboración de tablas e ilustraciones que enriquecieron significativamente nuestro trabajo.

A Dayana Meza Terraza, por sus valiosas sugerencias que facilitaron la interpretación de los resultados. A la Dra. Diana Yecedt Parra Galvis y al Dr. Óscar Mauricio Jiménez Peña, por su cuidadosa revisión y corrección del trabajo, que contribuyó a elevar su calidad.

Finalmente, extendemos nuestro agradecimiento a la Universidad Santo Tomás y a la Universidad de Antioquia por proporcionar un entorno académico enriquecedor y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación con éxito.

## Contenido

1. Introducción.....	11
2. Cambios topográficos y estructurales en la desinfección de los conos de gutapercha, un estudio Cuasiexperimental in vitro.....	12
2.1 Planteamiento del problema.....	12
2.2 Justificación.....	15
2.3 Objetivos .....	16
2.3.1 Objetivo general .....	16
2.3.2 Objetivos específicos.....	17
3. Marco referencial.....	17
3.1 Marco teórico .....	17
3.2 Marco conceptual .....	20
3.2.1 Gutapercha.....	20
3.2.2 Fabricación gutapercha.....	22
3.2.3 Wave One Gold ® .....	34
3.2.4 Reciproc VDW ® .....	35
3.2.5 El microscopio de barrido electrónico (SEM).....	36
3.2.6 Espectroscopio infrarojo transformadas de Fourier (FTIR) .....	37
3.2.7 Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS).....	37
4. Método.....	38
4.1 Tipo de estudio .....	38
4.2 Selección y descripción de participantes población.....	39
4.2.1 Población de estudio.....	39
4.2.2 Muestra y tipo de muestreo .....	39

4.2.3 Variables.....	40
4.2.4 Instrumento.....	42
4.2.5 Procedimientos paso a paso.....	43
4.2.6 Plan de análisis estadístico .....	46
4.2.7 Implicaciones bioéticas.....	46
5. Resultados.....	47
5.1 Análisis de peso.....	47
5.2 Composición orgánica de los conos de gutapercha (FTIR) .....	47
5.3 Composición inorgánica de los conos de gutapercha con microscopía electrónica de barrido (SEM).....	51
5.4 Cambios químicos de los conos de gutapercha en los componentes inorgánicos (EDS) con mapeo de color .....	54
6. Discusión.....	57
7. Conclusiones.....	61
Referencias.....	62

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Variables de la investigación</i> .....	40
<b>Tabla 2.</b> <i>Características de los conos de gutapercha, métodos de desinfección utilizados y cambios topográficos</i> .....	42

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b> <i>La fase alfa en su estructura que tiene una disposición molecular más ordenada.....</i>	24
<b>Figura 2.</b> <i>La gutapercha en fase beta en su estructura tiene una disposición molecular menos ordenada .....</i>	24
<b>Figura 3.</b> <i>Mecanismo de acción de la clorhexidina .....</i>	32
<b>Figura 4.</b> <i>Estructura de la gutapercha.....</i>	44
<b>Figura 5.</b> <i>Peso Conos Wave One Primary .....</i>	48
<b>Figura 6.</b> <i>Peso Conos Reciproc 25.....</i>	49
<b>Figura 7.</b> <i>Conos Wave One Primary, donde se observan los grupos funcionales con sus diferentes bandas de absorción. A: Grupo hidroxilo (OH) - longitud de onda en <math>3617\text{ cm}^{-1}</math>; B: Grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) y metileno (-CH<sub>2</sub>) - longitud de onda en el rango de <math>2961\text{-}2800\text{ cm}^{-1}</math>; C: Grupo carbonilo (C=O) - longitud de onda en <math>1723\text{ cm}^{-1}</math>; D: Enlaces C-O y C-C en polímeros - longitud de onda en el rango de <math>1101\text{-}1035\text{ cm}^{-1}</math>. .....</i>	50
<b>Figura 8.</b> <i>Conos Reciproc 25, donde se observan los grupos funcionales con sus diferentes bandas de absorción. A: Grupo hidroxilo (OH) - longitud de onda en <math>3617\text{ cm}^{-1}</math>; B: Grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) y metileno (-CH<sub>2</sub>) - longitud de onda en el rango de <math>2961\text{-}2800\text{ cm}^{-1}</math>; C: Grupo carbonilo (C=O) - longitud de onda en <math>1723\text{ cm}^{-1}</math>; D: Enlaces C-O y C-C en polímeros - longitud de onda en el rango de <math>1101\text{-}1035\text{ cm}^{-1}</math>. .....</i>	51
<b>Figura 9.</b> <i>Cristal de Clorina Hipoclorito de sodio 5.25% Conos Wave One Primary .....</i>	52
<b>Figura 10.</b> <i>Cristal de Carbono Clorhexidina 2% Conos Reciproc 25.....</i>	53
<b>Figura 11.</b> <i>Wave One Primary con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).....</i>	53
<b>Figura 12.</b> <i>Reciproc 25 con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) .....</i>	54
<b>Figura 13.</b> <i>Conos Wave One Primary espectroscopía de energía dispersa de rayos X (EDS) ...</i>	55

**Figura 14.** *Reciproc 25 Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS)*..... 56

**Figura 15.** *Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS)* ..... 56

### Resumen

La gutapercha es el material ideal en endodoncia por su compatibilidad y capacidad de sellado. Sin embargo, su manipulación presenta riesgos de contaminación cruzada, lo que hace crucial la desinfección química, ya que no puede esterilizarse por calor. Algunas soluciones pueden alterar la estructura de los conos de gutapercha, comprometiendo el éxito del tratamiento. *Objetivo:* Este estudio identificó los cambios topográficos y estructurales en conos de gutapercha tras su desinfección con soluciones de hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2% durante un minuto, utilizando FTIR, SEM y EDS. *Método:* Se evaluaron los efectos de la desinfección en 18 conos de gutapercha Wave One Gold Primary (Dentsply Maillefer(r)) de tamaño 25-07 y Reciproc 25 (VDW(r)) de tamaño 25-08, mediante análisis de SEM, EDS y FTIR para observar cambios topográficos y estructurales. *Resultados:* No hubo cambios significativos en el peso de los conos tras la desinfección, pero el análisis FTIR mostró que la composición química orgánica se mantuvo sin alteraciones. A través de SEM se observaron cambios topográficos importantes, y el EDS reveló modificaciones en los porcentajes de elementos como bario, zinc y carbono. *Conclusiones:* La desinfección con hipoclorito de sodio y clorhexidina no altera la composición orgánica de los conos de gutapercha, pero sí provoca daño en los componentes inorgánicos. El hipoclorito es un potente agente oxidante, mientras que la clorhexidina es menos corrosiva.

*Palabras clave:* polímero, desinfección, alteraciones estructurales, espectroscopía infrarroja de Fourier (FTIR), microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopía de energía dispersiva de rayos X (EDS).

### Abstract

Gutta-percha is the ideal material in endodontics due to its compatibility and sealing ability but its handling presents risks of cross-contamination. Chemical disinfection is crucial as it cannot be sterilized by heat and certain solutions may alter the structure of gutta-percha cones, potentially compromising the success of the treatment. *Objective:* The objective of the research was to identify the topographical and structural changes in gutta-percha cones after disinfection with sodium hypochlorite at 5.25% and chlorhexidine at 2% for one minute, using FTIR, SEM, and EDS. *Method:* The study evaluated the effects of disinfection on 18 gutta-percha cones from two brands, using sodium hypochlorite at 5.25% and chlorhexidine at 2%, through SEM, EDS, and FTIR analysis to observe topographical and structural changes. *Results:* There were no significant changes in the weight of the gutta-percha cones after disinfection with sodium hypochlorite at 5.25% and chlorhexidine at 2%. However, FTIR analysis showed that the organic chemical composition of the cones remained unchanged. SEM revealed significant topographical changes, and EDS indicated changes in the percentages of elements such as barium, zinc, and carbon. *Conclusions:* Disinfection with sodium hypochlorite and chlorhexidine does not alter the organic composition of gutta-percha cones but does cause damage to the inorganic components. Sodium hypochlorite is a potent oxidizing agent, while chlorhexidine is less corrosive.

*Keywords:* polymer, disinfection, structural alterations, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS).

## 1. Introducción

El tratamiento endodóntico es fundamental, ya que se enfoca en abordar el sistema de conductos radiculares cuando se ve afectado a nivel tisular del órgano dentino-pulpar. Este tipo de daño puede ser causado por una variedad de factores, incluyendo la caries, traumas, hábitos parafuncionales y procedimientos iatrogénicos. Cuando se diagnostica una patología en el órgano dentino-pulpar, es esencial llevar a cabo una desinfección químico-mecánica de los conductos radiculares.

Una vez desinfectados, se procede a realizar la obturación de los canales radiculares, logrando un sellado tridimensional utilizando un material termoplástico y un cemento sellador. La elección y el empleo de un material adecuado en el tratamiento endodóntico son de suma importancia. Uno de los materiales más comúnmente utilizados para este propósito es la gutapercha, un material termoplástico con componentes orgánicos e inorgánicos que mejoran sus propiedades (Sahinkesen, 2011; Topuz, 2011).

La gutapercha se produce en forma de conos que son empacados para su venta comercial. Sin embargo, al desempacar estos conos de su recipiente original, existe el riesgo de contaminación por microorganismos, aerosoles y otros agentes presentes en el entorno clínico. Esto puede dar lugar a una contaminación cruzada al introducir los conos en el conducto radicular, lo que a su vez puede conducir al fracaso del tratamiento endodóntico. Además, es importante destacar que los conos deben desinfectarse mediante soluciones químicas acuosas y no mediante calor, debido a sus propiedades físicas termoplásticas (Pang, 2007).

Sin embargo, algunas soluciones químicas pueden ser oxidantes o dejar residuos en la superficie de los conos, creando espacios propicios para albergar microorganismos o reduciendo la uniformidad del sellado, lo que podría disminuir la tasa de éxito del tratamiento. Es por este

motivo que se ha llevado a cabo el presente estudio con el fin de evaluar los cambios topográficos y estructurales de los conos de gutapercha al ser sometidos a la desinfección con soluciones químicas tales como el hipoclorito de sodio al 5.25% y la clorhexidina al 2%.

## **2. Cambios topográficos y estructurales en la desinfección de los conos de gutapercha, un estudio Cuasiexperimental in vitro**

### **2.1 Planteamiento del problema**

El objetivo del tratamiento endodóntico es desinfectar y preparar el sistema de conductos radiculares, seguido de la obturación, con el propósito de promover la cicatrización de los tejidos periapicales (Stewart, 1955; Carvalho, 2015). Dado que el tejido pulpar está principalmente compuesto por tejido blando que incluye vénulas, arteriolas, nervios y tejido linfático, su contaminación por microorganismos puede dar lugar a una patología pulpar (Grecca, 2010).

Los tratamientos de conductos y las bacterias están estrechamente relacionados, y es crucial seguir un protocolo de limpieza y desinfección con técnicas asépticas del sistema de conductos radiculares (Topuz, 2011). La desinfección adecuada de estos conductos es esencial para el éxito del tratamiento endodóntico, ya que elimina los microorganismos patógenos que pueden causar infecciones y dolor. Posteriormente, se debe realizar la obturación, siendo la gutapercha un material fundamental en este proceso debido a sus propiedades únicas y su compatibilidad con los tejidos dentales.

Sin embargo, es importante destacar que los conos de gutapercha pueden contaminarse cuando se exponen al ambiente exterior (Linke, 1983; Short, 2003). Se ha demostrado que estos conos, una vez retirados de su empaque original, pueden verse expuestos a diversos

microorganismos ambientales. Si estos conos contaminados se utilizan para realizar la obturación del conducto radicular sin una previa desinfección adecuada, se rompe la asepsia del tratamiento endodóntico (Short, 2003).

Debido a sus propiedades físicas, los conos de gutapercha no pueden ser esterilizados de manera convencional utilizando la autoclave y otras técnicas de calor. Esto se debe a que la gutapercha es un material termoplástico que es propenso a la deformación y alteración de su estructura cuando se somete a altas temperaturas (Gomes, 2007; Vitali, 2019).

En contexto, se destaca que, a pesar de las ventajas que ofrece la desinfección en frío como una alternativa viable, existen inquietudes respecto a los posibles efectos negativos que este proceso podría tener en los conos de gutapercha, tales como la precipitación de cristales de clorina, la pérdida de rigidez en los conos, la rugosidad, la presencia de microporosidades, las alteraciones superficiales y la pérdida de continuidad. Por esta razón, se interrumpe la uniformidad del cono, generando alteraciones irreversibles en su forma y aumentando su elasticidad, lo que afectaría el sello tridimensional, observándose una posible pérdida de componentes de los conos, lo que crea espacios y retenciones en su estructura que podrían servir como reservorio para microorganismos (Moller y Ostarvik, 1985; Short, 2003; Grecca, 2010; Tilakchand, 2014, p. 1).

Por lo tanto, varios estudios han demostrado los efectos de diversas soluciones de desinfección en los conos de gutapercha utilizados en endodoncia. Tales como: Grecca (2010) realizó un estudio que reveló que los conos expuestos a hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2% presentaron alteraciones e irregularidades en su superficie en comparación con los conos que no fueron desinfectados. En particular, se destacó que el hipoclorito de sodio se identificó como la solución más agresiva en términos de alterar la superficie de los conos.

Vitali (2019) investigó los efectos de la desinfección con hipoclorito de sodio al 1% y al 5.25%. Se observó que al desinfectar los conos de gutapercha con hipoclorito de sodio al 1% durante un minuto, se evidenció la precipitación de cristales en las irregularidades de los conos de gutapercha. Esto también ocurrió con una concentración del 5.25%. Estos hallazgos sugieren que, incluso en concentraciones más bajas, el hipoclorito de sodio puede tener un impacto negativo en la estructura de los conos de gutapercha.

Por otro lado, Gomes (2013) encontró que sumergir los conos en clorhexidina resultó ser menos agresivo que el hipoclorito de sodio. Se observó que los conos, al ser sumergidos en estas soluciones, aumentaron su humectabilidad, lo que podría interferir con el mecanismo de adhesión.

La importancia de tomar precauciones adecuadas durante el proceso de desinfección de los conos de gutapercha radica en garantizar la efectividad del tratamiento endodóntico. Deben manejarse con cautela porque pueden generar cambios estructurales y la creación de espacios, lo que podría llevar al fracaso del procedimiento, ya que los conos de gutapercha se utilizan para sellar los conductos radiculares y evitar la reinfección. Si no se desinfectan adecuadamente, podrían surgir cambios estructurales que incluyen la pérdida de rigidez, discontinuidades en la estructura y la formación de irregularidades en su superficie, con porosidades que permiten la entrada de microorganismos. En resumen, aunque la desinfección en frío es una opción valiosa, es esencial realizarla de manera meticulosa y cuidadosa para garantizar la preservación de la integridad de los conos de gutapercha y el éxito del tratamiento.

*Pregunta problema:* ¿Cuáles son los cambios que generan las soluciones desinfectantes de hipoclorito de sodio al 5.25% y de clorhexidina al 0.2% en la topografía y estructura de los conos de gutapercha, previo a la obturación del conducto radicular?

## 2.2 Justificación

En lugar de la esterilización por calor, que afecta las propiedades físicas de los conos de gutapercha, haciéndolos susceptibles a cambios en su arquitectura y modificaciones en su superficie cuando se exponen a temperaturas elevadas, se sugiere sumergirlos en soluciones desinfectantes, las cuales pueden dejar residuos químicos o promover cambios superficiales en su estructura (Pang, 2007; Grecca, 2010).

Según la revisión de la literatura, se ha determinado que las soluciones químicas, como el hipoclorito de sodio en diversas concentraciones (1%, 2.25% y 5.25%), pueden generar alteraciones en los conos de gutapercha por ser altamente oxidantes. Además, pueden formar cristales de clorina, por lo que es necesario realizar un enjuague final con agua para eliminarlos de la superficie del material, ya que estos generan la pérdida de los componentes por el agente oxidante, afectando la rigidez, flexibilidad y adhesión. La clorhexidina al 0.12% también está indicada para llevar a cabo la desinfección de los conos de gutapercha, eliminando algunas esporas (Pang, 2007).

Aunque los conos de gutapercha poseen propiedades antimicrobianas inherentes gracias al óxido de zinc, que permite resistir la proliferación de microorganismos en su forma original, es crucial mantener condiciones asépticas durante todo el procedimiento del tratamiento endodóntico. La contaminación de los conos de gutapercha por exposición al ambiente puede comprometer la eficacia del tratamiento, por lo que la desinfección adecuada de los conos es esencial para mantener el éxito de la endodoncia (Moorer y Genet, 1982).

Dentro de los agentes desinfectantes más comúnmente utilizados en el entorno clínico para la descontaminación de los conos de gutapercha, se encuentran el hipoclorito de sodio al 5.25% y la clorhexidina al 0.12% (Valois, 2005).

Se debe tener en cuenta el análisis exhaustivo de la desinfección de los conos de gutapercha como una necesidad ineludible en el ámbito de la endodoncia, con el fin de establecer un protocolo sólido respaldado por evidencia científica. Este protocolo no solo persigue la optimización de la práctica clínica, sino que también se orienta hacia la garantía de un tratamiento endodóntico seguro y exitoso para los pacientes.

El presente estudio tiene como propósito comprender los potenciales efectos de las soluciones desinfectantes en los conos de gutapercha. Su finalidad radica en mejorar la calidad de los procedimientos endodónticos, minimizando los cambios superficiales y estructurales de los conos de gutapercha que podrían derivar en fallas adhesivas y reinfecciones del conducto radicular. Además, se pretende evitar la necesidad de retratamientos por posible contaminación de estos.

También busca proporcionar un protocolo de desinfección ideal que no solo fortalezca la eficacia de los procedimientos endodónticos, sino que también resguarde la salud y el bienestar de los pacientes. El conocimiento adquirido a través de esta investigación será fundamental para avanzar hacia una práctica clínica más segura y eficiente en el campo de la endodoncia.

## **2.3 Objetivos**

### ***2.3.1 Objetivo general***

Identificar los cambios topográficos y estructurales en los conos de gutapercha después de su desinfección con soluciones de hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2% durante un minuto, utilizando espectroscopia infrarroja de transformadas de Fourier (FTIR), el microscopio electrónico de barrido (SEM) y la espectroscopía de energía dispersa de rayos X (EDS).

### **2.3.2 *Objetivos específicos***

Describir los cambios en la composición orgánica de los conos de gutapercha sumergidos en hipoclorito al 5.25% y clorhexidina al 2% por medio por Infrarrojo Perkin Elmer FTIR

Observar la presencia de cristales, microporosidades, pérdida de continuidad y cambios de forma medidos en longitud y diámetro, por medio de microscopía electrónica de barrido (SEM) en los conos de gutapercha sumergidos en hipoclorito de sodio al 5.25% y en clorhexidina al 0.2% durante un minuto.

Comparar los cambios topográficos de los conos de gutapercha sumergidos en hipoclorito de sodio al 5.25%, frente a los sumergidos en clorhexidina al 0.12%.

## **3. Marco referencial**

### **3.1 Marco teórico**

Gomes (2007), Grecca (2010) y Vitali (2019) indican que, una vez que se ha completado la desinfección, es necesario realizar la obturación del espacio del conducto radicular con un material que cumpla varios criterios importantes: debe ser biocompatible, radiopaco, estable y termoplástico. La gutapercha es el material más utilizado en endodoncia debido a su capacidad para cumplir con estos requisitos. A pesar de que los conos de gutapercha son manufacturados en condiciones asépticas, es relevante señalar que pueden verse expuestos a potenciales fuentes de contaminación durante su manipulación, almacenamiento y exposición a aerosoles.

Gomes et ál. (2005), Mishra y Tyagi (2018) concluyen que los conos de gutapercha se presentan inicialmente estériles en su empaque sellado al momento de su almacenamiento. Sin embargo, se ha evidenciado que estos conos pueden contaminarse con facilidad durante su

manipulación, lo que da importancia a llevar a cabo procedimientos de desinfección antes de su uso, ya que se reveló que el 100% de los conos de gutapercha que fueron manipulados con guantes mostraron un crecimiento microbiano durante el proceso de obturación del conducto radicular debido a una contaminación cruzada. Se encontraron cepas bacterianas aisladas, principalmente *Streptococcus epidermidis* en el 93.3% de los casos y *Propionibacterium acnes* en el 33.3%.

Niazi (2016) confirmó la presencia de microorganismos en los guantes utilizados durante las etapas del tratamiento endodóntico. En su investigación, se observó que la tasa de prevalencia de microorganismos en los guantes incluyó *Streptococcus epidermidis* y *Propionibacterium acnes* en el 100% de los casos; *Streptococcus caprae* en el 87.5%; *Kocuria sp.*, *Streptococcus mitis* y *Streptococcus oralis* en el 75%; *Corynebacterium urealyticum* y *S. infantis* en el 62%; y *Actynomices naeslundii*, *A. odontolyticus*, *Streptococcus warneri*, *Streptococcus australis*, *Streptococcus gordonii* y *Streptococcus mitis* bv en el 50% de los casos.

Adicionalmente, Moorer y Genet en 1982 sugieren que los conos de gutapercha poseen cierta actividad antimicrobiana debido a la presencia de óxido de zinc en su composición.

Estos resultados resaltan la importancia de la higiene y la prevención de la contaminación cruzada en los procedimientos endodónticos, particularmente en lo que respecta a la manipulación de los conos de gutapercha y el uso de guantes para garantizar la eficacia del tratamiento.

Por otro lado, autores como Moller y Orstavik en 1985, así como Valois y colaboradores en 2005, han explicado que los conos de gutapercha se someten a sustancias desinfectantes como el hipoclorito de sodio y la clorhexidina, sin considerar adecuadamente el tiempo de exposición. Esto puede resultar en irregularidades superficiales en los conos y en una pérdida de elasticidad. Estas irregularidades superficiales pueden evolucionar hacia deformaciones más profundas, generando vacíos significativos en el cono. Como consecuencia, la elasticidad del cono puede

disminuir considerablemente, lo que podría dificultar el proceso de obturación, especialmente en canales radiculares con formas curvas.

Por lo tanto, se resalta la importancia de gestionar adecuadamente la desinfección de los conos de gutapercha y de reconocer las implicaciones específicas que esto puede tener en la elasticidad y la efectividad del material durante el tratamiento endodóntico.

La reinfección del sistema de conducto radicular constituye uno de los factores determinantes que inciden directamente en los resultados de los tratamientos endodónticos. Como medida preventiva esencial, se recomienda la desinfección de los conos de gutapercha empleando sustancias químicas como hipoclorito de sodio (NaOCl) y clorhexidina (CHX). La desinfección es de vital importancia para evitar cualquier forma de contaminación en el interior del conducto radicular (Siquiera et ál., 1998).

Valois en 2005 y Gomes en 2007 observaron la formación de cristales en la superficie de los conos de gutapercha después de someterlos a una desinfección rápida utilizando concentraciones del 2.5% y 5.25% de NaOCl. Tras llevar a cabo la desinfección de la gutapercha, es altamente recomendable realizar un enjuague minucioso con alcohol o agua destilada antes de proceder a la obturación. Esto se debe a que la presencia de cristales de NaOCl en el cono de gutapercha puede tener un impacto negativo en la calidad del sellado durante el proceso de obturación.

Pang et ál. (2007) detectaron que los conos de gutapercha sumergidos en NaOCl al 5.25% mostraron en su superficie una estructura cristalina cúbica, presentando una zona defectuosa de los conos. Se observó una gran variedad de estructuras redondeadas en las capas más profundas de la zona defectuosa, generando alteraciones en algunos componentes y mostrando efectos significativos en la superficie, lo que generó elongación de los conos de gutapercha.

Short 2003 muestra la presencia de cristales de cloruros cúbicos, especialmente alrededor de los poros, con hipoclorito de sodio al 5.25% y al 2.5%, confirmada mediante SEM y EAM. Sin embargo, se observó que la concentración al 2.5% tenía cristales más pequeños y en menor cantidad que la concentración al 5.25%, y el enjuagar los conos con diferentes tipos de alcohol o agua destilada después de la inmersión afectó la presencia de cristales.

Tilakchand (2014) compara el efecto del hipoclorito de sodio al 5.25% y de la clorhexidina al 2% en la topografía de la gutapercha mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía de fuerza atómica (AFM). Encuentra que el hipoclorito de sodio al 5.25% causa cambios topográficos severos, mientras que la clorhexidina al 2% no altera significativamente la topografía, lo cual sugiere que la clorhexidina al 2% puede ser una alternativa más segura para la desinfección de conos de gutapercha.

## **3.2 Marco conceptual**

### ***3.2.1 Gutapercha***

La obturación del conducto radicular es una fase esencial en los procedimientos de endodoncia, la cual se lleva a cabo mediante el uso de conos de gutapercha. Estos conos se destacan por ser biocompatibles y mantenerse estables a temperatura ambiente, lo que los convierte en una elección preferida para este propósito, por poseer propiedades que facilitan su aplicación y seguimiento radiográfico (Vitali, 2019 y Gomes, 2007).

Desde su descubrimiento y aplicación a la endodoncia, la gutapercha, por sus propiedades, ha sido el material elegido para el tratamiento de los conductos radiculares. El objetivo de la endodoncia consiste en un llenado y sellado tridimensional de todo el sistema de conductos

radiculares, con el fin de prevenir la penetración de exudados y fluidos tisulares en los conductos, provenientes de la cavidad oral y tejidos periapicales. Su intención principal es prevenir la reinfección de microorganismos en el conducto radicular y crear un ambiente biológico favorable para inducir la cicatrización de los tejidos periapicales (Vishwanath y Rao, 2019).

La gutapercha se obtiene de una planta tropical llamada Sapotaceae *Palaquium gutta*, originaria de la península malaya. Fue descubierta desde el siglo XVII, iniciando en 1656, con la familia inglesa de apellido Tradescant. Esta familia le dio el primer nombre, conociéndose como madera de “mazer”, y no tenía un uso práctico. (Vishwanath y Rao, 2019)

En 1843, el Dr. William Montgomerie introdujo la gutapercha en Inglaterra, y su versatilidad pronto se manifestó en una variedad de aplicaciones. Se utilizó para fabricar corchos, cementos, hilos, instrumentos quirúrgicos, prendas de vestir, tuberías, revestimientos para barcos, instrumentos musicales, candelabros, polainas, ligas, tirantes, persianas, alfombras, guantes, colchones, almohadas, carpas, sombrillas y más (Vishwanath y Rao, 2019).

En 1867 Bowman la introdujo como material para conductos radiculares en la Sociedad Dental de St. Louis (Vishwanath y Rao, 2019).

El año 1942 marcó un hito con la investigación de C.W. Bunn, quien descubrió las fases alfa y beta de la gutapercha. En 1959, Ingle y Levine llevaron a cabo la estandarización instrumental del conducto radicular, junto con la estandarización de los materiales de la gutapercha, durante la segunda conferencia internacional de Endodoncia en Filadelfia (Vishwanath y Rao, 2019).

En 1967, Schilder presentó la técnica de Compactación Vertical Caliente, seguida de la introducción de la técnica termoplástica inyectable por Yee y su equipo en 1977. En 1978, Ben Johnson introdujo la termoplástica con Thermafil (Vishwanath y Rao, 2019).

En 1984, Michanowicz presentó la técnica de ultrafill a baja temperatura, y durante ese mismo año, 2006, se dio la especificación ANSI/ADA de los conos de gutapercha (Vishwanath y Rao, 2019; Goodman, 1974).

### ***3.2.2 Fabricación gutapercha***

El proceso de obtención de Gutapercha comienza con la extracción de la materia prima a partir de la savia del árbol, utilizando un corte estratégico que permite su drenaje.

El siguiente paso involucra la “Técnica de Obach” la cual se enfoca en la transformación de la gutapercha en un producto final. En esta técnica, la gutapercha es sometida a calentamiento y luego mezclada con gasolina industrial a una temperatura de 0 °C para eliminar resinas y proteínas no deseadas. Posteriormente, se procede a blanquear el material y combinarlo con otros componentes para la fabricación de los conos de gutapercha, donde se agregan componentes orgánicos, inorgánicos, radiopacos y plastificantes al material (Vishwanath y Rao, 2019).

#### **3.2.2.1 Composición y propiedades de la gutapercha.**

***3.2.2.1.1 Composición del polisopreno.*** En su forma natural, la gutapercha es un polímero orgánico denominado polisopreno. Este polímero se deriva del isopreno, un compuesto químico que actúa como monómero. Un monómero es una molécula pequeña capaz de unirse a otras moléculas similares para formar largas cadenas de polímeros. El isopreno, con la fórmula estructural  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{-CH}=\text{CH}_2$ , contiene dos dobles enlaces conjugados y un grupo metilo, que permiten que los monómeros se enlacen formando cadenas de polisopreno. Este proceso da lugar a la formación de polímeros como el caucho natural (Zanatta et ál., 2021, p. 58).

**3.2.2.1.2 Estructura y peso molecular.** La gutapercha está compuesta por largas cadenas de átomos unidas por enlaces covalentes. Estos enlaces aseguran que los átomos de los monómeros, como el isopreno, permanezcan firmemente conectados en una cadena continua. La longitud de estas cadenas puede variar significativamente. El peso molecular del polímero, que se define como la masa de una molécula de un compuesto químico expresada en gramos por mol ( $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ), puede oscilar entre  $10^4$  y  $10^6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Esto implica que:

- **Peso molecular bajo ( $10^4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ):** una molécula de gutapercha puede tener una masa equivalente a 10 000 veces la masa de una molécula de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), que tiene un peso molecular de  $2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Esto indica que el material tiene cadenas más cortas, lo que resulta en una mayor flexibilidad.
- **Peso molecular alto ( $10^6 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ ):** una molécula de gutapercha puede tener una masa equivalente a 1 000 000 veces la masa de una molécula de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), que tiene un peso molecular de  $2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Esto indica que el material tiene cadenas más largas, lo que le confiere mayor fuerza y resistencia.

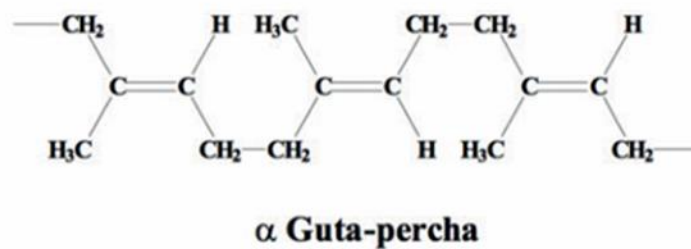
**3.2.2.1.3 Influencias de las fuerzas de Van der Waals.** El tamaño y la disposición de las moléculas en las cadenas de polímero están influidos por las fuerzas de Van der Waals. Estas fuerzas son interacciones intermoleculares que determinan cómo se organizan y cómo interactúan las cadenas entre sí. Las fuerzas de Van der Waals afectan las propiedades físicas del polímero, tales como:

- **Rigidez:** las interacciones fuertes entre las cadenas pueden aumentar la rigidez del material.
- **Flexibilidad:** interacciones más débiles permiten una mayor flexibilidad en el material.

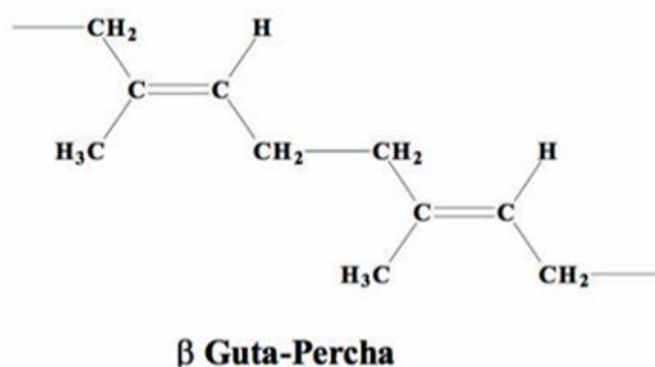
- Transparencia y dureza: la organización molecular influye en la transparencia y dureza del polímero (Zanatta et ál., 2021 p. 58).

**3.2.2.1.4 Temperatura y fases cristalinas de la gutapercha.** En 1942, C. W. Bunn descubrió que la gutapercha (GP) tiene dos formas cristalinas: alfa y beta. Las dos formas difieren solo en la configuración de los enlaces y en la distancia repetitiva de la molécula CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub> en la cadena. Las formas beta ortorrómbica y alfa monoclinica se pueden visualizar en la figura (Zanatta et ál., 2021).

**Figura 1.** La fase alfa en su estructura que tiene una disposición molecular más ordenada



**Figura 2.** La gutapercha en fase beta en su estructura tiene una disposición molecular menos ordenada



La gutapercha es un material que, aunque es estable a temperatura ambiente, se ablanda por acción del calor y se endurece al enfriarse de forma reversible (termoplástico). A la vez, es

elástica y viscosa (viscoelástica). Es un polímero clasificado como isopreno, por su composición molecular, el cual presenta químicamente dos fases: alfa y beta. Estas fases se evidencian molecularmente por la distancia entre los grupos CH<sub>3</sub>; esto hace que las fases químicas de la gutapercha presenten transiciones mediante el cambio de temperatura (Maniglia-Ferreira et ál., 2005).

La gutapercha, cuando sale del árbol en forma de alfa, presenta su punto de fusión a 65 °C, cuando va a pasar a la forma beta. Al incrementar la temperatura, aproximándose a los 100 °C, alcanza una fase llamada amorfa, que es inestable.

La fase alfa, en su estructura, tiene una disposición molecular más ordenada y compacta (figura 1). Se presenta físicamente con características más favorables a la hora de penetrar en zonas más inaccesibles, ya que presenta una mayor viscosidad, adhesividad, pegajosidad y fluidez, que son propiedades deseables en las técnicas termoplásticas. Al enfriar la gutapercha a 0.5 °C/hora, se cristaliza en beta (Combe, 2001).

La gutapercha en fase beta, en su estructura, tiene una disposición molecular menos ordenada (figura 2) y presenta su punto de fusión a los 56 °C (para pasar a la fase alfa). Esta fase, a diferencia de la alfa, presenta una forma física más estable, más sólida, un poco más quebradiza y no es fluida a temperatura ambiente. Las características de esta fase de gutapercha presentan ventajas para las técnicas de obturación en frío, como la de condensación lateral. También puede emplearse en técnicas termo-mecánicas, como la técnica de McSpadden (Cheng 2010).

Según la revisión de la literatura, la gutapercha pasa por una transición de fase  $\beta$  a  $\alpha$  entre 48.6 °C y 55 °C, y de 59.9 °C a 62.3 °C para la transición de la fase  $\alpha$  a la fase amorfa, dependiendo del compuesto específico y del fabricante. El calentamiento de la gutapercha dental a 130 °C provoca cambios físicos o degradación (Vishwanath y Rao, 2019).

En odontología, la forma beta de la GP es la más utilizada. Se encuentra en los conos de obturación tradicionales, fabricados de acuerdo con la estandarización ISO y comercializados por empresas como Tanari (Brasil), Dentsply (EE. UU.) y VDW (Alemania), entre otros. Esta forma de GP es la más comercializada debido a sus ventajas en flexibilidad y estabilidad, lo que permite al material tener una calidad más estandarizada. Sin embargo, la forma alfa tiene mejores propiedades para las técnicas de relleno térmico. (Zanatta et ál., 2021, p. 58)

**3.2.2.1.5 Componentes de los conos de gutapercha.** Los conos de gutapercha presentan componentes orgánicos e inorgánicos que mejoran las características, propiedades y manejo del material para su manipulación en la práctica endodóntica. Las proporciones de los conos de gutapercha pueden variar según los fabricantes.

Según Flores, los componentes y las proporciones son las siguientes:

*Elementos orgánicos:*

- Gutapercha: 19-21%
- Ceras y resinas: 1-4%
- Colorantes: 1-4%

*Elementos inorgánicos:*

- Óxido de zinc: 59-75%
- Sulfato bario: 1-7%
- Sulfatos de estroncio: 1-17%
- Alguno contiene sulfato de cadmio: 1-17% (Flores-Flores, 2018, p. 87).

Funciones de los componentes de la gutapercha:

- Gutapercha: entrega propiedades termoplásticas y viscoelásticas a los conos.

- Oxido de zinc: da rigidez a los conos, actividad antibacteriana, fragilidad y radiopacidad. Debemos tener en cuenta que, a mayor cantidad de óxido de zinc, se obtienen conos más rígidos, y a menor cantidad, los conos obtienen más elasticidad.
- Sulfato de Bario: brinda radiopacidad a los conos.
- Ceras y resinas: confiere propiedades plastificantes.

Maniglia-Ferreira et ál. (2005) investigaron y encontraron que el contenido de gutapercha puede oscilar entre el 15.2%.% y el 21.6%, y el óxido de zinc entre el 69.8% y el 81.9%. Este estudio señala que una mayor cantidad de componentes inorgánicos y una menor cantidad de gutapercha tienden a hacer que los conos sean más rígidos, facilitando la técnica en frío, como la condensación lateral. Concluyen que los conos de gutapercha deben contener al menos un 17% de gutapercha, junto con un 3% de ceras y resinas, permitiendo un comportamiento adecuado en términos de temperatura durante el tratamiento. En cuanto a la radiopacidad, un aspecto esencial para la visualización radiográfica en endodoncia, el óxido de zinc y el sulfato de bario son los componentes responsables. El óxido de zinc representa una proporción significativa en la composición de los conos, oscilando entre el 59% y el 75%. Además, las sales de bismuto se encuentran en una proporción que varía del 1% al 17%, y se pueden encontrar otros componentes, como el sulfato de estroncio en un 1% y el sulfato de cadmio al 17%. Estos elementos inorgánicos no solo contribuyen a las propiedades de radiopacidad, sino que también facilitan un sellado efectivo del conducto radicular.

Kolokuris et ál. (1992) concluyen que la adición de sustancias compatibles (ceras, termoplásticos) y sustancias incompatibles (sales, óxidos, colorantes) mejora las características mecánicas de los polímeros de gutapercha. Además, la incorporación de sales y óxidos puede hacer que los conos de gutapercha sean más propensos a la fractura espacial, es decir, que se vuelvan

quebradizos. Por otro lado, cuando se utilizan sustancias como las ceras y los termoplásticos, la acción plastificante predomina.

**3.2.2.1.6 Ventajas gutapercha.** La gutapercha es compactable, inerte, puede reblandecerse, tiene estabilidad dimensional, tolerancia a los tejidos, es radiopaca, fácil de retirar, antibacteriano, fácil de esterilizar.

**3.2.2.1.7 Desventajas de la gutapercha.** Carece de rigidez, carece de adhesiva a las paredes internas del conducto, se desplaza fácilmente con la presión, presentan sensibilidad a la luz y al aire con el paso del tiempo.

**3.2.2.1.8 Agentes irrigantes.** La elección adecuada de un agente irrigante es un paso fundamental en el tratamiento endodóntico, ya que la preparación mecánica de los conductos radiculares por sí sola no es suficiente para eliminar los agentes patógenos. Esto se vuelve aún más crucial dado que nos enfrentamos a un sistema anatómico complejo en el que interactúan la virulencia de los microorganismos durante las afecciones pulpares y periapicales.

Para garantizar una asepsia adecuada del complejo endodóntico y prevenir la reinfección de los conductos radiculares, es necesario complementar la preparación mecánica con agentes químicos que deben cumplir con ciertos requisitos para ser considerados adecuados en el tratamiento de conductos radiculares. Según Zender (2006), los agentes ideales deben poseer las siguientes propiedades:

- Tener un amplio espectro antimicrobiano y de microorganismos aerobios, facultativos de alta eficacia organizados en biopelículas.

- Capacidad para disolver tejido necrótico.
- Habilidad para inactivar endotoxinas.
- Prevención de la formación de barrillo (sedimentos microbianos).

De todas las sustancias utilizadas actualmente, el hipoclorito de sodio parece ser el más ideal, ya que cubre la mayoría de los requisitos para la irrigación endodóntica que cualquier otra solución irrigante conocida (Estrela, 2002; Zender, 2005; Mohammadi, 2008).

El hipoclorito ejerce un mecanismo de acción que no es muy exacto. Sin embargo, se ha demostrado que tiene un ácido hipocloroso (HClO) que realiza la acción de destrucción de los microorganismos a través de las propiedades del hipoclorito de sodio, que operan mediante tres mecanismos:

- Saponificación: actúa como un solvente orgánico que degrada los ácidos grasos en sales ácidas grasosas (jabón) y glicerol (alcohol), y reduce la tensión superficial de la solución remanente.
- Neutralización: neutraliza aminoácidos formando agua y sal.
- Cloraminación: es la reacción entre el cloro y el grupo amino, que forma cloraminas que interfieren en el metabolismo celular. El cloro posee una acción antimicrobiana, inhibiendo enzimas esenciales de las bacterias por medio de oxidación (Neciosup Álvarez, 2017).

El hipoclorito de sodio (NaOCl), en concentraciones que varían del 1%, 2.5% y 5.25%, es ampliamente reconocido por su uso como irrigante en el tratamiento de conductos radiculares. En particular, el hipoclorito de sodio al 5.25% se destaca por su capacidad antibacteriana y esporicida, atribuida a la liberación del cloro activo en el proceso. El hipoclorito de sodio se utiliza de manera rutinaria como un agente químico eficaz para llevar a cabo la desinfección rápida de los conos de gutapercha antes de su empleo, logrando la eliminación de microorganismos en tan solo 1 minuto

de exposición. Sin embargo, es importante señalar que el NaOCl al 5.25% puede ocasionar alteraciones topográficas extremas en los conos de gutapercha, lo que resulta en un deterioro significativo y pérdida de sus componentes esenciales, disminuyendo significativamente el módulo elástico y la resistencia a la flexión de la dentina.

La clorhexidina (CHX) se utiliza frecuentemente en concentraciones entre el 0.12% y el 2% y muestra una actividad antimicrobiana óptima a un pH de 5.5 a 7.0. Se ha demostrado que el 2% de clorhexidina (CHX) es una valiosa alternativa desinfectante (Cardoso et ál., 2000; Vianna et ál., 2004). La clorhexidina (CHX) es una bisbiguanida catiónica (se refiere a un grupo de moléculas orgánicas que contiene dos grupos aminos NH<sub>2</sub> unidos por un puente de carbono y nitrógeno) ampliamente reconocida y utilizada en el campo de la odontología, particularmente en la cavidad oral. Su aplicación en endodoncia como solución irrigante auxiliar ha demostrado ser eficaz y presenta varias características clave que la distinguen, como son:

*Acción antimicrobiana:* la clorhexidina es conocida por su capacidad para combatir una amplia variedad de microorganismos presentes en la cavidad oral, incluyendo bacterias, hongos y virus. Su eficacia se debe en gran medida a su carga catiónica, que le permite interactuar con las superficies de las membranas bacterianas, desestabilizarlas y aumentar la permeabilidad, lo que facilita la penetración de la clorhexidina en las bacterias (Kandaswamy, 2010).

*Sustantividad:* es una propiedad destacada de la clorhexidina. Esto significa que tiene la capacidad de adherirse a las superficies cargadas negativamente de la cavidad oral y liberarse de manera gradual con el tiempo. Esta característica permite que la clorhexidina mantenga su actividad antimicrobiana durante un período prolongado (Gomes, 2013).

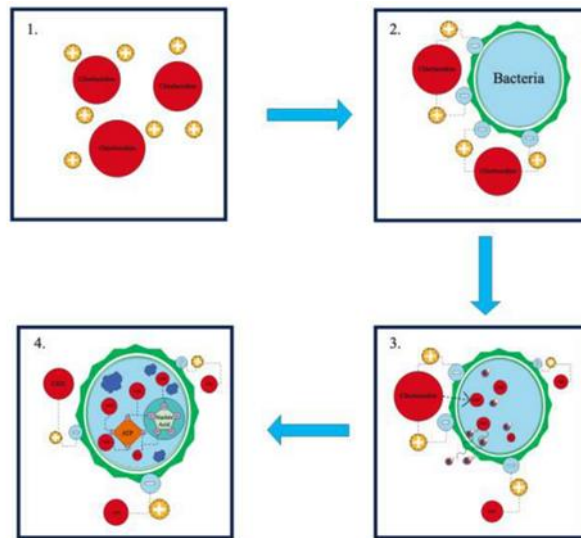
*Menos causticidad:* en comparación con el hipoclorito de sodio, otro agente irrigante comúnmente utilizado en endodoncia, la clorhexidina se considera menos cáustica, lo que la hace más tolerable para los tejidos y menos irritante (Kandaswamy, 2010).

*Inhibición de metaloproteinasas:* la clorhexidina tiene la capacidad de inhibir las metaloproteinasas, enzimas que están relacionadas con la degradación de tejidos como la dentina. Esto puede tener un efecto positivo al prolongar la capacidad adhesiva de materiales como las resinas a la dentina (Gomes, 2013).

*Solubilidad en agua:* la clorhexidina es soluble en agua lo que facilita su uso como solución irrigante en endodoncia y otros procedimientos dentales.

*Interacción con la dentina:* la clorhexidina interactúa con la dentina, lo que puede mejorar la capacidad adhesiva de los materiales dentales a esta superficie, lo que es especialmente relevante en procedimientos de restauración dental (Gomes, 2013).

El mecanismo de acción de la clorhexidina al 2% comienza con la atracción rápida de moléculas catiónicas hacia la superficie de células bacterianas cargadas negativamente. Las propiedades catiónicas de la clorhexidina resultan en una fuerte unión a componentes cargados negativamente en el biofilm, dañando la integridad de la célula bacteriana y permitiendo la penetración a través de la pared celular. Este proceso lleva a una mayor permeabilidad de la membrana celular y a la liberación de componentes citoplasmáticos, lo que inhibe la actividad enzimática. La acción antimicrobiana de la clorhexidina pasa por una etapa bacteriostática reversible, pero puede volverse bactericida de manera irreversible si la concentración de clorhexidina se mantiene estable o aumenta. Además, la naturaleza catiónica de la clorhexidina permite una buena adherencia a las superficies orales, interfiriendo con la adhesión bacteriana y proporcionando sustentabilidad.

**Figura 3.** *Mecanismo de acción de la clorhexidina*

*Etapa 1:* la clorhexidina cargada positivamente es atraída hacia la carga negativa en la pared celular bacteriana.

*Etapa 2:* la clorhexidina forma una adsorción específica y fuerte a moléculas que contienen fosfato que se encuentran en la superficie de la célula bacteriana.

*Etapa 3:*(bacteriostática): ocurre la penetración a través de la pared celular bacteriana, dañándola y comprometiendo su integridad. El resultado es la salida de componentes citoplasmáticos de bajo peso molecular, como iones de potasio, y la inhibición de la actividad de algunas enzimas asociadas con la membrana citoplasmática.

*Etapa 4:* (bactericida): ocurre la coagulación citoplasmática y la precipitación al formar complejos con compuestos fosforilados, como el trifosfato de adenosina (ATP) y los ácidos nucleicos.

Es importante destacar que las soluciones no implican un aumento significativo en los costos para el paciente, ya que los desinfectantes generalmente están disponibles en el consultorio odontológico. En este sentido, tanto la clorhexidina como el hipoclorito de sodio son opciones comunes (Deus y Ouanounou, 2022, p. 271).

La desinfección de los conos de gutapercha es esencial en endodoncia. La clorhexidina y el hipoclorito de sodio tienen diferentes propiedades y consideraciones en lo que respecta a la desinfección de los conos de gutapercha:

*Clorhexidina y su acción desinfectante:* la clorhexidina es efectiva en la eliminación de microorganismos. Su ventaja radica en que no es tan dañina para los conos de gutapercha cuando se utilizan tiempos de inmersión prolongados. La clorhexidina puede tener un efecto antimicrobiano inmediato al entrar en contacto con los conos de gutapercha al introducirse en el conducto radicular durante el procedimiento de obturación.

*Hipoclorito de sodio y sus consideraciones:* aunque el hipoclorito de sodio es un poderoso agente oxidante y puede eliminar algunas esporas microbianas, puede generar alteraciones en los conos de gutapercha debido a su alta capacidad oxidante. En concentraciones más altas (entre 2.5% y 5.25%), puede formar cristales de clorina, lo que hace necesario un enjuague final con agua para eliminar cualquier residuo.

*Impacto en la adhesión:* la desinfección de los conos de gutapercha con clorhexidina e hipoclorito de sodio puede influir en el mecanismo de adhesión, dependiendo del tiempo que se dejen.

En resumen, la elección entre la clorhexidina y el hipoclorito de sodio para la desinfección de conos de gutapercha en endodoncia depende de diversos factores, como las preferencias del profesional y las necesidades del paciente. Ambos agentes tienen sus ventajas y desventajas; por lo tanto, es importante considerar sus propiedades y efectos en el contexto del tratamiento endodóntico (Gomes, 2013).

### 3.2.3 *Wave One Gold*®

La casa comercial Dentsply Maillefer® desarrolló un sistema de instrumentos para la conformación de conductos radiculares con el fin de sobrepasar los eventos indeseados de la instrumentación manual y el movimiento de rotación continua mecanizada, tales como la fatiga cíclica y la fatiga torsional.

Por otra parte, la casa comercial indica que la probabilidad de que estos sucesos aparezcan se debe a que los instrumentos se usan de manera repetitiva, por lo que señalan que los instrumentos *Wave One Gold* son instrumentos de lima única y deben emplearse con un solo uso.

Estos instrumentos son fabricados con un tratamiento térmico especial al material de níquel-titanio empleado por Dentsply, en el cual se somete a calor la aleación y posteriormente se enfría lentamente, lo que modifica la transición de austenita inicial y austenita final, brindando unas propiedades favorables a estos instrumentos en cuanto a flexibilidad, fuerza y resistencia.

Este sistema de limas cuenta con una sección transversal en forma de paralelogramo, con dos puntos de contacto con la pared del conducto, alternando con un eje excéntrico patentado por Dentsply, que tiene un solo punto de contacto en el conducto.

El sistema ofrece cuatro tamaños de limas:

- Small (color amarillo, 20/07)
- Primary (color rojo, 25/07)
- Medium (color verde, 35/06)
- Large (color blanco, 45/05)

Además de las limas, Dentsply Maillefer también ha desarrollado conos y puntas de papel con la misma conicidad que el sistema de preparación de conductos. Esto permite la creación de

un sellado tridimensional de los conductos, lo que contribuye a alcanzar tasas de éxito más altas en los tratamientos endodónticos.

La innovación de la nanotecnología aplicada a los conos de gutapercha permite su uso en la técnica termoplástica de compactación de gutta-percha continua, además de facilitar el empleo de vástagos de GuttaCore, lo que mejora la eficiencia y la precisión en los procedimientos endodónticos.

En resumen, el sistema de instrumentos de Dentsply Maillefer, junto con sus conos y puntas de papel, representa un avance significativo en la endodoncia, brindando a los profesionales herramientas eficaces y de alta calidad para lograr resultados óptimos en los tratamientos de conductos radiculares (Webber, 2016).

### ***3.2.4 Reciproc VDW®***

Los conos de gutapercha Reciproc están diseñados específicamente para los instrumentos de movimiento reciprocante en endodoncia; estos conos son moldeados por inyección y permiten la obturación de un solo cono, ofreciendo una solución eficiente para la preparación y el sellado del conducto radicular. Sus principales características son: están identificados con los mismos colores, conicidades y tamaños compatibles que los instrumentos Reciproc, asegurando una adaptación precisa al conducto radicular. Las puntas vienen en tres tamaños principales: R25, R40 y R50. Están diseñadas para emplearse en técnicas de obturación en frío o termoplásticas, brindando versatilidad en los métodos de sellado. Ofrecen un ajuste preciso y sensible, optimizando el flujo de trabajo desde la preparación hasta la obturación. Proveen una solución integral (system solution), simplificando el procedimiento endodóntico al unificar las herramientas de instrumentación y obturación bajo una misma línea de productos. Vdwdental

### ***3.2.5 El microscopio de barrido electrónico (SEM)***

Es una herramienta de observación tridimensional que opera mediante un haz de electrones altamente focalizado. Su funcionamiento se basa en la aceleración y enfoque de estos electrones en un punto específico de la muestra, lo que permite revelar la morfología superficial de manera detallada. La preparación de la muestra es esencial para su estudio en el SEM, implicando procedimientos como el corte, secado, fijación y recubrimiento con una fina capa de material conductor, como oro o platino. Este recubrimiento conductor es crucial para evitar la acumulación de carga estática en la muestra. Una vez preparada la muestra, se somete a un proceso de enfoque y barrido en el cual los electrones generados se dirigen con precisión a un punto específico. Este barrido es controlado electrónicamente y se utiliza para mapear la totalidad de la superficie de la muestra. Los electrones acelerados recorren la muestra a través del cañón del SEM. Durante la interacción entre los electrones del haz y la muestra, se generan diversas señales, algunas de las cuales son captadas por detectores específicos. Estos detectores miden la cantidad de electrones emitidos, lo que proporciona información sobre la intensidad en diferentes áreas de la muestra. Estos datos se transforman en una señal electrónica que se proyecta en una pantalla CRT (tubo de rayos catódicos, que utiliza electrones para transferir imágenes de una fuente de programa, permitiendo la visualización tridimensional de la muestra). Es importante tener en cuenta que los microscopios electrónicos, como el SEM, producen imágenes en blanco y negro debido a que no utilizan la luz visible. Esto significa que el SEM se centra en la observación y caracterización de la superficie de las muestras, ofreciendo valiosa información sobre su morfología y topografía. (Neciosup, 2017).

### ***3.2.6 Espectroscopio infrarrojo transformadas de Fourier (FTIR)***

La espectroscopía FTIR es una técnica analítica utilizada para identificar y estudiar la composición química de sustancias mediante la medición de su absorción de radiación infrarroja. Esta técnica se basa en la capacidad de diferentes enlaces químicos para absorber radiación infrarroja en distintas longitudes de onda.

El funcionamiento del instrumento comienza con la emisión de radiación infrarroja que atraviesa la muestra, en este caso, los conos de gutapercha, para observar los componentes orgánicos. La radiación pasa a través de un interferómetro de Michelson, que divide el haz de luz en dos haces que se reflejan en espejos y se recombinan, creando un patrón de interferencia conocido como interferograma. Este interferograma es un patrón de interferencia generado por la diferencia en el recorrido de los haces.

El interferograma se convierte en un espectro infrarrojo mediante una transformada de Fourier, que transforma los datos del dominio del tiempo al dominio de frecuencia. El espectro resultante muestra la absorbancia en función de la longitud de onda. Los picos en el espectro representan las frecuencias específicas en las que los grupos funcionales de la muestra absorben radiación infrarroja. Estos picos permiten identificar los grupos funcionales y los compuestos presentes en la muestra, proporcionando información detallada sobre su estructura química, absorción y composición (PerkinElmer. Spectrum Two™ FT-IR Spectrometer. Accessed August 15, 2024).

### ***3.2.7 Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS).***

Es una técnica analítica empleada para determinar la composición elemental de una muestra. Se utiliza comúnmente junto con un microscopio electrónico de barrido (SEM) para

obtener tanto imágenes detalladas de la superficie como información sobre su composición química, utilizada para el microanálisis elemental en diversas disciplinas. Esta técnica se basa en la interacción de un haz de electrones con una muestra para generar rayos X característicos de cada elemento.

El funcionamiento del EDS comienza cuando el haz de electrones del SEM excita los átomos de la muestra, provocando la emisión de rayos X. Estos rayos X se generan cuando los electrones adicionales ocupan vacantes en las capas internas de los átomos, y un detector EDS mide la energía de los rayos X emitidos, que son específicos para cada elemento.

El sistema EDS produce un espectro que muestra la intensidad de los rayos X en función de su energía, y los picos en el espectro corresponden a los elementos presentes en la muestra, lo que permite su identificación y cuantificación. EDS puede detectar elementos desde niveles traza (menos del 0.01% en masa) hasta constituyentes principales (más del 0.1% en masa), pero no detecta hidrógeno, helio ni litio (Newbury\*, D. E., y Ritchie, N. W. 2013).

## **4. Método**

### **4.1 Tipo de estudio**

Cuasiexperimental in vitro

## 4.2 Selección y descripción de participantes población

### 4.2.1 Población de estudio

Conos de gutapercha Wave One Gold Primary (Dentsply Maillefer) de tamaño 25-07 y Reciproc 25 VDW.

### 4.2.2 Muestra y tipo de muestreo

**4.2.2.1 Muestra.** 18 conos de gutapercha de dos marcas comerciales: Wave One Gold Primary (Dentsply Maillefer®): Tamaño 25-07. Reciproc 25 (VDW®): Tamaño 25-08.

#### 4.2.2.2 Tipo de muestreo.

- *Tipo de muestreo:* muestreo aleatorio donde se dividirá el blíster de conos en tres grupos de la siguiente manera:
- *Grupo 1:* tres conos de gutapercha Wave One Gold y tres conos de gutapercha Reciproc 25 sumergidos en hipoclorito de sodio al 5.25% durante un minuto.
- *Grupo 2:* tres conos de gutapercha Wave One Gold y tres conos de gutapercha Reciproc 25 sumergidos en clorhexidina al 2% durante un minuto.
- *Grupo 3 (Control):* tres conos de gutapercha Wave One Gold y tres conos de gutapercha Reciproc25 sin sumergir en soluciones desinfectantes.

#### 4.2.2.3 Criterios de selección (inclusión y exclusión).

- *Inclusión:* solo se tomarán Conos de Gutapercha Wave One Gold tamaño Primary (Densply Maillefer) y Reciproc 25 VDW, conos en buena condición sin ninguna modificación en su estructura, sin manipular ni desinfectar previamente.
- *Exclusión:* conos vencidos, tamaños y conicidades diferentes a la establecida.

#### 4.2.3 Variables

**Tabla 1.** Variables de la investigación

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Naturaleza	Escala de medición	Valores que asume
Solución desinfectante	Sustancia química se utiliza comúnmente para desinfectar y limpiar los conductos radiculares durante el tratamiento endodóntico.	Solución la cual se sumergen los conos de gutapercha por un minuto	Cualitativo	Nominal	1: 5.25% 2: 0.12% 3: sin solución
Presencia de cristales	Es la existencia de estructuras cristalinas que pueden ser minerales, compuestos inorgánicos o incluso residuos de sustancias que se han cristalizado en la superficie o en el interior de los conos de gutapercha.	Presencia de cristales en los conos de gutapercha se centra en cómo se detectan, caracterizan y evalúan estos cristales con el objetivo de comprender su impacto en el tratamiento endodóntico.	Cualitativo	Nominal	Si/No

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operativa</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Escala de medición</b>	<b>Valores que asume</b>
Presencia de Microporosidades	Existencia de diminutas aberturas o cavidades en la estructura de cono	Cómo se detectan, caracterizan y evalúan estas pequeñas aberturas o cavidades en conos	Cualitativo	Nominal	Si/No
Perdida de continuidad	Implica la ruptura o separación de la gutapercha en el cono, lo que resulta en una falta de cohesión o integridad en el material.	Puede tener implicaciones en la eficacia de la obturación del conducto radicular, ya que un cono de gutapercha dañado puede no sellar adecuadamente el espacio del conducto.	Cualitativo	Nominal	Si/No
Cambios de forma Cambio dimensional	Es una medida que cuantifica la distancia entre dos puntos opuesto en un objeto, que puede ser lineal recta o una dimensión que atraviesa su centro	Distancia desde la punta del cono hasta el extremo del cono, donde la medida se toma y se cierra con un calibre alrededor del cono para registrar la longitud	Cuantitativa	Razón	Longitud
	Dimensión transversal del cono, factor crucial para asegurar que el material de obturación se ajuste adecuadamente al conducto radicular,	Dimensión transversal la cual realiza la medición en la parte más ancha del cono dado que es cilíndrico, registrando el resultado en milímetros	Cuantitativa	Razón	Diámetro

Variable	Definición conceptual	Definición operativa	Naturaleza	Escala de medición	Valores que asume
	evitando fugas y garantizando				

#### 4.2.4 Instrumento

Se ha diseñado un cuestionario específicamente para la recopilación de datos en el marco de la presente investigación, donde cada subgrupo tendrá su propio cuestionario. Sus preguntas se han estructurado de manera precisa y coherente con los indicadores de las variables que son objeto de estudio. Es importante destacar que este cuestionario está destinado exclusivamente a ser completado por los investigadores involucrados en este proyecto.

Cada pregunta y opción de respuesta ha sido cuidadosamente elaborada para garantizar la obtención de datos significativos y pertinentes que contribuirán a los objetivos de la investigación. Las respuestas proporcionadas en este cuestionario serán fundamentales para el análisis y la obtención de resultados.

**Tabla 2.** *Características de los conos de gutapercha, métodos de desinfección utilizados y cambios topográficos*

<b>Características: tamaño y forma de los conos de gutapercha</b>
Tamaño (longitud y diámetro): sin cambio
Métodos de desinfección utilizados
Ninguno
Cambios topográficos
Presencia de cristales:
Presencia de microporosidades:
Perdida de continuidad:
Erosión:

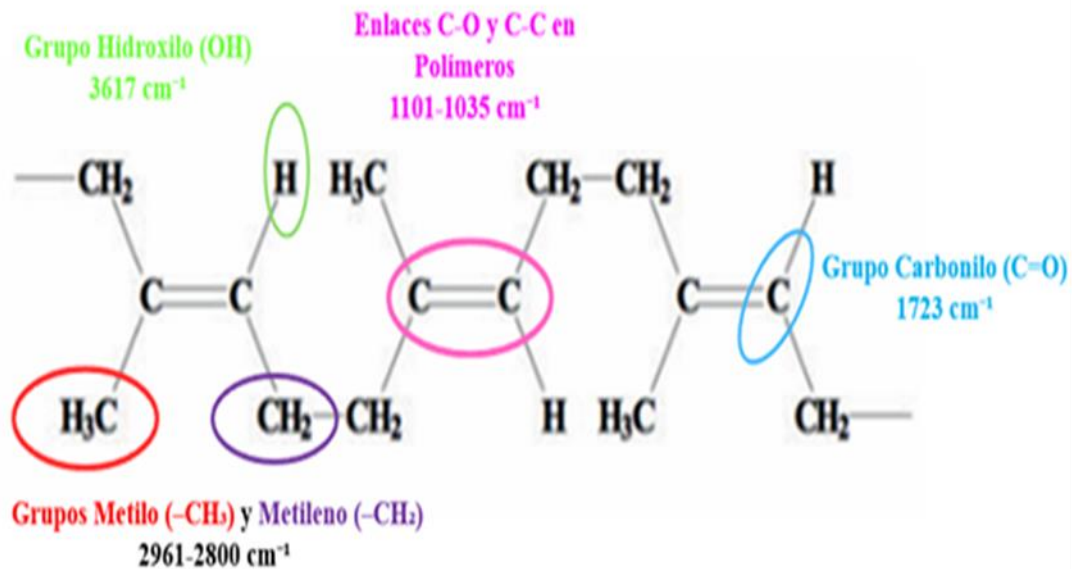
#### ***4.2.5 Procedimientos paso a paso***

Se llevará a cabo una prueba piloto en la que se utilizará un espectroscopio infrarrojo de transformadas de Fourier (FTIR), marca Perkin Elmer, con un rango espectral de 8300 a 11 000  $\text{cm}^{-1}$  y una resolución de hasta 0.5  $\text{cm}^{-1}$ , equipado con un detector DLaTGS, una pantalla táctil y un software intuitivo, Spectrum™ 10, para evaluar las posibles reacciones químicas que pudiesen presentarse entre las soluciones de hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2%, respectivamente, con los compuestos orgánicos presentes en la gutapercha usada en endodoncia.

Inicialmente, se realizarán pruebas físicas a los conos de gutapercha. Primero, se medirá la longitud de cada cono de gutapercha colocándolos en posición horizontal y asegurando su alineación. Luego, se utilizará un calibrador de conos para medir el diámetro en la parte más angosta del cono de gutapercha, y cada cono será pesado en una balanza analítica para la recolección de datos. Para garantizar la calidad de las muestras, los conos seleccionados serán verificados en cuanto a su registro Invima, lote y fecha de vencimiento.

Posteriormente, se llevará a cabo la etapa de desinfección, dividiendo los conos en los tres grupos previamente definidos. Después de la desinfección, se pesarán nuevamente los conos en una balanza analítica. Luego, se analizarán con un espectroscopio FTIR para verificar si hubo alguna reacción química en sus grupos funcionales al entrar en contacto con las diferentes soluciones, como el hipoclorito de sodio al 5.25% y la clorhexidina al 0.2%.

Se medirá la transmitancia, que se encontrará en el eje Y, y que indicará la cantidad de luz infrarroja que atraviesa los conos de gutapercha en los grupos funcionales. En el eje X se encontrarán las longitudes de onda de cada grupo funcional presente, expresadas en números de longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ), lo que reflejará la frecuencia de movimiento de los enlaces moleculares y permitirá examinar su composición química orgánica, que tendrá una estructura  $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ .

**Figura 4.** Estructura de la gutapercha

Los grupos funcionales se dividirán en dos, uno correspondiente a los enlaces típicos de los conos de gutapercha (polisopreno) como:

- Grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) y metileno (-CH<sub>2</sub>): longitud de onda en el rango de 2961-2800  $\text{cm}^{-1}$  (figura 1, color rojo-morado): corresponderán a los grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) y metileno (-CH<sub>2</sub>), que estabilizarán la estructura y proporcionarán flexibilidad a los conos de gutapercha.
- Grupo C-O y C-C - longitud de onda en el rango de 1101-1035  $\text{cm}^{-1}$  (figura 1, color rosado): representarán enlaces carbono-oxígeno (C-O) y carbono-carbono (C-C), que son esenciales para la estabilidad química y las propiedades mecánicas de los conos de gutapercha.

Y otros componentes orgánicos añadidos para mejorar sus propiedades mecánicas como:

- Grupo hidroxilo (OH) - longitud de onda en  $3617\text{ cm}^{-1}$  (figura 1, color verde): indicará la presencia de grupos hidroxilo (OH) en los conos de gutapercha, facilitando su interacción con la humedad.
- Grupo carbonilo (C=O) - longitud de onda en  $1723\text{ cm}^{-1}$  (figura 1, color azul): asociado con el grupo carbonilo (C=O), dará elasticidad y capacidad de sellado a los conos de gutapercha.

El procedimiento será ejecutado siguiendo rigurosamente los pasos descritos para minimizar posibles errores.

**4.2.5.1 Análisis SEM y EDS.** Para el análisis de la composición química inorgánica, se llevará a cabo el uso de un microscopio electrónico de emisión de campo dual beam (FIB-FESEM) de la marca Thermo Fisher Scientific, modelo Scios 2 LoVac, equipado con fuentes de emisión de campo (FESEM) e iones (FIB). El sistema de microanálisis empleado será un EDS UltraDry de 129 eV y 30 mm<sup>2</sup> (modelo SDBX-30PM-B). Los detectores utilizados incluirán T1 para electrones retrodispersados, T2 y ETD para electrones secundarios, logrando una resolución de 1.4 nm a 1 kV en modo FESEM.

Para la preparación de las muestras, los conos se fijarán en una cinta de grafito y se les aplicará un recubrimiento delgado de oro (Au) con un espesor de 20 nm, utilizando el pulverizador catódico DENTON VACUUM Desk IV. Posteriormente, los conos serán analizados en el microscopio electrónico de barrido en modo de alto vacío, con el objetivo de obtener imágenes de alta resolución. Se empleará el detector de electrones secundarios (ETD) para evaluar la morfología y topografía de la superficie de los conos. Las imágenes se capturarán a aumentos de 80X, 100X, 400X y 1250X, lo que permitirá una observación detallada de las características topográficas y estructurales de las muestras.

Se llevará a cabo la espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (EDS) utilizando el mismo equipo. Este análisis permitirá identificar los elementos químicos inorgánicos presentes en los conos de gutapercha. Se procesarán las imágenes obtenidas para evaluar los cambios topográficos y estructurales de los conos de gutapercha, donde se identificarán la presencia de cristales, microporosidades, alteraciones superficiales y pérdida de continuidad después del tratamiento de desinfección.

#### ***4.2.6 Plan de análisis estadístico***

Para el análisis, se utilizan las imágenes y se determinan los cambios observados en las muestras. Se utiliza un cuestionario estructurado para obtener datos precisos sobre las variables del estudio. Cada pregunta aborda aspectos como el tamaño y la forma de los conos de gutapercha, los métodos de desinfección aplicados, y los cambios estructurales y topográficos observados. La información se analiza de manera descriptiva, lo que facilita la interpretación de los resultados de acuerdo con los objetivos de la investigación.

#### ***4.2.7 Implicaciones bioéticas***

Según la Resolución 8430 de 1992, el presente estudio se clasifica como sin riesgo, ya que nuestra investigación es in vitro, sin la participación de seres humanos o animales, asegurando que no se ponga en riesgo la integridad de los sujetos ni se vulneren sus derechos, respetando las normativas y regulaciones establecidas en la Resolución, lo que garantiza la calidad y la ética en la investigación científica.

## 5. Resultados

### 5.1 Análisis de peso

El análisis del peso utilizando la balanza analítica no mostró diferencias significativas antes y después de la inmersión de los conos de gutapercha Wave One Primary y Reciproc 25 en hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2% (figuras 5 y 6).

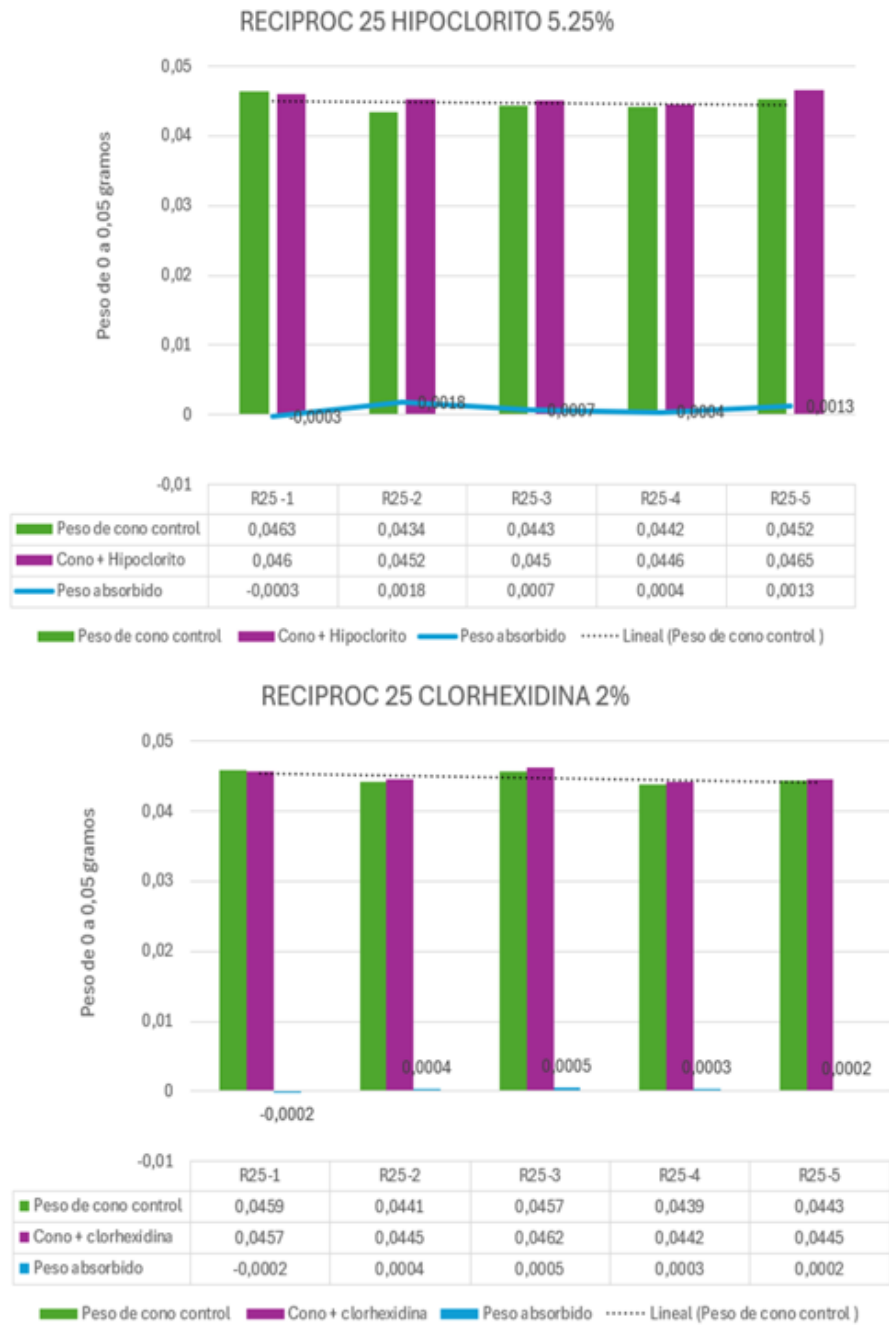
### 5.2 Composición orgánica de los conos de gutapercha (FTIR)

En los espectros FTIR de los grupos funcionales característicos de los conos de gutapercha Wave One Primary y Reciproc 25, no se observaron desplazamientos ni reacciones químicas en las bandas de absorción a los números de longitud de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ) con el hipoclorito de sodio al 5.25% y la clorhexidina al 2%. Los resultados se mantuvieron consistentes en ambos tratamientos, lo que indica que no se alteró la composición química orgánica de la gutapercha (figuras 7 y 8).

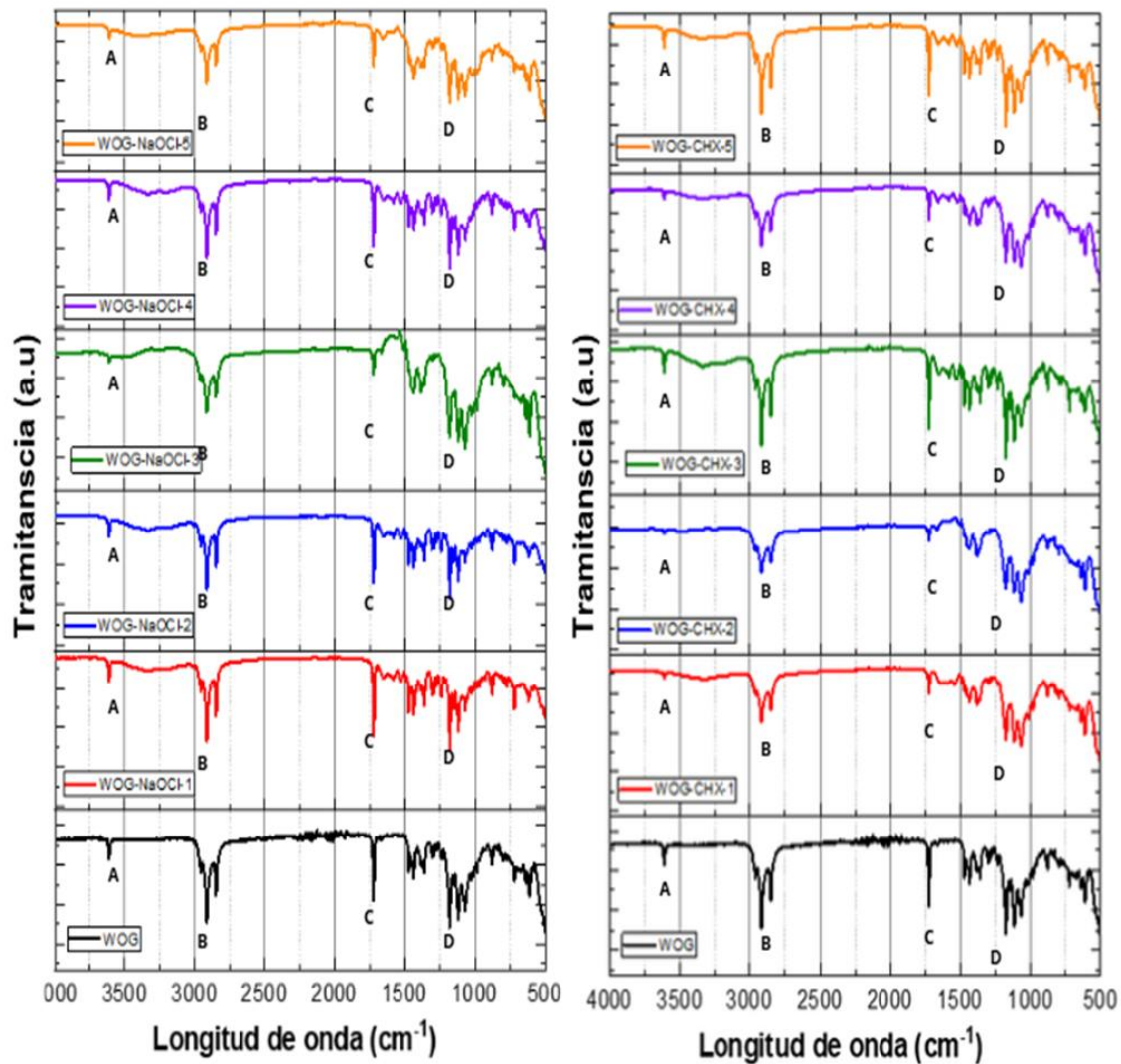
**Figura 5.** *Peso Conos Wave One Primary*



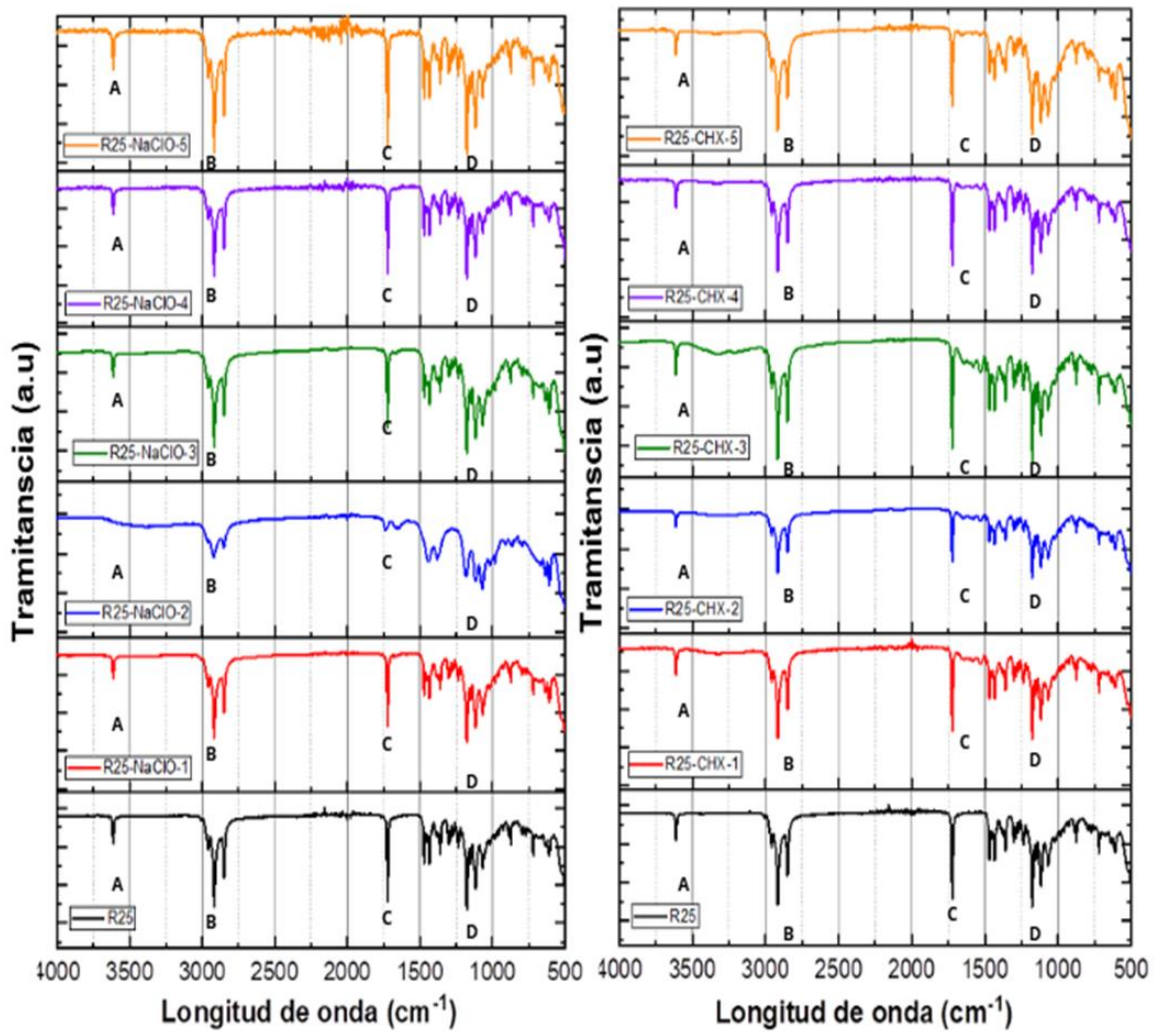
Figura 6. *Peso Conos Reciproc 25*



**Figura 7.** Conos Wave One Primary, donde se observan los grupos funcionales con sus diferentes bandas de absorción. **A:** Grupo hidroxilo (OH) - longitud de onda en  $3617\text{ cm}^{-1}$ ; **B:** Grupos metilo ( $-\text{CH}_3$ ) y metileno ( $-\text{CH}_2$ ) - longitud de onda en el rango de  $2961\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$ ; **C:** Grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) - longitud de onda en  $1723\text{ cm}^{-1}$ ; **D:** Enlaces C-O y C-C en polímeros - longitud de onda en el rango de  $1101\text{-}1035\text{ cm}^{-1}$ .



**Figura 8.** Conos Reciproc 25, donde se observan los grupos funcionales con sus diferentes bandas de absorción. A: Grupo hidroxilo (OH) - longitud de onda en  $3617\text{ cm}^{-1}$ ; B: Grupos metilo ( $-\text{CH}_3$ ) y metileno ( $-\text{CH}_2$ ) - longitud de onda en el rango de  $2961\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$ ; C: Grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) - longitud de onda en  $1723\text{ cm}^{-1}$ ; D: Enlaces C-O y C-C en polímeros - longitud de onda en el rango de  $1101\text{--}1035\text{ cm}^{-1}$ .



### 5.3 Composición inorgánica de los conos de gutapercha con microscopía electrónica de barrido (SEM)

En el análisis realizado mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) en los conos de gutapercha Wave One Primary y Reciproc 25 desinfectados con hipoclorito al 5.25% y

clorhexidina al 2%, se observaron cambios topográficos caracterizados por la presencia de cristales, microporosidades, pérdida de continuidad y erosión.

Al comparar los efectos de desinfección entre el hipoclorito al 5.25% y la clorhexidina al 2%, se observó que los conos Wave One Primary y Reciproc 25 tratados con hipoclorito al 5.25% presentaron más alteraciones, con una notable presencia de microporosidades, erosión aumentada, pérdida de continuidad y presencia de cristales de clorina (figura 9), en comparación con el cono control que no presentaba estas alteraciones. Al evaluar los conos Wave One Primary y Reciproc 25 tratados con clorhexidina al 2%, se encontró una menor presencia de erosión, cristal de carbono (figura 7) y pérdida de continuidad, en comparación con el hipoclorito de sodio al 5.25%. En estos casos, no se observaron microporosidades ni cristales de clorina, indicando que la clorhexidina al 2% tuvo un efecto menos agresivo en la superficie de los conos, en comparación con el hipoclorito al 5.25% (figuras 10 y 11).

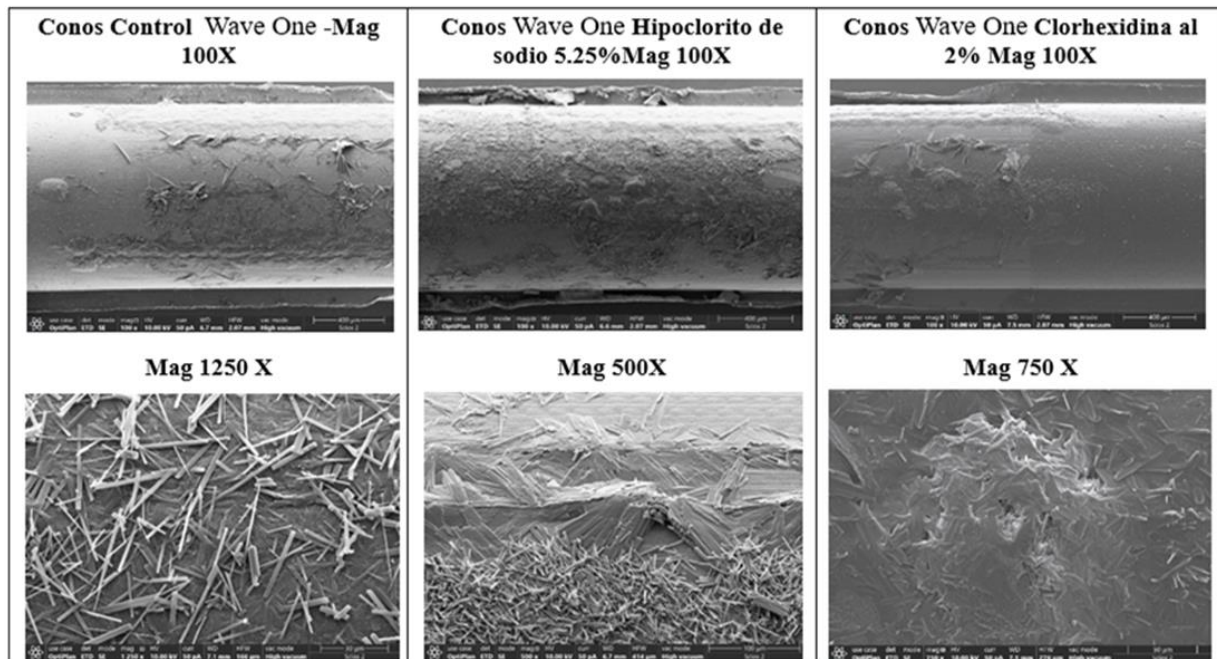
**Figura 9.** *Cristal de Clorina Hipoclorito de sodio 5.25% Conos Wave One Primary*

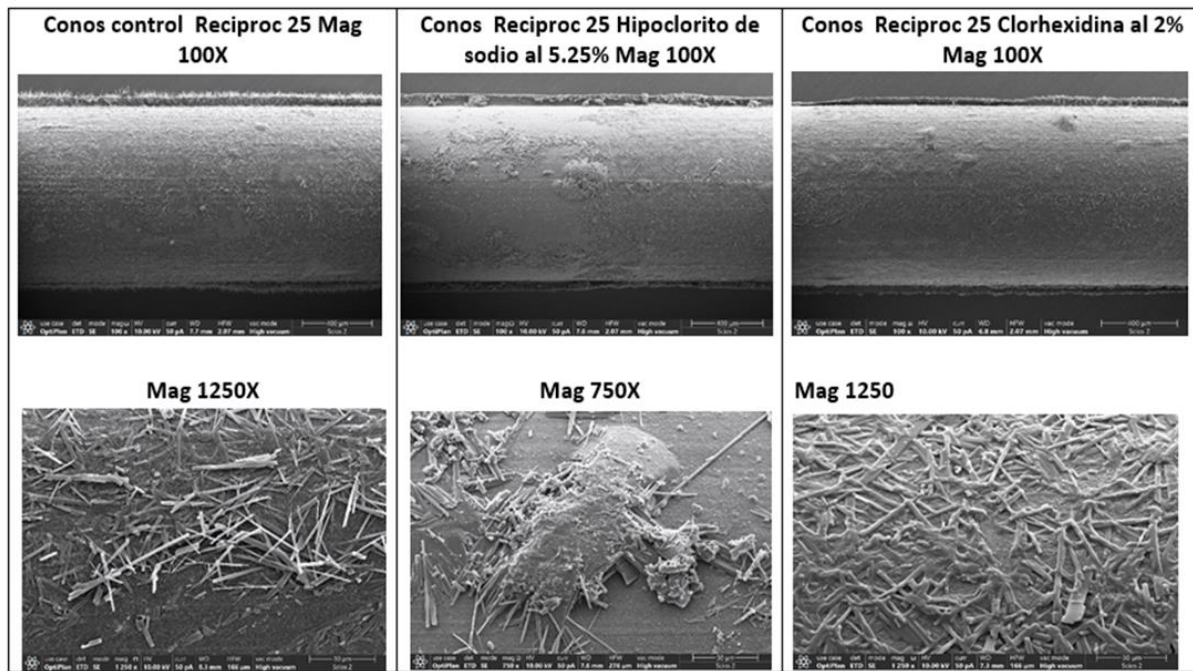


**Figura 10.** *Cristal de Carbono Clorhexidina 2% Conos Reciproc 25*



**Figura 11.** *Wave One Primary con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)*



**Figura 12.** *Reciproc 25 con Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)*

#### **5.4 Cambios químicos de los conos de gutapercha en los componentes inorgánicos (EDS) con mapeo de color**







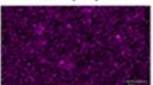



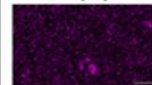



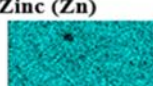



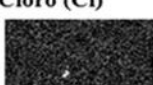



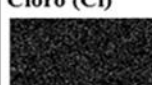
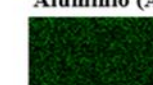
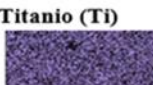

En el análisis mediante EDS con mapeo de color, se encontraron varios elementos inorgánicos en parte de los conos, como carbono, oxígeno, silicio, azufre, zinc, bario, cloro, aluminio, titanio y nitrógeno (figuras 10 y 11). En los conos de control Wave One Primary, se observaron un 9.70% de bario, un 36.11% de zinc y un 35.39% de carbono. Los conos de control Reciproc 25 mostraron un 12.64% de bario, un 47.65% de zinc y un 26.64% de carbono (figura 12).

En los conos de Wave One Primary desinfectados con hipoclorito al 5.25%, se observaron cambios ligeramente aumentados en un 10.92% de bario, un 39.36% de zinc y una disminución ligera del 32.86% de carbono, indicando menores microporosidades, pérdida de continuidad y erosión. Por otro lado, en la desinfección con clorhexidina al 2%, se registraron pérdidas leves de

un 9.44% de bario, un 33.91% de zinc y un ligero aumento del 37.23% de carbono, indicando pérdida de continuidad y erosión (figura 12).

Durante la desinfección de los conos Reciproc 25 con hipoclorito de sodio al 5.25%, se redujo el bario a un 3.84% y el zinc a un 12.67%, mientras que hubo un aumento del 49.59% en carbono, lo que indica microporosidades, pérdida de continuidad y erosión. Por otro lado, la desinfección de los conos Reciproc 25 con clorhexidina al 2% mostró un aumento del 15.76% en bario, un 51.76% en zinc por aglomeración de material inorgánico y una disminución del 17.55% en carbono, lo que indica pérdida de continuidad y erosión (figura 12).

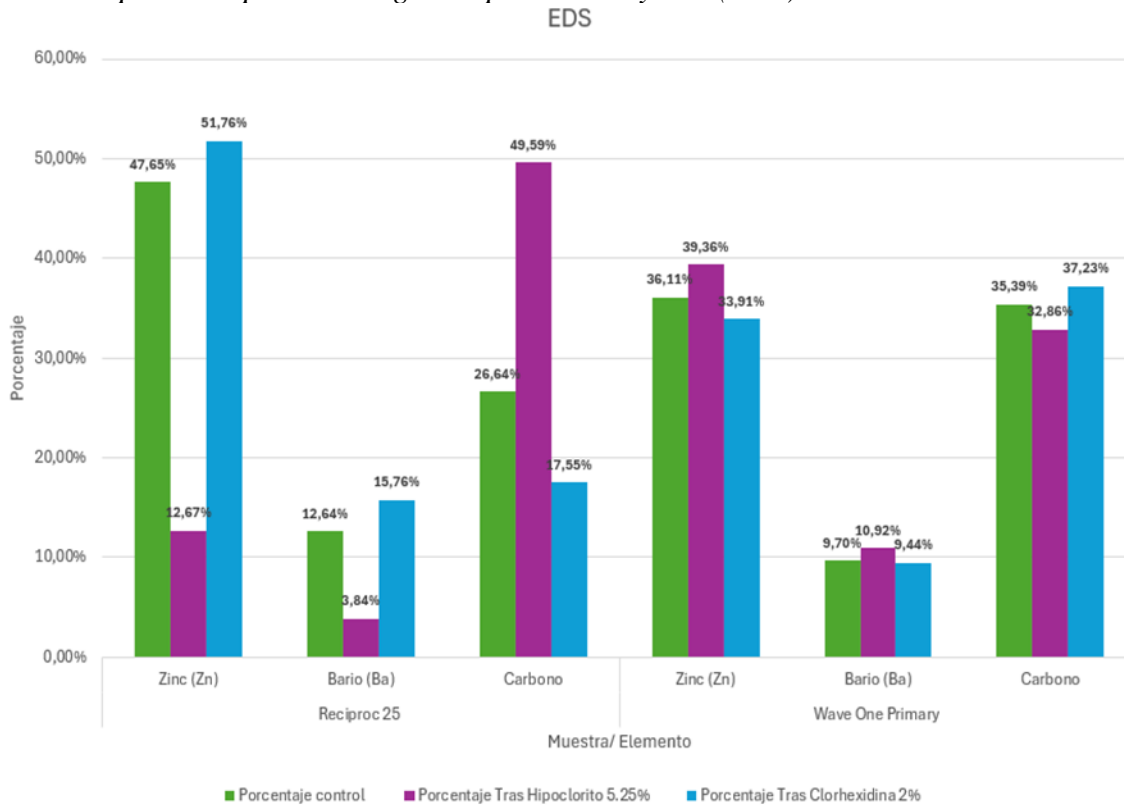
**Figura 13.** Conos Wave One Primary espectroscopía de energía dispersa de rayos X (EDS)

Conos control Wave One		Conos Wave One Hipoclorito de sodio 5.25%		Conos Wave One Clorhexidina al 2%	
Carbono (C) 	Oxígeno (O) 	Carbono (C) 	Oxígeno (O) 	Carbono (C) 	Oxígeno (O) 
Silicio (Si) 	Azufre(S) 	Silicio (Si) 	Azufre(S) 	Silicio (Si) 	Azufre(S) 
Zinc (Zn) 	Bario (Ba) 	Zinc (Zn) 	Bario (Ba) 	Zinc (Zn) 	Bario (Ba) 
Cloro (Cl) 	Aluminio (Al) 	Cloro (Cl) 	Aluminio (Al) 	Cloro (Cl) 	Aluminio (Al) 
		Titanio (Ti) 		Titanio (Ti) 	

**Figura 14.** Reciproc 25 Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS)

Conos control Reciproc 25		Conos Reciproc 25 Hipoclorito de sodio 5.25%		Conos Reciproc 25 Clorhexidina al 2%	
<b>Carbono (C)</b> 	<b>Oxígeno (O)</b> 	<b>Carbono (C)</b> 	<b>Oxígeno (O)</b> 	<b>Carbono (C)</b> 	<b>Oxígeno (O)</b> 
<b>Aluminio (Al)</b> 	<b>Silicio (Si)</b> 	<b>Aluminio (Al)</b> 	<b>Silicio (Si)</b> 	<b>Aluminio (Al)</b> 	<b>Silicio (Si)</b> 
<b>Azufre(S)</b> 	<b>Titania (Ti)</b> 	<b>Cloro (Cl)</b> 	<b>Titania (Ti)</b> 	<b>Cloro (Cl)</b> 	<b>Titania (Ti)</b> 
<b>Zinc (Zn)</b> 	<b>Bario (Ba)</b> 	<b>Zinc (Zn)</b> 	<b>Bario (Ba)</b> 	<b>Zinc (Zn)</b> 	<b>Bario (Ba)</b> 
				<b>Nitrógeno (N)</b> 	

**Figura 15.** Espectroscopía de Energía Dispersa de Rayos X (EDS)



## 6. Discusión

En su estado natural, la gutapercha es un polímero conocido como polisopreno, derivado del isopreno. Flores-Flores et ál. (2018) aclararon que los conos de gutapercha no están compuestos únicamente de gutapercha; también incluyen componentes orgánicos (como ceras y resinas) e inorgánicos (como óxido de zinc, sulfato de bario, sulfato de estroncio y sulfato de cadmio). Estos aditivos se utilizan para mejorar las características, propiedades y manejo de los conos en la práctica endodóntica.

En el presente estudio, *el análisis de FTIR* mostró que la composición orgánica de los conos de gutapercha se mantuvo estable durante la desinfección, corroborando la resistencia del polisopreno frente a agentes como el hipoclorito de sodio al 5.25% y la clorhexidina al 2%.

Aguilar-Hernández et ál. (2023) analizaron dos tipos de conos de gutapercha (Confort Fit e Hygienic) y encontraron vibraciones correspondientes a componentes del isopreno, así como a grupos metilo ( $-\text{CH}_3$ ) en longitudes de onda de  $2961\text{ cm}^{-1}$  y metileno ( $-\text{CH}_2$ ) en el rango de  $2800$  a  $2910\text{ cm}^{-1}$ . Estas vibraciones están relacionadas con las estructuras químicas presentes en la gutapercha y son consistentes con las longitudes de onda observadas en el estudio presente.

Schoemberg et ál. (1979) indicaron que la estabilidad de la estructura química de la gutapercha se debe a la alta resistencia de los polisoprenos frente a soluciones desinfectantes.

En el presente estudio se observó que no hay reacciones químicas significativas con la composición orgánica de los conos de gutapercha debido a su estructura química básica ( $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}_2$ ). Este polímero es notablemente resistente a la acción del hipoclorito de sodio al 5.25% y de la clorhexidina al 2%. Mientras que el hipoclorito actúa principalmente sobre el tejido orgánico, la clorhexidina se enfoca en inhibir el crecimiento bacteriano atacando la estructura celular. Los conos de gutapercha carecen de propiedades que faciliten una interacción

significativa con estos desinfectantes, lo que explica la ausencia de alteraciones en su composición orgánica, la cual influye en la flexibilidad, dureza y rigidez de los conos tras la exposición a estos agentes.

*El análisis mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) reveló cambios en la estructura topográfica y química inorgánica de los conos Wave One Gold Primary y Reciproc 25. Aunque la composición orgánica se mantuvo estable, los componentes inorgánicos son más vulnerables a cambios estructurales debido a su naturaleza química. Estos aditivos son esenciales para la funcionalidad, resistencia, adhesión y biocompatibilidad de los conos, y podrían haber sido afectados por la desinfección con hipoclorito de sodio al 5.25% y clorhexidina al 2%.*

Las alteraciones topográficas en los conos de gutapercha son el resultado de factores químicos y físicos. El hipoclorito de sodio, como potente agente oxidante, puede oxidar componentes inorgánicos a un pH de 11 a 12.5, provocando microporosidades y erosiones que afectan la homogeneidad e impermeabilidad del material. Esta reacción libera protones ( $H^+$ ), lo que puede reducir el pH y favorecer la descomposición del hipoclorito, generando gas cloro ( $Cl_2$ ) y promoviendo la cristalización de cloro en los conos. Estos cristales pueden comprometer la integridad de los conos.

La clorhexidina, con un pH entre 5.5 y 7.0, también puede interactuar con los componentes inorgánicos de los conos, desestabilizando enlaces químicos y provocando erosiones y microporosidades. Estas alteraciones resultan en la pérdida de continuidad de los conos, interrumpiendo su superficie lisa y uniforme, lo que genera riesgos de filtración y fracaso endodóntico.

Pang et ál. (2007) reportaron rugosidades en las superficies de los conos de gutapercha sumergidos en clorhexidina al 2%, así como figuras cúbicas en la superficie de los conos tratados

con hipoclorito de sodio al 5.25%. A aumentos de 10 000X, encontraron figuras redondeadas en las zonas más profundas de los conos, hallazgos que son semejantes a los del presente estudio.

Nabeshima (2010) indica que el hipoclorito de sodio en altas concentraciones (5.25%) puede provocar la formación de una gran cantidad de cristales de cloruro en la superficie del cono de gutapercha, lo que incluye un aumento en la profundidad de las irregularidades de la superficie y una pérdida de elasticidad. Estas alteraciones pueden dificultar el sellado adecuado de la obturación, ya que no hay una buena unión del material al cono.

Grecca et ál. (2010) concluyeron que la desinfección con hipoclorito de sodio y clorhexidina produce alteraciones más marcadas e irregularidades en la superficie, siendo el hipoclorito de sodio al 5.25% el que causa el efecto más pronunciado. Estos resultados son consistentes con el presente estudio.

Mishra (2018) señala que el hipoclorito de sodio al 5.25% influye en el fracaso del sellado apical al promover cambios irreversibles en los conos de gutapercha, enfatizando que el período de desinfección no debe extenderse más allá del mínimo necesario para evitar efectos adversos en la integridad del sellado.

Varghese et ál. (2018) encontraron, al igual que en el presente estudio, que al sumergir los conos en hipoclorito de sodio al 5.25% durante 1 y 5 minutos se formaban cristales. También observaron irregularidades en la superficie cuando se usaba clorhexidina.

Prado et ál. (2012) y Chandrappa et ál. (2014) observaron cambios en la superficie de los conos tratados con hipoclorito de sodio y clorhexidina, específicamente que el hipoclorito de sodio generaba rugosidades, de acuerdo con el presente estudio.

Pineda Vélez et ál. (2022) reportaron que el hipoclorito de sodio y la clorhexidina causaron modificaciones más agresivas en comparación con otros desinfectantes, como el peróxido de hidrógeno y el glutaraldehído al 2%.

*El análisis realizado mediante espectroscopia de dispersión de energía (EDS) con mapeo de color*, de acuerdo con los resultados en la desinfección de los conos Wave One Primary con hipoclorito al 5.25%, indica que el aumento del bario mejora la radiopacidad y la estabilidad del cono; este incremento se atribuye al pH alto del hipoclorito, que favorece la solubilidad del bario. Además, el aumento en el zinc potencia la propiedad antimicrobiana y la resistencia de los conos. Se detectó una disminución en el carbono, esencial para la elasticidad de los conos de gutapercha.

En contraste, la disminución del bario y del zinc en los conos Reciproc 25 en contacto con el hipoclorito de sodio al 5.25% sugiere una pérdida de radiopacidad y actividad antimicrobiana. Por otra parte, el aumento del carbono mejora la elasticidad y flexibilidad, optimizando su adaptación a la anatomía del canal radicular y reduciendo el riesgo de filtración.

La desinfección con clorhexidina al 2% en los conos Wave One Primary disminuye el bario y el zinc, lo que podría comprometer las propiedades antimicrobianas y de radiopacidad del cono. Además, el aumento en el contenido de carbono podría indicar una mejora en la rigidez.

Por otro lado, los conos Reciproc 25 con clorhexidina al 2% aumentan el bario y el zinc, mejoran las propiedades de radiopacidad y las propiedades antimicrobianas. Sin embargo, la disminución del carbono compromete la rigidez y la adaptación de los conos.

Prado (2011) utilizó espectroscopia de dispersión de energía (EDS) para mostrar la presencia de elementos como sodio y cloro en los conos de gutapercha tras ser sumergidos en hipoclorito de sodio, lo que indica la formación de una sal. Además, se detectó cloro proveniente

del hipoclorito de sodio en las muestras antes del enjuague con agua, lo que se relaciona con nuestro estudio al evaluar los conos después de la inmersión en soluciones desinfectantes.

Carvalho (2015) también utilizó EDS y reportó una reducción significativa del zinc al emplear hipoclorito de sodio para la desinfección de los conos. Sin embargo, Türker (2015) encontró resultados contradictorios, ya que en su análisis de EDS no se observaron cambios en la composición de los conos después de la exposición a los diferentes agentes desinfectantes.

## 7. Conclusiones

La composición orgánica de los conos de gutapercha se mantiene intacta tras la desinfección con hipoclorito de sodio y clorhexidina, lo que indica que estos desinfectantes no afectan su flexibilidad, dureza ni rigidez.

Los componentes inorgánicos son más susceptibles a alteraciones por los desinfectantes, lo que revela su vulnerabilidad a la acción oxidante. Se observaron erosiones, microporosidades y formación de cristales en la superficie de los conos, lo que podría comprometer su eficacia de sellado.

Los conos Wave One Gold Primary y Reciproc 25 mostraron afectaciones significativas en zinc, bario y carbono tras la desinfección, siendo el Reciproc 25 el más afectado.

El hipoclorito de sodio al 5.25% presenta una acción más corrosiva en comparación con la clorhexidina al 2%, aunque es efectiva es menos dañina.

Se sugiere realizar investigaciones adicionales para explorar los efectos de diferentes tiempos de exposición y concentraciones de desinfectantes en los conos de gutapercha.

### Referencias

- Carvalho, A. S., Leal, F. M., Vasconcelos, R. A., Junqueira, R. B. y Gonçalves, S. H. F. (2015). EDS analysis of gutta-percha cones disinfected by 1% and 2.5% sodium hypochlorite solutions. *Brazilian Dental Science*, 18(4), 84-88. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.237248>
- Cheng, Y., Huang, S., Hsien, H., Chiang, Y. y Lin, C. (2014). Influence of cyclic heating on physical property and biocompatibility of  $\alpha$ - and  $\beta$ -form gutta-percha. *Journal of the Formosan Medical Association*, 113(8), 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2012.07.035>
- Combe, E. C., Cohen, B. D. y Cummings, K. (2001). Alpha- and beta-forms of gutta-percha in products for root canal filling. Minnesota Dental Research Center for Biomaterials and Biomechanics; 3M Dental Products Division; Department of Restorative Dentistry, University Dental Hospital of Manchester.
- de Assis, D. F., Prado, M. y Simão, R. A. (2012). Efecto de las soluciones desinfectantes sobre la fuerza de adhesión de los materiales de obturación del conducto radicular. *Revista de Endodoncia*, 38(6), 853-855. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.01.002>
- Deus, F. P. y Ouanounou, A. (2022). Chlorhexidine in dentistry: Pharmacology, uses, and adverse effects. *International Dental Journal*, 72(3), 269-277.
- Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spanó, J. C., Marchesan, M. A. y Pécora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian Dental Journal*, 13(2), 113-117. <https://doi.org/10.1590/s0103-64402002000200007>
- Flores-Flores, A. G. y Pastenes-Orellana, A. (2018). Técnicas y sistemas actuales de obturación en endodoncia. Revisión crítica de la literatura. *Revista Kiru*, 15(2).

- Gomes, B. P. F. A., Berber, V. B., Montagner, F., Sena, N. T., Zaia, A. A., Ferraz, C. C. R. y Souza-Filho, F. J. (2007). Residual effects and surface alterations in disinfected Gutta-percha and resilon cones. *Journal of Endodontics*, 33(8), 948-951. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.11.024>
- Goodman, A., Schilder, H. y Aldrich, W. (1974). The thermomechanical properties of gutta-percha: II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 37(6), 954-961.
- Grecca, F. S., Porto, M., Fontanella, V. R. C. y Scarparo, R. K. (2011). SEM evaluation of thermoplastic endodontic materials alterations after disinfection: A new experimental model. *Microscopy Research and Technique*, 74(1), 109-112. <https://doi.org/10.1002/jemt.20879>
- Kandaswamy, D. y Venkateshbabu, N. (2010). Root canal irrigants. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), 256-264. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.73378>
- Linke, H. A. B. y Chohayeb, A. A. (1983). Effective surface sterilization of gutta-percha points. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 55(1), 73-77. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(83\)90309-2](https://doi.org/10.1016/0030-4220(83)90309-2)
- Maniglia-Ferreira, C., Da Silva, J. S., De Paula, R. C., Feitosa, J. P., Cortez, D. G. N., Zaia, A. A. y De Souza-Filho, F. J. (2005). Brazilian gutta-percha points: Part I: Chemical composition and X-ray diffraction analysis. *Brazilian Oral Research*, 19(3), 193-197. <https://doi.org/10.1590/s1806-83242005000300007>
- Maniglia-Ferreira, C., Gurgel-Filho, E. D., Da Silva, J. S., De Paula, R. C., Feitosa, J. P., De Almeida Gomes, B. P. F. y De Souza-Filho, F. J. (2007). Brazilian gutta-percha points.

- Part II: Thermal properties. *Brazilian Oral Research*, 21(1), 29-34.  
<https://doi.org/10.1590/s1806-83242007000100005>
- Mishra, P. y Tyagi, S. (2018). Surface analysis of gutta-percha after disinfecting with sodium hypochlorite and silver nanoparticles by atomic force microscopy: An in vitro study. *Dental Research Journal*, 15(4), 242. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.237248>
- Mohammadi, Z. (2008). Sodium hypochlorite in endodontics: An update review. *International Dental Journal*, 58(6), 329-341. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.2008.tb00354.x>
- Möller, B. y Örstavik, D. (1985). Influence of antiseptic storage solutions on physical properties of endodontic gutta-percha points. *European Journal of Oral Sciences*, 93(2), 158-161.  
<https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1985.tb01325.x>
- Moorer, W. R. y Genet, J. M. (1982). Antibacterial activity of gutta-percha cones attributed to the zinc oxide component. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 53(5), 508-517.  
[https://doi.org/10.1016/0030-4220\(82\)90468-6](https://doi.org/10.1016/0030-4220(82)90468-6)
- Neciosup Álvarez, M. (2017). Comparación de los efectos de tres sustancias desinfectantes en las características superficiales de los conos de gutapercha evaluados mediante microscopía de barrido electrónico.
- Newbury, D. E. y Ritchie, N. W. (2013). Is scanning electron microscopy/energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS) quantitative? *Scanning*, 35(3), 141-168.
- Nunes, A. M., Gouvea, J. P. y Da Silva, L. (2019). Influence of different disinfection protocols on gutta-percha cones surface roughness assessed by two different methods. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 5464-5470.
- PerkinElmer. (s. f.). Spectrum Two™ FT-IR Spectrometer. *PerkinElmer*.  
<https://www.perkinelmer.com/category/spectrum-two-ft-ir-spectrometer>

- Reddy, K. H., Chandran, L., Mohan, T. M., Sudha, K., Malini, D. L. y Dominic, B. (2023). Evaluation of the efficacy of a novel disinfecting material on the surface topography of gutta-percha: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 26(1), 94.
- Sahinkesen, G., Oktay, E. A., Er, Ö., Koçak, M. M. y Kiliç, A. (2011). Evaluation of residual antimicrobial effects and surface changes of gutta-percha disinfected with different solutions. *Journal of Contemporary Dental Practice*, 12(1), 47-51.
- Short, R. D., Dorn, S. O. y Kuttler, S. (2003). The crystallization of sodium hypochlorite on gutta-percha cones after the rapid-sterilization technique: An SEM study. *Journal of Endodontics*, 29(10), 670-673. <https://doi.org/10.1097/00004770-200310000-00015>
- Siqueira, J. F. Jr., Da Silva, C. H., Cerqueira, M. das D., Lopes, H. P. y De Uzeda, M. (1998). Effectiveness of four chemical solutions in eliminating *Bacillus subtilis* spores on gutta-percha cones. *Endodontics & Dental Traumatology*, 14(3), 124-126. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.1998.tb00824.x>
- Stewart, G. G. (1955). The importance of chemomechanical preparation of the root canal. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*, 8(9), 993-997. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(55\)90303-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(55)90303-0)
- Tilakchand, M., Naik, B. y Shetty, A. S. (2014). A comparative evaluation of the effect of 5.25% sodium hypochlorite and 2% chlorhexidine on the surface texture of gutta-percha and resilon cones using atomic force microscope. *Journal of Conservative Dentistry*, 17(1), 18. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.124102>
- Topuz, Ö., Sağlam, B. C., Şen, F., Şen, S., Gökağaç, G. y Görgül, G. (2011). Effects of sodium hypochlorite on gutta-percha and Resilon cones: An atomic force microscopy and scanning

- electron microscopy study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 112(4), e21-e26. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.03.002>
- Valois, C. R., Silva, L. P. y Azevedo, R. B. (2005). Structural effects of sodium hypochlorite solutions on gutta-percha cones: Atomic force microscopy study. *Journal of Endodontics*, 31(10), 749-751. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000158012.01520.e5>
- Vishwanath, V. y Rao, H. M. (2019). Gutta-percha in endodontics - A comprehensive review of material science. *Journal of Conservative Dentistry*, 22(3), 216. [https://doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_420\\_18](https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_420_18)
- Vitali, F. C., Nomura, L. H., Delai, D., Henriques, D. H. N., Alves, A. M. H., Fonseca Roberti Garcia, L., Bortoluzzi, E. A. y Teixeira, C. S. (2019). Disinfection and surface changes of gutta-percha cones after immersion in sodium hypochlorite solution containing surfactant. *Microscopy Research and Technique*, 82(8), 1290-1296. <https://doi.org/10.1002/jemt.23279>
- Webber. (2016). Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system.
- Zanatta, J. N., Kopper, P. y Vassen, A. B. (2021). Gutta-percha cones: Properties for current endodontic practice.
- Zehnder, M. (2006). Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32(5), 389-398. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.014>