

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE ODONTOLOGIA  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DEL LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO  
940NM, PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS DEL BIOFILM EN LOS  
CONDUCTOS RADICULARES.**

Por

ANAHI DIAZ GAMEZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de:  
MAESTRÍA EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ENDODONCIA

Agosto 2024

MAESTRÍA EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS EN EL ÁREA DE ENDODONCIA.

**EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DEL LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO  
940NM, PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS DEL BIOFILM EN LOS  
CONDUCTOS RADICULARES.**

**Comité de Tesis**

---

Dr. Jorge Jaime Flores Treviño  
Director de Tesis

---

Dr. Gustavo Israel Martínez González  
Co-Director de Tesis

---

Dra. Myriam Angelica de la Garza Ramos  
Asesora Metodológica

---

Dr. Gustavo Israel Martínez González  
Asesor en Estadística

MAESTRÍA EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS  
EN EL ÁREA DE ENDODONCIA.

**EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DEL LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO  
940NM, PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS DEL BIOFILM EN LOS  
CONDUCTOS RADICULARES.**

---

**C.D.M.Sc. JORGE JAIME FLORES TREVIÑO**  
COORDINADOR DEL POSGRADO DE ENDODONCIA

---

**C.D.M.O.A. ROSA ISELA SÁNCHEZ NÁJERA PhD**  
SUBDIRECTORA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE ODONTOLOGÍA  
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**EFFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DEL LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO  
940NM, PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS DEL BIOFILM EN LOS  
CONDUCTOS RADICULARES.**

**APROBACION DE LA TESIS**

LOS MIEMBROS DEL JURADO ACEPTAMOS LA INVESTIGACIÓN Y APROBAMOS EL  
DOCUMENTO QUE AVALA LA MISMA; COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE MAESTRIA EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS EN EL ÁREA  
EN ENDODONCIA.

**HONORABLES MIEMBROS DEL JURADO**

---

**Dr.  
PRESIDENTE**

---

**Dr.  
SECRETARIO**

---

**Dr.  
VOCAL**

## **AGRADECIMIENTOS**

La culminación de esta tesis de maestría en endodoncia representa el resultado de un esfuerzo conjunto en el que muchas personas han contribuido con su apoyo, conocimientos y motivación.

A mis profesores y colegas del Posgrado de Endodoncia les extiendo mi gratitud por compartir conmigo su experiencia y conocimientos a lo largo de este programa. Su compromiso con la educación y la investigación en el campo de la endodoncia ha sido una fuente constante de inspiración. Su dedicación y sus consejos han sido esenciales para llevar a cabo este trabajo con éxito.

A mi familia, quienes han sido mi mayor soporte a lo largo de este viaje académico. Gracias por su apoyo, paciencia y por inculcarme la importancia de la educación y el trabajo duro.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos en este posgrado, quienes me acompañaron y brindaron su apoyo incondicional durante este proceso.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

## **DEDICATORIA**

A mi familia,

Con todo mi amor y profunda gratitud, quiero dedicar esta tesis a ustedes, quienes han sido el pilar fundamental en cada etapa de mi vida.

Mi padre que con su dedicación y sacrificio ha sido mi apoyo, y es la razón por la que he llegado hasta aquí.

Este logro no es solo mío, es también de ustedes, porque sin su apoyo constante, su fe en mí, y sus innumerables sacrificios, no habría podido alcanzar este sueño.

Con todo mi corazón, les dedico este trabajo.

## INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	5
DEDICATORIA.....	6
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
1. INTRODUCCIÓN .....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. JUSTIFICACIÓN.....	13
4. HIPÓTESIS .....	14
5. OBJETIVOS. ....	15
6. ANTECEDENTES.....	16
6.2 Anatomía de los conductos radiculares .....	16
6.3 Microbiología endodóntica.....	16
6.4 <i>Enterococcus faecalis</i> .....	16
6.5 <i>Porphyromonas endodontalis</i> .....	17
6.6 Instrumentación y conformación de los conductos radiculares .....	17
6.7 Desinfección del sistema de conductos radiculares.....	17
6.7.1 Sustancias irrigantes para la desinfección .....	17
6.8 Activación de los irrigantes .....	18
6.8.1 Irrigación manual dinámica.....	18
6.8.1.1 Activación ultrasónica.....	18
6.8.1.2 EndoActivator .....	18
6.8.1.3 EndoVac .....	18
6.7 LASER .....	18
6.7.1 Láser de erbio, cromo, escandio, galio, granate (Er,Cr:YSGG).....	18
6.7.2 Láser de diodo .....	19
7. METODOLOGÍA .....	20
7.1 Preparación de las piezas .....	20
7.2 Instrumentación de las Piezas.....	20
7.3 Esterilización de las Piezas.....	20
7.4 Fase microbiológica.....	20
7.4.1 Inoculación y activación de <i>Enterococcus faecalis</i> .....	20
7.4.2 Inoculación y activación de <i>Porphyromonas endodontalis</i> .....	20
7.5 Activación de laser. ....	20
7.6 Ultrasonido + NaOCl.....	21
7.7 Recolección de muestra microbiológica posterior al tratamiento.....	21
7.7.1 Diluciones: .....	21

7.7.2	Siembra en agar .....	21
7.8	Preparación de muestras para evaluación mediante SEM .....	22
7.9	Preparación de las muestras para experimento de permeabilidad .....	22
7.9.1	Evaluación de la penetración del irrigate por microscopia óptica.....	22
8.	RESULTADOS .....	23
8.1	Conteo de UFC .....	23
8.1.2	Grupo 1: control positivo. ....	23
8.1.3	Grupo 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25% .....	23
8.1.4	Grupo 3: Laser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H2O. ....	23
8.1.5	Grupo 4: Laser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCl 5.25%.....	24
8.2	Imágenes de Microscopia electrónica de barrido (SEM).....	24
8.3	Imágenes de Microscopia óptica. ....	27
8.4	Análisis estadístico .....	28
9.	DISCUSIÓN .....	31
10.	CONCLUSIÓN.....	33
11.	LITERATURA CITADA .....	34



**Nombre:** Anahí Díaz Gámez.

**Universidad Autónoma de Nuevo León.**

**Facultad De Odontología.**

**Maestría en Endodoncia**

**Título de Estudio: EFECTIVIDAD DE LA APLICACIÓN DEL LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM, PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS DEL BIOFILM EN LOS CONDUCTOS RADICULARES.**

## RESUMEN

**INTRODUCCIÓN:** La irrigación activada con Láser se consideran métodos alternativos para liberar el irrigante en las regiones internas del sistema de conductos radiculares logrando una mayor capacidad de limpieza (Betancourt P et al., 2020). **OBJETIVO:** Evaluar la desinfección del conducto radicular con el uso de Láser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm. **MATERIALES Y MÉTODOS:** Se almacenaron un total de 20 piezas uniradiculares, se seccionaron en la unión cemento esmalte para obtener una longitud del conducto radicular de 14mm. Los conductos se instrumentaron utilizando Wave One Gold #35 y se esterilizaron en autoclave. Los dientes se inocularon con Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Se dividieron las muestras en 4 grupos para realizar el protocolo de desinfección. Grupo 1: control (+), grupo 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25%, grupo 3: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H<sub>2</sub>O, grupo 4: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCl 5.25%. Posteriormente de tomaron muestras para su inoculación en Infusión cerebro corazón (BHI) y se sembraron en agar para su conteo de colonias. En el estudio se utilizó Microscopia electrónica de barrido (SEM) para analizar las muestras antes y después del tratamiento. Se utilizo análisis de normalidad con Shapiro-Wilk y análisis de datos mediante ANOVA. **RESULTADOS:** La desinfección con Láser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O fue significativamente mejor ( $p < 0,05$ ), mientras que la irradiación con Láser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5,25% no resultó en una reducción estadísticamente significativa del biofilm ( $p > 0,05$ ). **CONCLUSIÓN:** El Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O fue la herramienta más eficaz en la erradicación de biopelículas de *E. faecalis* y *P. gingivalis*.

---

**Dr. Jorge Jaime Flores Treviño/ Director de Tesis**

---

**Dr. Gustavo Israel Martínez González/ Co-Director de Tesis**

**Nombre:** Anahí Díaz Gámez.

**Universidad Autónoma de Nuevo León.**

**Facultad De Odontología.**

**Maestría en Endodoncia**

**Título de Estudio: EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF THE LASER ER;CR YSGG 2780NM + DIODE 940NM, FOR THE ELIMINATION OF MICROORGANISMS FROM THE BIOFILM IN THE ROOT CANALS.**

## **ABSTRACT**

**INTRODUCTION:** Laser-activated irrigation are considered alternative methods to release the irrigant in the internal regions of the root canal system, achieving greater cleaning capacity (Betancourt P et al., 2020). **OBJECTIVE:** To evaluate the disinfection of the root canal with the use of Er;Cr Laser YSGG 2780nm + Diode 940nm. **MATERIALS AND METHODS:** A total of 20 single-root pieces were stored, they were sectioned at the cement-enamel junction to obtain a root canal length of 14 mm. The canals were instrumented using Wave One Gold #35 and autoclaved. The teeth were inoculated with Biofilm of *E. faecalis* and *P. gingivalis*. The samples were divided into 4 groups to carry out the disinfection protocol. Group 1: control (+), group 2: Ultrasound + NaOCl 5.25%, group 3: Laser ER;CR YSGG 2780NM + Diode 940NM + H<sub>2</sub>O, group 4: Lser ER;CR YSGG 2780NM + Diode 940NM + NaOCl 5.25%. Subsequently, samples were taken for inoculation in Brain Heart Infusion (BHI) and were sown on agar for colony counting. The study used Scanning Electron Microscopy (SEM) to analyze the samples before and after treatment. Normality analysis was used with Shapiro-Wilk and data analysis using ANOVA. **RESULTS:** Disinfection with Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diode 940nm + H<sub>2</sub>O was significant better ( $p < 0.05$ ), while irradiation with Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diode 940nm + NaOCl 5.25% did not result in a statistically significant reduction of biofilm ( $p > 0.05$ ). **CONCLUSION:** Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diode 940nm + H<sub>2</sub>O was the most effective tool in the eradication of *E. faecalis* and *P. gingivalis* biofilms.

---

**Dr. Jorge Jaime Flores Treviño/ Director de Tesis**

---

**Dr. Gustavo Israel Martínez González/ Co-Director de Tesis**

## 1. INTRODUCCIÓN

La endodoncia es el diagnóstico y tratamiento de las patologías pulpares y sus secuelas, por lo mismo, un conocimiento de la biología pulpar es esencial para el desarrollo de un plan de tratamiento adecuado que resuelva las necesidades del paciente.

Dentro del tratamiento, existe la problemática de eliminar los microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares.

Una de las bacterias más difíciles de eliminar es el *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), que es un Gram-positivo coco, anaerobio facultativo, es un microorganismo primario responsable de la enfermedad post-tratamiento endodóntico. *E. faecalis* es capaz de adaptarse a las condiciones adversas que encuentra dentro del conducto, debido a su capacidad para formar una biopelícula.

*P. endodontalis*

La irrigación es una parte clave del éxito del tratamiento del conducto radicular. Tiene varias funciones importantes, que pueden variar según el irrigante utilizado: reduce la fricción entre el instrumento y la dentina, mejora la eficacia de corte de las limas, disuelve el tejido, enfría la lima y el diente y, además, tiene un efecto de lavado y un efecto antimicrobiano/antibiofilm. La irrigación también es la única forma de impactar aquellas áreas de la pared del conducto radicular que no han sido tocadas por la instrumentación mecánica.

El hipoclorito de sodio (NaOCl), el irrigante endodóntico más utilizado, se utiliza en concentraciones entre 0,5% y 6%. Características como la solubilidad del tejido y los efectos proteolíticos sobre los microorganismos lo convierten en un potente desinfectante. NaOCl no es selectivo, en altas concentraciones puede dañar la dentina, los tejidos periodontales y las células humanas.

Hoy en día, uno de los métodos relativamente nuevo, más recomendado, para aumentar la desinfección de conductos radiculares es el uso de láseres. Debido a que la energía láser tiene la capacidad de penetrar el tejido dentinario, pueden acceder en áreas que no son accesibles en el sistema de conductos radiculares.

La irrigación activada con Laser se consideran métodos alternativos para liberar el irrigante en las regiones internas del sistema de conductos radiculares logrando una mayor capacidad de limpieza. Para poder utilizar el láser se requiere el uso de una punta de disparo radial (RFT) que se desarrolló para mejorar la distribución de la luz dentro de los conductos radiculares y esta punta también brinda una cobertura superior de las paredes del conducto radicular en comparación con las puntas convencionales de emisión hacia adelante.

La irrigación activada por láser (LAI) que utiliza láseres de erbio (Er:YAG: 2980 nm–Er,Cr:YSGG: 2780 nm) se ha propuesto como un método alternativo para liberar el irrigante más profundamente, lo que aumenta la capacidad de limpieza dentro del conducto radicular. sistema. LAI se basa en la formación, expansión y posterior colapso de burbujas de vapor provocadas por el láser pulsado como consecuencia de la inducción de fenómenos de cavitación específicos y transmisión acústica.

Los láseres de diodo de longitudes de onda de 810, 940 y 980 nm se sabe que también ofrecen una mejor penetración a áreas formalmente inaccesibles de la red tubular, permitiendo la acción de desinfección a capas más profundas de dentina.

Por todo lo antes mencionado, se decidió que era importante probar a través de un protocolo el uso de estos dos tipos de láseres, para poder verificar si con esto se podía lograr potenciar el efecto de desinfección en el tratamiento de endodoncia, lo que ayudará a mejorar el pronóstico del tratamiento a un plazo mayor.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

*E. faecalis* y *P. endodontalis* son microorganismos que se encuentran en las infecciones de los conductos radiculares. Debido a la dificultad de poderse eliminar de dichos conductos, hoy en día se presentan diferentes propuestas para erradicarlo.

¿Será posible lograr una mayor desinfección en el tratamiento endodóntico con la utilización de los láseres en los conductos radiculares?

### 3. JUSTIFICACIÓN

Se ha encontrado la persistencia de algunas bacterias como *E. faecalis* y *P. endodontalis* en los tratamientos endodónticos, por lo cual es importante implementar nuevas alternativas para eliminar estos microorganismos. En la actualidad se han empezado a utilizar los láseres en endodoncia como un medio para poder desinfectar los conductos radiculares y no hay suficientes estudios que describan los beneficios del uso de Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm como protocolo de desinfección en el tratamiento de endodoncia.

De ahí la importancia de estudiar nuevos métodos para mejorar la desinfección de los conductos radiculares y lograr un mejor pronóstico en los tratamientos.

#### **4. HIPÓTESIS**

Hipótesis alternativa: La utilización de los láseres Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm da una mayor desinfección de los conductos radiculares.

Hipótesis nula: La utilización de los láseres Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm no da una mayor desinfección de los conductos radiculares.

## 5. OBJETIVOS.

Objetivo general:

Evaluar la desinfección de los conductos radiculares con el uso de láser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm.

Objetivos específicos:

- Examinar la eliminación de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con la utilización de NaOCl con ultrasonido.
- Analizar la eliminación de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con la utilización de los láseres Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O.
- Analizar la eliminación de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con la utilización de los láseres Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5.25%
- Contrastar los resultados obtenidos mediante SEM.
- Contrastar los resultados obtenidos mediante conteo de UFC.

## **6. ANTECEDENTES**

### **6.1 Tratamiento de endodoncia**

La endodoncia se encarga de diagnosticar y tratar las enfermedades de la pulpa dental y sus consecuencias. Es fundamental tener un conocimiento profundo de la biología pulpar para poder elaborar un plan de tratamiento adecuado (Torabinejad y Walton, 2009). Los principales objetivos de un tratamiento endodóntico son dar forma y limpiar el sistema de conductos radiculares, además de preservar los tejidos periodontales circundantes (Dioguardi M et al., 2018).

### **6.2 Anatomía de los conductos radiculares**

Los tratamientos de endodoncia suelen tener altas tasas de éxito a pesar de ser procedimientos invasivos y complicados, especialmente cuando se enfrentan anatomías complejas. Sin embargo, la falta de comprensión de la anatomía de los conductos radiculares puede llevar a complicaciones durante o después del procedimiento (Miccoli G et al., 2020).

Es esencial conocer la morfología de la raíz y del conducto radicular para realizar tratamientos endodónticos efectivos, ya sean quirúrgicos o no quirúrgicos. Las características morfológicas de las raíces, tanto externas como internas, son variadas y complejas, y existen diversas clasificaciones para describir los diferentes tipos de configuraciones de conductos más comunes (Ahmed HMA et al., 2017).

La correcta ejecución de los procedimientos de tratamiento del conducto radicular requiere un conocimiento profundo de la anatomía de la raíz y del conducto (Ahmed HMA, 2022).

### **6.3 Microbiología endodóntica**

Las bacterias son los microorganismos más prevalentes y dominantes en las infecciones endodónticas. Estas infecciones bacterianas en el sistema de conductos radiculares ocurren únicamente cuando la pulpa está necrótica o ha sido removida durante un tratamiento previo. Las bacterias presentes dentro del conducto suelen formar comunidades multiespecies sésiles, conocidas como biopelículas, que se adhieren a las paredes del conducto radicular dentinario (Siqueira JF Jr y Rôças IN et al., 2022).

Las bacterias pueden ingresar al sistema de conductos radiculares a través de diferentes vías, como diversas lesiones periodontales y grietas (Gaeta C et al., 2023). Las infecciones en el conducto radicular están mediadas por biopelículas. La complejidad y variabilidad del sistema de conductos radiculares, junto con la naturaleza multiespecífica de las biopelículas, hacen que la desinfección de este sistema sea extremadamente difícil. La persistencia de microorganismos parece ser el factor más significativo para el fracaso del tratamiento de conducto, lo cual podría afectar adicionalmente el dolor y la calidad de vida del paciente (Neelakantan P et al., 2017).

### **6.4 *Enterococcus faecalis***

*Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) es un coco Gram-positivo aerobio y es uno de los principales microorganismos responsables de las enfermedades que surgen después del tratamiento endodóntico. *E. faecalis* puede adaptarse a las condiciones adversas dentro del conducto radicular debido a su capacidad para formar biopelículas (Arul B, et al., 2021).

Este microorganismo puede sobrevivir por períodos prolongados en los conductos radiculares porque tolera ambientes altamente alcalinos y con pocos nutrientes, lo que le permite formar biopelículas e invadir profundamente el túbulo dentinario (Deng Z, et al., 2023).



## **6.5 Porphyromonas endodontalis**

*Porphyromonas endodontalis* (*P. endodontalis*) es una bacteria anaeróbica Gram negativa, asacarolítica y de pigmentación negra. Anteriormente conocida como *Bacteroides endodontalis*, esta bacteria es muy sensible al oxígeno, lo que dificulta su cultivo a partir de muestras clínicas.

*P. endodontalis* se encuentra principalmente en infecciones que se originan en la pulpa dental, aunque también ha sido aislada de las amígdalas, el dorso de la lengua y las bolsas periodontales de pacientes con lesiones periodontales y pulpares (Lombardo Bedran TB et al., 2012).

Esta bacteria coloniza tanto los conductos radiculares primarios como los que han sido reinfectados, siendo más común en los conductos radiculares primarios infectados (Wong J et al., 2021).

*P. endodontalis* se encuentra casi exclusivamente en conductos radiculares infectados, con una alta tasa de detección, y es considerada una de las bacterias principales en el entorno ecológico de los conductos radiculares infectados (Hong L et al., 2015).

## **6.6 Instrumentación y conformación de los conductos radiculares**

La conformación de los conductos radiculares incluye el desbridamiento mecánico, la creación de espacio para la administración de medicamentos y la optimización de la geometría del conducto para una obturación adecuada. Lamentablemente, los resultados de la preparación del conducto pueden verse afectados negativamente por la gran variabilidad en la anatomía de los conductos radiculares (Hargreaves y Cohen, 2011).

La introducción de la instrumentación automatizada en endodoncia ha representado un avance significativo para esta especialidad, mejorando la calidad y la previsibilidad de la preparación de los conductos radiculares y reduciendo significativamente los errores de procedimiento (Gavini G et al., 2018).

## **6.7 Desinfección del sistema de conductos radiculares**

Para que una terapia endodóntica sea exitosa, es fundamental eliminar las biopelículas endodónticas mediante meticolosos métodos de desinfección del conducto radicular. El hipoclorito de sodio (NaOCl) y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) son los irrigantes más efectivos y comúnmente utilizados para eliminar el barrillo dentinario en los tercios coronal y medio de los conductos dentales, aunque su efectividad disminuye considerablemente en el tercio apical (Bordea IR et al., 2020).

### **6.7.1 Sustancias irrigantes para la desinfección**

#### **6.7.1.1 Hipoclorito de sodio (NaOCl)**

El hipoclorito de sodio es la principal solución de irrigación utilizada para disolver la materia orgánica y eliminar eficazmente los microbios. Las soluciones de NaOCl de alta concentración son más efectivas que las de 1% y 2% (Haapasalo M et al., 2014). Este irrigante endodóntico, que se usa en concentraciones entre 0,5% y 6%, es conocido por su solubilidad en tejidos y efectos proteolíticos sobre los microorganismos, lo que lo convierte en un desinfectante potente. Sin embargo, NaOCl no es selectivo y, en altas concentraciones, puede dañar la dentina, los tejidos periodontales y las células humanas (Betancourt P et al., 2020). Las altas temperaturas aumentan la velocidad de reacción del NaOCl, mejorando su acción antibacteriana y su capacidad para disolver residuos orgánicos. Se recomienda calentar NaOCl a 50°C–60°C (Dioguardi M et al., 2018).

#### **6.7.1.2 Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA)**

Para la irrigación final del conducto radicular, se recomienda utilizar soluciones de EDTA al 15-17% para disolver el barrillo dentinario (Hülsmann M et al., 2023). Aunque el ácido etilendiaminotetraacético tiene un efecto antibacteriano limitado, se cree que esto se debe a la

quelación de cationes en la membrana externa de las bacterias. El uso complementario de EDTA puede ayudar a reducir la cantidad de endotoxinas en el conducto radicular contaminado (Dos Reis-Prado AH et al., 2022).

## **6.8 Activación de los irrigantes**

### **6.8.1 Irrigación manual dinámica**

Un método sencillo para mejorar la acción limpiadora del NaOCl es agitarlo dentro del conducto utilizando un cono de gutapercha, ajustado a la forma del conducto, realizando movimientos de 2-3 mm de amplitud dentro del mismo. Alternativamente, se puede emplear una herramienta manual como un portador o una lima K. Este movimiento genera un efecto hidrodinámico suficiente para que la solución irrigante alcance los espacios más estrechos. Es importante recordar que este método es útil para reemplazar el irrigante dentro del sistema de conductos radiculares, pero no mejora sus propiedades químicas. En otras palabras, agitar la solución de irrigación no incrementa su velocidad de reacción, pero sí aumenta su superficie de contacto con las paredes del conducto y reduce el efecto de bloqueo de vapor (Dioguardi M et al., 2018).

#### **6.8.1.1 Activación ultrasónica**

La irrigación ultrasónica pasiva (PUI) consiste en introducir la solución irrigante dentro del conducto y luego la punta ultrasónica, sin que esta toque las paredes del conducto. Por otro lado, la irrigación con aguja ultrasónica (UNI) implica la activación de la solución irrigante simultáneamente con su administración dentro del conducto. La vibración del inserto ultrasónico crea una corriente acústica que genera un esfuerzo cortante suficiente para desprender los desechos de los canales instrumentados (Dioguardi M et al., 2018).

#### **6.8.1.2 EndoActivator**

El sistema EndoActivator es un dispositivo de irrigación impulsado por sonido. Está compuesto por puntas de polímero flexibles y desechables en tres tamaños diferentes que no cortan la dentina de la raíz. Este sistema activa eficazmente el irrigante mediante una vigorosa agitación del fluido intracanal (Chaudhry S et al., 2017).

#### **6.8.1.3 EndoVac**

El sistema EndoVac es un dispositivo diseñado para administrar irrigantes de manera segura hasta el extremo apical de los conductos radiculares. El dispositivo incluye una punta de entrega/evacuación conectada a una jeringa de irrigante y a la succión de alto volumen del sillón dental. Utilizando una macro o microcánula unida al dispositivo de succión, el irrigante introducido en la cámara pulpar es aspirado por presión negativa hacia el canal hasta la punta de la cánula y extraído a través de la manguera de succión. Con un diámetro de 0,32 mm, la microcánula puede colocarse a la longitud de trabajo siempre que el canal esté preparado al menos a una Organización Internacional de Normas 35 o más (Miller TA et al., 2010).

## **6.7 LASER**

### **6.7.1 Láser de erbio, cromo, escandio, galio, granate (Er,Cr:YSGG)**

El láser Er,Cr:YSGG es un dispositivo indoloro, seguro y preciso, utilizado en tratamientos de tejidos duros y blandos. Este láser tiene una alta absorción en agua, lo que provoca la evaporación de los fluidos dentinarios (AlHabdan A et al., 2022). Los láseres de erbio cromo actúan mediante fotoablación, un proceso en el que el agua del tejido dental se convierte en vapor y explota, fragmentando así la estructura del diente. La energía del láser se transfiere a la solución de irrigación usando diversas puntas de fibra, como las de emisión lateral (Ahrari F et al., 2024).

El láser Er,Cr:YSGG opera a una longitud de onda de 2,79  $\mu\text{m}$ , y la ablación ocurre cuando las moléculas de agua absorben la energía, generando microrráfagas en la superficie de la dentina. La preparación de cavidades con este láser elimina el barrillo dentinario, abre los túbulos dentinarios y produce microirregularidades debido a la remoción de la dentina intertubular. Aunque no se comprende completamente el efecto del láser en la red de colágeno, se sabe que la irradiación láser puede causar cambios y microrrupturas en las fibras de colágeno (Silva AC et al., 2019).

### **6.7.2 Láser de diodo**

Los láseres de diodo operan en longitudes de onda que van desde el visible hasta el infrarrojo cercano, abarcando un rango de 800 a 980 nm. Utilizan una fibra óptica flexible de 200 a 600  $\mu\text{m}$  para dirigir el rayo láser al área objetivo, con emisión continua o pulsada. La alta absorción de melanina y hemoglobina permite que los láseres de diodo coagulen, corten, blanqueen y desinfecten, causando un daño mínimo a los tejidos duros y favoreciendo una mejor cicatrización postoperatoria. Las ventajas del láser de diodo incluyen cortes precisos, control de la hemostasia y la reducción del dolor o hinchazón postoperatorios, lo que ha sido demostrado en diversas cirugías de tejidos blandos (Atieh MA et al., 2022).

## 7. METODOLOGÍA

### 7.1 Preparación de las piezas

Se seleccionaron 20 piezas unirradiculares humanas extraídas.

Las coronas de las piezas se seccionaron en la unión amelocementaria tomando una medida de longitud estándar de 14mm.

### 7.2 Instrumentación de las Piezas

Se realizó instrumentación hasta lima #35 con Sistema rotatorio Wave One Gold.

Se utilizó como irrigante NaOCl al 5.25% entre cada instrumento para mantener permeable el conducto.

Se secaron los conductos con puntas de papel #40 (Hygienic) y se colocó EDTA al 17% por 1 minuto, posteriormente se irrigaron con solución salina y de nuevo se secaron con puntas de papel.

### 7.3 Esterilización de las Piezas

Se colocaron las piezas ya instrumentadas y desinfectadas anteriormente en un frasco de vidrio con suero fisiológico.

Posteriormente se selló el frasco con cinta testigo y se colocó en autoclave para su esterilización a 121°C durante 15 minutos.

### 7.4 Fase microbiológica

#### 7.4.1 Inoculación y activación de *Enterococcus faecalis*

Se tomaron 100 µl de *E. faecalis* (ATTC BAA-308) con una micropipeta eppendorf y se colocaron dentro del conducto radicular.

Se inocularon las piezas en tubos falcon con 900 µl de Infusión cerebro corazón (BHI) y se colocaron en la incubadora Shell a 37°C durante 24 horas.

#### 7.4.2 Inoculación y activación de *Porphyromonas endodontalis*.

24 horas después de la inoculación de *E. faecalis* se realizó la inoculación de *P. endodontalis*.

Se tomaron tubos falcon estériles y se les colocó un nuevo medio BHI (900 µl) para posteriormente colocar la pieza en el tubo.

Se colocaron 100 µl de *P. endodontalis* (ATTC 19433) con una micropipeta eppendorf y se colocaron dentro del conducto radicular y se colocó la pieza en el tubo.

Se colocaron en la incubadora Shell a 37°C durante 7 días.

Se dividieron las 20 piezas en grupos para realizar el protocolo:

- Grupo 1 (+): Biofilm (control)
- Grupo 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25%
- Grupo 3: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H<sub>2</sub>O
- Grupo 4: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCl 5.25%

### 7.5 Activación de laser.

- **Grupo 3:**

Se tomó la pieza con pinzas estériles y se comenzó el protocolo con Láser Er, Cr: YSGG con una punta de 200 micrones, introduciéndola a longitud de trabajo, utilizando los

parámetros de 1.25W, 40 Hz, spray agua- aire 90-30%, se realizaron con movimientos circulares a una velocidad de 2mm/s repitiendo el proceso 4 veces dejando 10 segundos entre cada ciclo.

Seguido se comenzó con el láser de Diodo a 940nm, 1.0W onda continua con una punta de 200 micrones, se realizó igualmente con movimientos circulares con velocidad de 2mm/s repitiendo el ciclo 4 veces sin ser necesario esperar para realizar la siguiente activación.

- **Grupo 4:**

Se tomo la pieza con pinzas y se comenzó el protocolo con Láser Er, Cr: YSGG con una punta de 200 micrones, introduciéndola a longitud de trabajo, utilizando los parámetros de 1.25W, 40 Hz, utilizando NaOCl al 5.25% en una jeringa de 10ml e irrigándose abundantemente realizando con movimientos circulares a una velocidad de 2mm/s repitiendo el proceso 4 veces dejando 10 segundos entre cada ciclo.

Seguido se comenzó con el láser de Diodo a 940nm, 1.0W onda continua con una punta de 200 micrones, se realizó igualmente con movimientos circulares con velocidad de 2mm/s repitiendo el ciclo 4 veces sin ser necesario esperar para realizar la siguiente activación.

## **7.6 Ultrasonido + NaOCl**

- **Grupo 2:**

Fue irrigado con NaOCl al 5.25%, el cual fue activado con una punta de ultrasonido #20 la cual se introdujo hasta 2 mm antes del ápice con una potencia de 45kHz, la activación se realizó durante 15 segundos con un período de enfriamiento de 30 segundos repitiendo el proceso 3 veces.

## **7.7 Recolección de muestra microbiológica posterior al tratamiento.**

Se tomaron las piezas previamente tratadas y se irriego el conducto radicular abundantemente con H<sub>2</sub>O estéril y con una punta de papel estéril #40 se tomo una muestra del conducto radicular.

Se coloco la punta de papel en un tubo eppendorf con 100MI de BHI y se colocaron en incubadora Shell a 37°C durante 24 horas.

### **7.7.1 Diluciones:**

Se colocaron 900MI de PBS en un tubo eppendorf nuevo y estéril; de cada tubo eppendorf que contenían la punta de papel previamente incubada se tomaron 100MI y se colocaron en el nuevo tubo con PBS y se realizaron 10 pipeteos, se llevó al Vortex por 10 segundos, del tubo trabajado se tomaron de nuevo 100MI y se llevo a un nuevo tubo con PBS hasta completar 5 diluciones.

### **7.7.2Siembra en agar**

De la 5ta dilución se tomaron 100MI y se colocaron al centro de una caja Petri estéril y se colocó el agar (BHI) realizando movimientos circulares durante 10 segundos para homogenizar la muestra. Se sello la caja y se colocó en la incubadora Shell a 37°C durante 24 horas. Se obtuvo el crecimiento bacteriano para su posterior conteo de UFC.

## **7.8 Preparación de muestras para evaluación mediante SEM**

Las muestras previamente tratadas se secaron por completo y se les realizó un corte longitudinal con disco de diamante y pieza de baja. Obteniendo así 2 fragmentos de la raíz para poder ser evaluados mediante SEM.

La evaluación se realizó en el Parque de Investigación e innovación tecnológica (PIIT-UANL). Se tomaron las muestras y se colocaron en un portaobjetos con cinta doble cara para ser sujetadas. Se observaron y se tomaron imágenes solo del tercio apical de las piezas, seleccionando aumentos de 3000x, 6,000x, 12000x y 25000x para así lograr observar las superficies después de los tratamientos.

Las imágenes se evaluaron cualitativamente a simple ciego por endodoncistas.

## **7.9 Preparación de las muestras para experimento de permeabilidad**

Posterior al tratamiento, se tomó 1 pieza por grupo, se selló el ápice de las piezas con cera pegajosa y las raíces se sellaron externamente con tres capas de cianoacrilato de etilo, se secaron y se transfirieron individualmente a un tubo Eppendorf. Las muestras se llenaron con colorante azul de metileno al 2 % con la ayuda de una jeringa hipodérmica durante 20 min. Una vez transcurrido este tiempo, se enjuagaron los conductos radiculares con jeringa hipodérmica y suero fisiológico, se secaron los conductos radiculares con puntas de papel absorbente. Se cortaron los primeros 2 mm del cuello y se excluyeron del estudio, el resto de la raíz fueron seccionados horizontalmente en tres segmentos que reflejaban los tercios cervical, medio y apical con ayuda de un disco de diamante; las secciones de las raíces fueron lavadas con agua destilada y llevadas al microscopio óptico para ser observadas.

### **7.9.1 Evaluación de la penetración del irrigante por microscopia óptica**

Los segmentos fueron analizados empleando un microscopio óptico (ZEISS) con una ampliación de 20x, las imágenes obtenidas fueron exportadas y analizadas mediante el software Imagen J para obtener datos de cualitativos y observar con la tinción la penetración del azul de metileno, dándonos como referencia la penetración del irrigante después de la activación de cada grupo.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Conteo de UFC

#### 8.1.2 Grupo 1: control positivo.



Fig.1. Colonias de bacterias de biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* en agar de BHI. Para su posterior conteo de UFC.

#### 8.1.3 Grupo 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25%



Fig.2. Colonias de bacterias de biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con Ultrasonido + NaOCl 5.25%.

#### 8.1.4 Grupo 3: Laser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H2O.

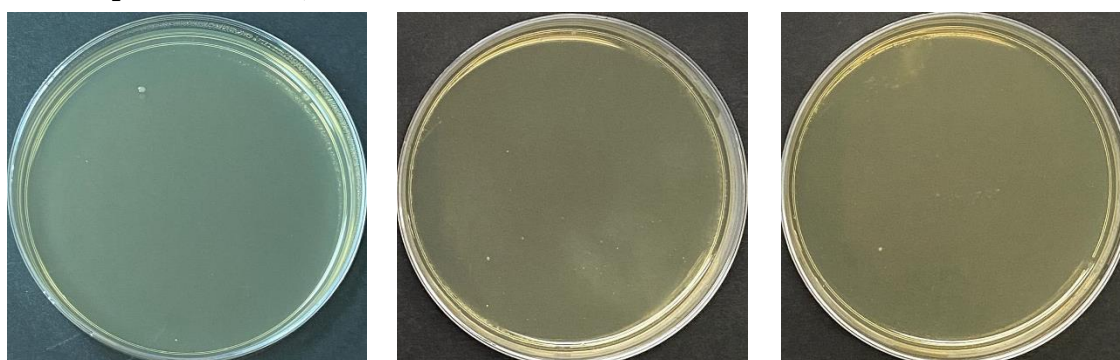


Fig.3. Colonias de bacterias de biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con Lasers + H2O.

### 8.1.5 Grupo 4: Laser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCI 5.25%.

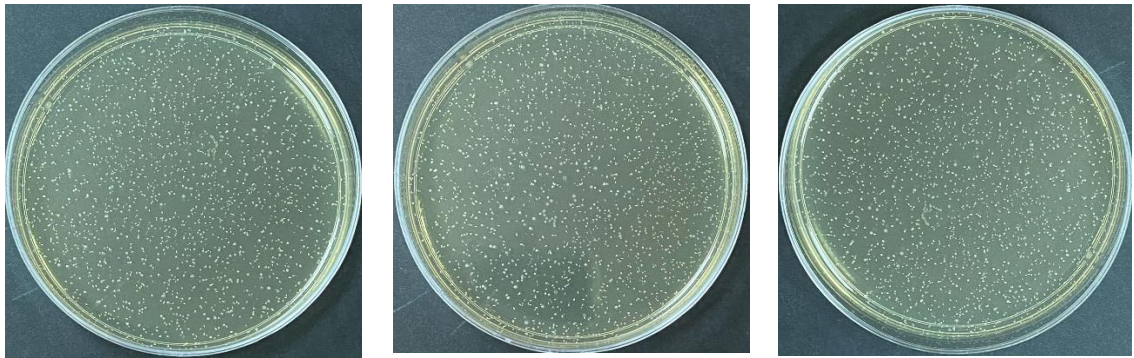


Fig.4. Colonias de bacterias de biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con Lasers + NaOCI 5.25%.

### 8.2 Imágenes de Microscopia electrónica de barrido (SEM).

Imágenes de SEM a 3000x, 6000x, 12000x y 25000x.

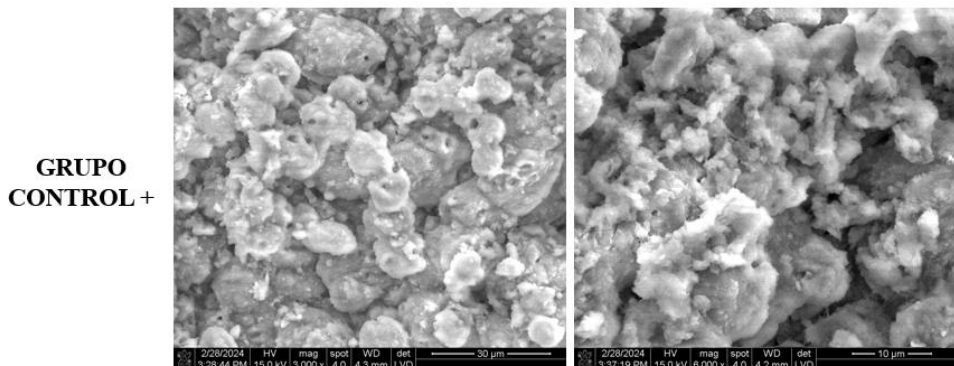


Fig.5 Imagen de SEM a 3000x y 6000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Sin tratamiento.

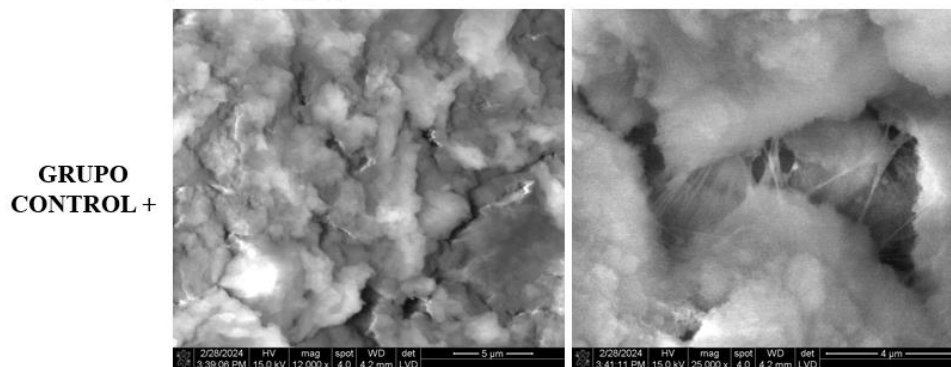


Fig.6 Imagen de SEM a 12000x y 25000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Sin tratamiento.

Al obtener las imágenes del grupo control se observa la biopelícula adherida a la dentina del diente. Se logran observar los túbulos dentinarios obstruidos por las bacterias.



**GRUPO  
Ultrasonido +  
NaOCl 5.25%**

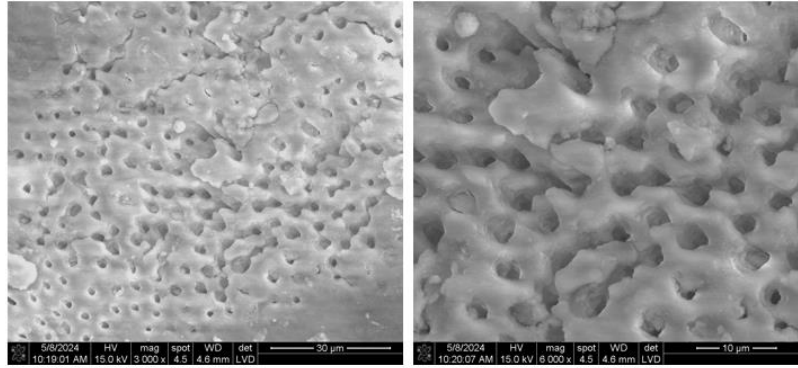


Fig.7 Imagen de SEM a 3000x y 6000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con Ultrasonido a 45kHz irrigado con NaOCl 5.25%.

**GRUPO  
Ultrasonido +  
NaOCl 5.25%**

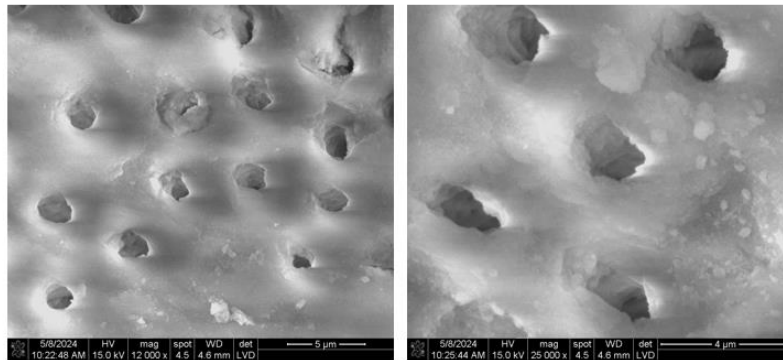


Fig.8 Imagen de SEM a 12000x y 25000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con Ultrasonido a 45kHz irrigado con NaOCl 5.25%.

Las imágenes de SEM del grupo 2 muestran una superficie más limpia y túbulos dentinarios visibles aun observándose debris en la superficie del conducto.

**GRUPO  
Láseres + H2O**

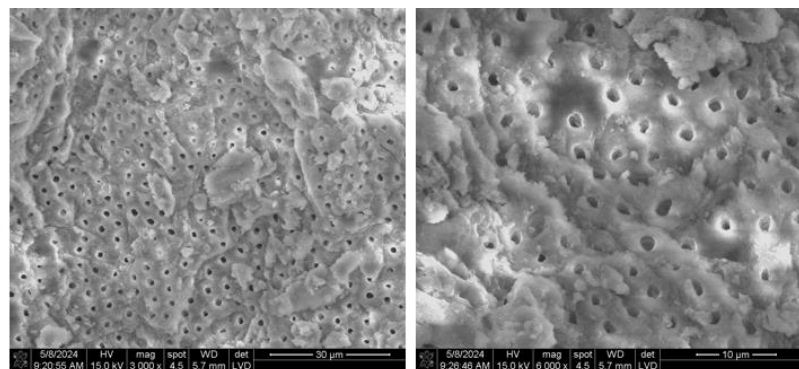


Fig.9 Imagen de SEM a 3000x y 6000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H2O.

**GRUPO  
Láser + H<sub>2</sub>O**

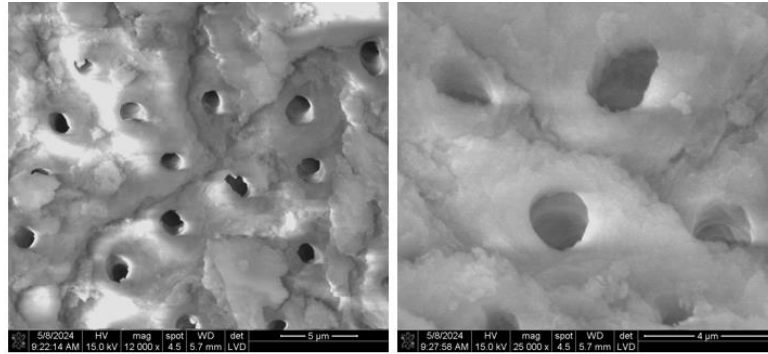


Fig.10 Imagen de SEM a 12000x y 25000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + H<sub>2</sub>O.

Obteniendo las imágenes del grupo 3 que fue activado los Láser + H<sub>2</sub>O logramos observar una diferencia significativa de permeabilidad y limpieza tanto de la superficie del conducto radicular como de los túbulos dentinarios.

**GRUPO  
Láser +  
NaOCl 5.25%**

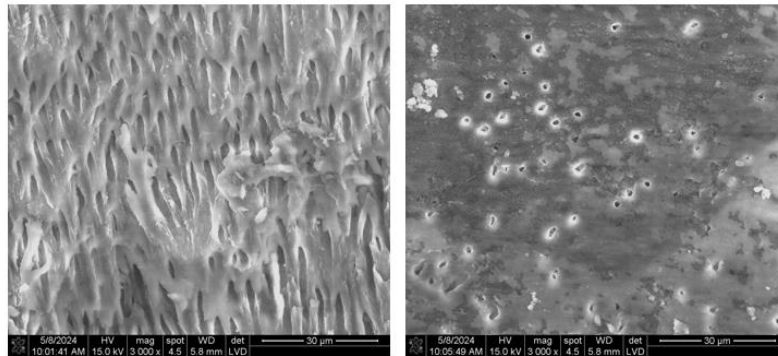


Fig.11 Imagen de SEM a 3000x y 6000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCl 5.25%.

**GRUPO  
Láser +  
NaOCl 5.25%**

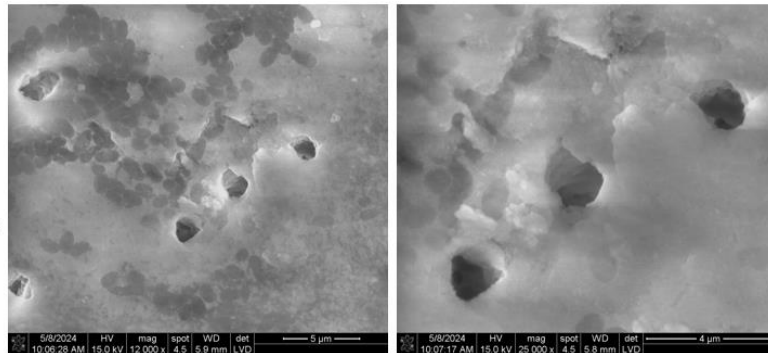


Fig.12 Imagen de SEM a 12000x y 25000x de tercio apical. Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. Después del tratamiento con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 940NM + NaOCl 5.25%.

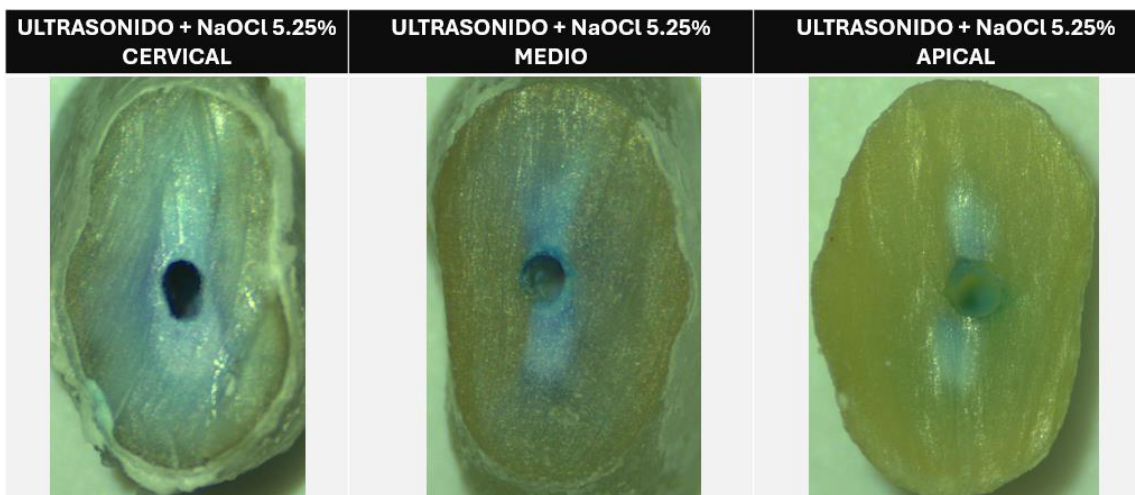
Al observar las imágenes del grupo 4 se logran observar túbulos dentinarios permeables, sin embargo, la superficie del conducto se ve afectada y nos da una apariencia de que los conductos fueron obstruidos o barridos ya sea por el uso de los lasers o el hipoclorito de sodio, ya que no se logran ver en una cantidad tan alta como en el grupo 3.

### 8.3 Imágenes de Microscopia óptica.

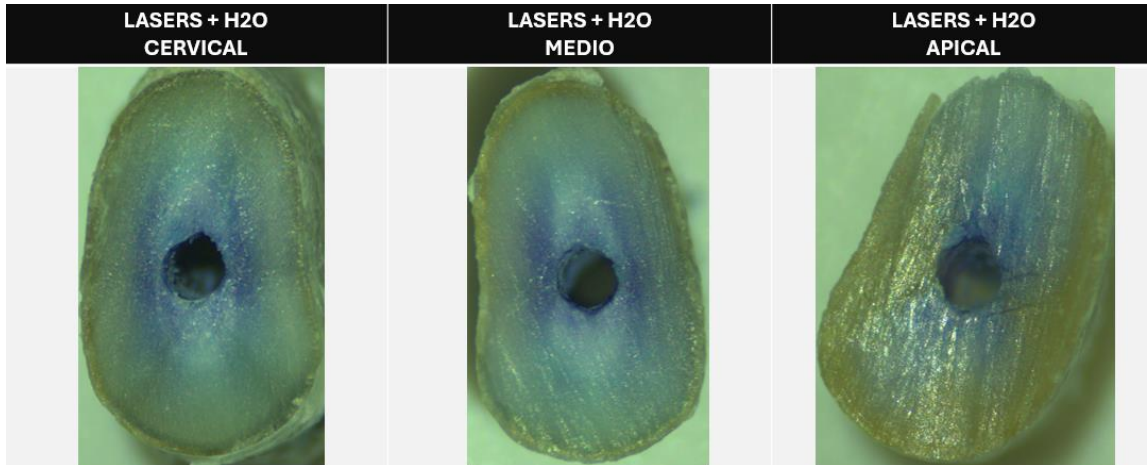
Imágenes de estereomicroscopio de las cortes transversales obtenidas después de la penetración del azul de metileno en los grupos experimentales correspondientes a cada tercio de la raíz.



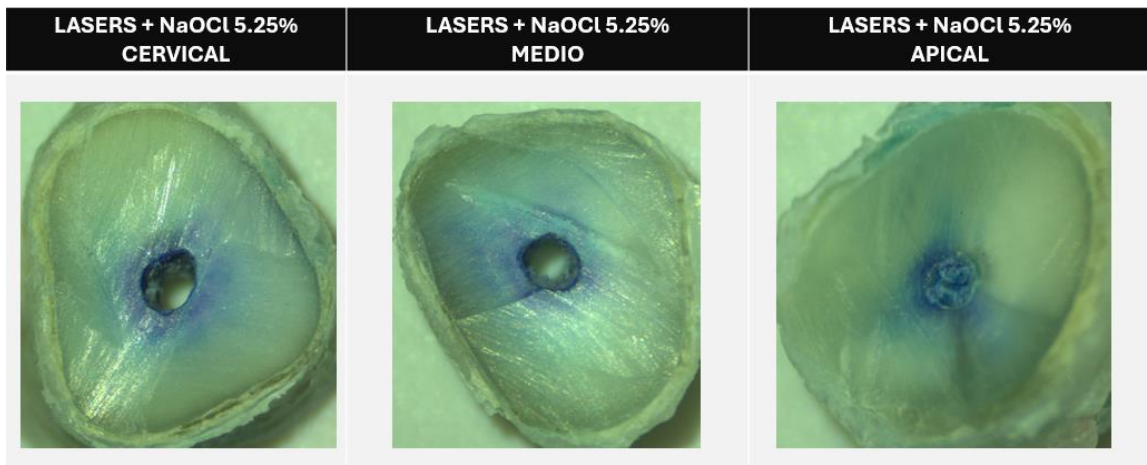
En el grupo control observamos poca, por no mencionar nula penetración de la tinción con azul de metileno que ya este grupo no recibió ningún tratamiento de activación del irrigante.



El grupo 2 en el cual el NaOCl fue activado con ultrasonido podemos observar como la tinción logro penetrar suficiente en la parte cervical, a diferencia del tercio apical, que no muestra gran penetración de la tinción, pero con el conteo de UFC sigue obteniendo un resultado aceptable en la desinfección.



El grupo de activación con Láser usando H<sub>2</sub>O como irrigante nos muestra una penetración del azul de metileno significativamente favorable comparándolo con todos los grupos del estudio. Este grupo muestra en los 3 tercios una tinción bastante extensa y agregando que en la UFC mostró casi un nulo crecimiento bacteriano podemos concluir que este fue el mejor método para la desinfección.



El grupo 4 muestra la penetración de la tinción con azul de metileno en los 3 tercios de la raíz muy similar al del grupo 2 (NaOCl + ultrasonido).

#### 8.4 Análisis estadístico

Tabla 1.

*Estadística descriptiva de las unidades formadoras de colonias por grupo de estudio*

Tratamiento	Media	DE	Prueba F	Valor p
Control +	2387.50	165.20	397.50	< 0.0001
Ultrasonido + NaOCl 5.25%	746.00	94.25		
Laser + H <sub>2</sub> O	7.25	0.96		
Laser + NaOCl 5.25%	1620.00	90.92		

Se realizó un análisis de normalidad de las unidades formadoras de colonias mediante una prueba de Shapiro-Wilk con la que fue posible concluir que los datos presentaban una distribución normal ( $p=0.096$ ).

- El grupo control + presentó una media de UFC de  $2387.50 \pm 165$ .
- El grupo de Ultrasonido + NaOCl presentó una media de UFC de  $746.00 \pm 94.25$ .
- El grupo Laser + H<sub>2</sub>O presentó una media de UFC de  $7.25 \pm 0.96$ .
- El grupo Laser + NaOCl presentó una media de UFC de  $1620.00 \pm 90.92$ .

Los datos tabulados se analizaron estadísticamente mediante la prueba ANOVA. Los tres grupos mostraron una reducción global significativa ( $p < 0.0001$ ) del efecto antimicrobiano (Tabla. 1) en comparación con el grupo control. Siendo el más alto en LÁSER + H<sub>2</sub>O (Grupo 3) (7.25), seguido del hipoclorito de sodio al 5,25% activado con ultrasonido (Grupo 2) (746.0) y Laser + NaOCl 5.25% (Grupo 4) (1,620.0) el que menos. Todos los grupos de tratamiento fueron eficaces contra el Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* y mostraron una reducción significativa en el recuento de bacterias viables después del tratamiento a excepción del Grupo 4.

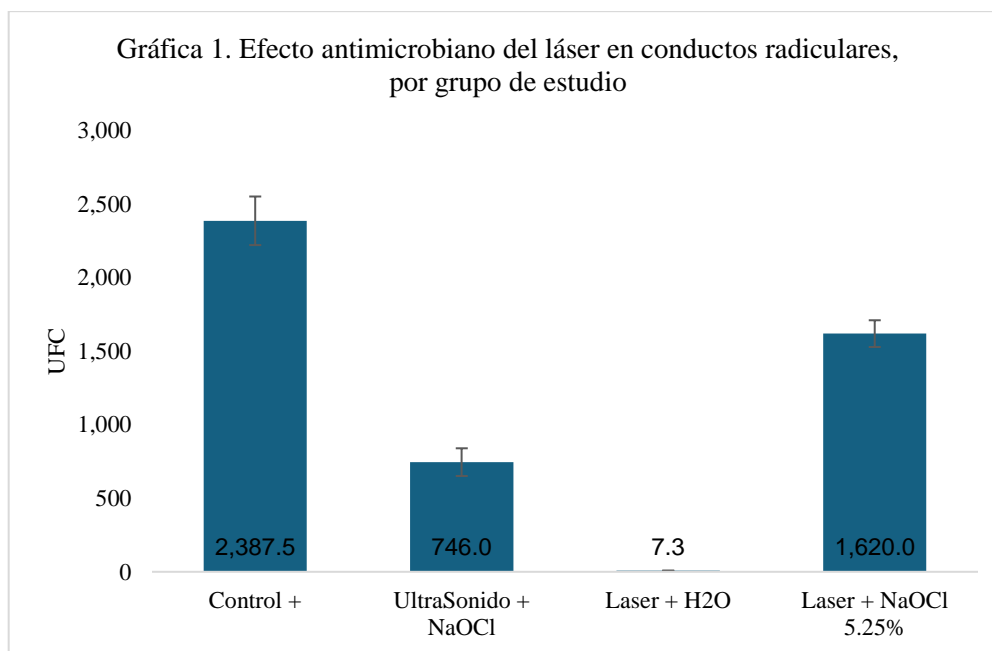


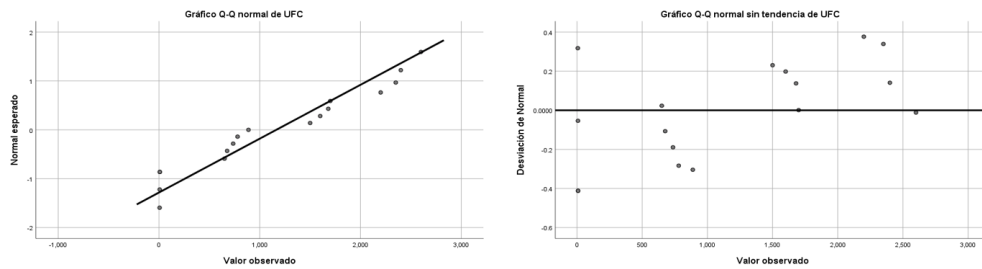
Tabla 2.

*Prueba t de Dunnett para comparación entre grupos*

Comparación	Prueba t	DE	Valor p	IC 95%
Ultrasonido + NaOCl	-1641.50	70.16	< 0.0001	-1827.39 -1455.61
Laser + H <sub>2</sub> O	-2380.25	73.96	< 0.0001	-2576.19 -2184.31
Laser + NaOCl 5.25%	-767.50	73.96	< 0.0001	-963.44 -571.56

- La diferencia en efectividad entre El Laser + H<sub>2</sub>O, Laser + NaOCl 5.25 % y NaOCl activado con ultrasonido es estadísticamente significativa.
- El Laser + H<sub>2</sub>O es significativamente más eficaz que todos los demás grupos.

- El ultrasonido + NaOCl 5.25 % es significativamente efectivo que el Laser con NaOCl 5.25%.
- El Laser + H2O es significativamente más efectivo que el Laser + NaOCl 5.25%.



Grafica 2 y 3. Pruebas de normalidad

## 9. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue evaluar la desinfección del conducto radicular con el uso de Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm en la reducción de la carga bacteriana Biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis*. La irrigación es uno de los pasos más importantes en el tratamiento endodóntico, con el objetivo de generar limpieza, desinfección mediante la implementación de irrigantes.

Para este estudio se implemento un modelo de biofilm utilizando dientes extraídos de una sola raíz para investigar la efectividad de 3 técnicas de irrigación: El grupo 2 fue la activación del hipoclorito de sodio al 5.25% activado con Ultrasonido, el grupo 3 correspondió al Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O y el grupo 4 el Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5.25%.

La activación del Hipoclorito de sodio al 5.25% con Ultrasonido es uno de los métodos más utilizados en el tratamiento de endodoncia como protocolo de desinfección; en el 2019 Susila y Minu mencionaron que el uso del ultrasonido a 30KHz da como resultado una mejor desinfección de los conductos radiculares si se aplican 3 ciclos de 20 segundos de activación, siendo este el protocolo activación del irrigante que se realizó en este estudio.

En el presente estudio el grupo 2 (US + NaOCl 5.25%) obtuvo mejores resultados que el grupo 4 (Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5.25%). Teniendo como conclusión que el NaOCl para el grupo 4 fue irrigado con una jeringa hipodérmica al mismo tiempo que se activaba el laser y este no logro llegar hasta la longitud de trabajo y así lograr una desinfección adecuada.

Merigo et al. en el año 2021 evaluaron el efecto bactericida de la irradiación láser Er,Cr:YSGG sola y cuando se asocia con la irrigación con NaOCl sobre el biofilm endodóntico en dientes humanos de una sola raíz recién extraídos. Llegaron a la conclusión de que el láser Er,Cr:YSGG tiene una mejor capacidad de eliminación bacteriana cuando se utiliza junto con NaOCl. Sin embargo, el presente estudio demuestra que se podría lograr una desinfección óptima del conducto radicular sin NaOCl, siendo el Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O más efectivo que el Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5.25%. Contrastando los resultados de esta investigación con los antecedentes de la investigación de Merigo et al., antes mencionada, no menciona como se llevo el NaOCl al conducto para su activación con los Laseres; en nuestro estudio se llevo el NaOCl con una jeringa hipodérmica mientras se realizaba la activación con el Laser Er;Cr YSGG, teniendo como teoría que el irrigante no logro penetrar por todo el conducto radicular, dando un resultado no favorable en la reducción del biofilm.

Los resultados de esta investigación concuerdan con el estudio de De Meyer et al. realizado en el 2017 que revela que se logró una mejor eliminación de biofilm bacteriano cuando se activó con solución salina que cuando se activó NaOCl.

Tanto el SEM como el de UFC son métodos comúnmente utilizados para confirmar la presencia de una biopelícula y evaluar la eficacia de la eliminación de la biopelícula. El SEM permite visualizar las estructuras morfológicas de los biofilms, su cantidad y distribución en la superficie de la dentina y en las capas más profundas de la dentina Aunque se limita al análisis bidimensional y semicuantitativo, a menudo se prefiere el SEM sobre otras técnicas de microscopía debido a su alta resolución y gran aumento.

Los protocolos utilizados para cada método se basaron en estudios previos (Violich D et al., 2010, Takeda F et al., 1999, Ramalho KM et al., 2005, Ganguli A et al., 2022) .En estos estudios utilizaron diferentes aumentos de SEM para calificar el smear layer después de la instrumentación, en nuestro estudio se utilizó un aumento de 12000x y 25000x porque ofrece una imagen detallada

de la superficie de las paredes de los conductos donde se puede contener el biofilm bacteriano, el corte solo se realizó en la parte apical debido que es la zona más difícil de acceso durante la irrigación y con más variantes anatómicas.

Los resultados de nuestro estudio indican claramente que la irrigación activada con Laser Er:Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O mejora significativamente la eficacia antimicrobiana contra biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* in vitro, probablemente a través del efecto físico del rápido movimiento del irrigante e irradiación directa del biofilm. La potencia de salida y la absorción óptima de las longitudes de onda de este laser lo hace más adecuado para la desinfección del conducto radicular en endodoncia que la activación ultrasonica debido a que fue el más eficiente en erradicación de biofilm de *E. faecalis* y *P. gingivalis* in vitro.

Se requieren más estudios sobre el uso de Lasers como protocolo de desinfección en el tratamiento de endodoncia. Aunque los lasers ya se usan en los tratamientos actuales todos los estudios que existen son realizados in vitro, en un futuro convendría empezar a realizarlos en pacientes, ya que sabemos que este tipo de protocolos no atentan contra la salud del paciente. Y así podríamos obtener más evidencia de que su uso mejoraría nuestros tratamientos.



## 10. CONCLUSIÓN

La desinfección con Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O fue significativamente mejor ( $p < 0,05$ ), mientras que la irradiación que no resultó en una reducción estadísticamente significativa ( $p > 0,05$ ) fue el Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + NaOCl 5.25%.

El Laser Er;Cr YSGG 2780nm + Diodo 940nm + H<sub>2</sub>O fue la herramienta más eficaz en la erradicación de biopelículas de *E. faecalis* y *P. gingivalis*.

## 11. LITERATURA CITADA

1. Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J.* 2017 Aug;50(8):761-770.
2. Ahmed HMA. A critical analysis of laboratory and clinical research methods to study root and canal anatomy. *Int Endod J.* 2022 Apr;55 Suppl 2:229-280.
3. Ahrari F, Akhondian S, Shakiba R, Tolouei A, Salehi A, Valizadeh M, Hosseini K. Laser Applications in Regenerative Endodontics: A Review. *J Lasers Med Sci.* 2024 Feb 4;15:e1.
4. AlHabdan A, AlAhmari F. Phototherapy Using Er,Cr:YSGG Laser as a Definitive Treatment for Dentin Hypersensitivity: A Systematic Review. *Int J Gen Med.* 2022 May 11;15:4871-4880. doi: 10.2147/IJGM.S355890. Erratum in: *Int J Gen Med.* 2022 May 31;15:5319-5320. Erratum in: *Int J Gen Med.* 2022 Jun 21;15:5715-5716.
5. Al-Karadaghi TS, Franzen R, Jawad HA, Gutknecht N. Investigations of radicular dentin permeability and ultrastructural changes after irradiation with Er,Cr:YSGG laser and dual wavelength (2780 and 940 nm) laser. *Lasers Med Sci.* 2015 Nov;30(8):2115-21.
6. Arul B, Suresh N, Sivarajan R, Natanasabapathy V. Influence of volume of endodontic irrigants used in different irrigation techniques on root canal dentin microhardness. *Indian J Dent Res.* 2021 Apr-Jun;32(2):230-235.
7. Ashraf H, Asnaashari M, Darmiani S, Birang R. Smear Layer Removal in the Apical Third of Root Canals by Two Chelating Agents and Laser: A Comparative in vitro Study. *Iran Endod J.* 2014 Summer;9(3):210-4.
8. Atieh MA, Fadhul I, Shah M, Hannawi H, Alsabeeha NHM. Diode Laser as an Adjunctive Treatment for Peri-implant Mucositis: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int Dent J.* 2022 Dec;72(6):735-745.
9. Aydin SA, Taşdemir T, Buruk CK, Çelik D. Efficacy of Erbium, Chromium-doped Yttrium, Scandium, Gallium and Garnet Laser-activated Irrigation Compared with Passive Ultrasonic Irrigation, Conventional Irrigation, and Photodynamic Therapy against *Enterococcus faecalis*. *J Contemp Dent Pract.* 2020 Jan 1;21(1):11-16. PMID: 32381794.
10. Betancourt P, Merlos A, Sierra JM, Arnabat-Dominguez J, Viñas M. Er,Cr:YSGG Laser-Activated Irrigation and Passive Ultrasonic Irrigation: Comparison of Two Strategies for Root Canal Disinfection. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2020 Feb;38(2):91-97.
11. Bordea IR, Hanna R, Chiniforush N, Grădinaru E, Câmpian RS, Sîrbu A, Amaroli A, Benedicenti S. Evaluation of the outcome of various laser therapy applications in root canal disinfection: A systematic review. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Mar;29:101611.
12. Chaudhry S, Yadav S, Talwar S, Verma M. Effect of EndoActivator and Er,Cr:YSGG laser activation of Qmix, as final endodontic irrigant, on sealer penetration: A Confocal microscopic study. *J Clin Exp Dent.* 2017 Feb 1;9(2):e218-e222.
13. De Meyer S, Meire MA, Coenye T, De Moor RJ. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *Int Endod J.* 2017 May;50(5):472-479.
14. Deng Z, Lin B, Liu F, Zhao W. Role of *Enterococcus faecalis* in refractory apical periodontitis: from pathogenicity to host cell response. *J Oral Microbiol.* 2023 Mar 1;15(1):2184924.
15. Dioguardi M, Gioia GD, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano G. Endodontic irrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. *Eur J Dent.* 2018 Jul-Sep;12(3):459-466.

16. Dos Reis-Prado AH, Abreu LG, Fagundes RR, Oliveira SC, Bottino MC, Ribeiro-Sobrinho AP, Benetti F. Influence of ethylenediaminetetraacetic acid on regenerative endodontics: A systematic review. *Int Endod J.* 2022 Jun;55(6):579-612.
17. Dumani A, Tanrisever D, Sihay D, Kuzu SB, Yilmaz S, Guvenmez HK. Efficacy of calcium hypochlorite with and without Er,Cr: Yttrium, scandium, gallium, garnet laser activation on *Enterococcus faecalis* in experimentally infected root canals. *Niger J Clin Pract.* 2019 Feb;22(2):215-220.
18. Fahim SZ, Ghali RM, Hashem AA, Farid MM. The efficacy of 2780 nm Er,Cr:YSGG and 940 nm Diode Laser in root canal disinfection: A randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2024 Feb 26;28(3):175.
19. Gaeta C, Marruganti C, Ali IAA, Fabbro A, Pinzauti D, Santoro F, Neelakantan P, Pozzi G, Grandini S. The presence of *Enterococcus faecalis* in saliva as a risk factor for endodontic infection. *Front Cell Infect Microbiol.* 2023 Apr 6;13:1061645.
20. Gavini G, Santos MD, Caldeira CL, Machado MEL, Freire LG, Iglecias EF, Peters OA, Candeiro GTM. Nickel-titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1):e67.
21. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigación en endodoncia. *Hno. Dent J.* marzo de 2014; 216(6):299-303.
22. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J.* 2014 Mar;216(6):299-303.
23. Hargreaves y Cohen. (2011). *Vías de la pulpa* (Décima Edición ed.). España: Elsevier.
24. Hendi SS, Ahmadyani E, Alikhani MY, Farhadian M, Mirzaei A. Antibacterial Effects of the Novel Blue Laser and Erbium Chromium Laser on *Enterococcus Faecalis* in Root Canal Dentin with Different Thicknesses. *Int J Dent.* 2022 Mar 25;2022:6119464.
25. Hong L, Hai J, Yan-Yan H, Shenghui Y, Benxiang H. [Colonization of *Porphyromonas endodontalis* in primary and secondary endodontic infections]. *Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 2015 Feb;33(1):88-92. Chinese.
26. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J.* 2003 Dec;36(12):810-30.
27. Kasić S, Knezović M, Beader N, Gabrić D, Malčić AI, Baraba A. Efficacy of Three Different Lasers on Eradication of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans* Biofilms in Root Canal System. *Photomed Laser Surg.* 2017 Jul;35(7):372-377.
28. Lombardo Bedran TB, Marcantonio RA, Spin Neto R, Alves Mayer MP, Grenier D, Spolidorio LC, Spolidorio DP. *Porphyromonas endodontalis* in chronic periodontitis: a clinical and microbiological cross-sectional study. *J Oral Microbiol.* 2012;4
29. López-Jiménez L, Arnabat-Domínguez J, Viñas M, Vinuesa T. Atomic force microscopy visualization of injuries in *Enterococcus faecalis* surface caused by Er,Cr:YSGG and diode lasers. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2015 Jan 1;20(1):e45-51.
30. Merigo E, Bufflier P, Rocca JP, Chevalier M, Medioni E, Meng Z, Fornaini C. Bactericidal effect of Er,Cr:YSGG laser irradiation on endodontic biofilm: An ex vivo study. *J Photochem Photobiol B.* 2021 May;218:112185.
31. Miccoli G, Seracchiani M, Zanza A, Giudice AD, Testarelli L. Possible Complications of Endodontic Treatments. *J Contemp Dent Pract.* 2020 May 1;21(5):473-474.
32. Miller TA, Baumgartner JC. Comparison of the antimicrobial efficacy of irrigation using the EndoVac to endodontic needle delivery. *J Endod.* 2010 Mar;36(3):509-11.
33. Mozo S, Llana C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012 May 1;17(3):e512-6.
34. Neelakantan P, Romero M, Vera J, Daood U, Khan AU, Yan A, Cheung GSP. Biofilms in Endodontics-Current Status and Future Directions. *Int J Mol Sci.* 2017 Aug 11;18(8):1748.

35. Saydjari Y, Kuypers T, Gutknecht N. Laser Application in Dentistry: Irradiation Effects of Nd:YAG 1064 nm and Diode 810 nm and 980 nm in Infected Root Canals-A Literature Overview. *Biomed Res Int.* 2016;2016:8421656.
36. Silva AC, Melo P, Ferreira JC, Oliveira T, Gutknecht N. Adhesion in Dentin Prepared with Er,Cr:YSGG Laser: Systematic Review. *Contemp Clin Dent.* 2019 Jan-Mar;10(1):129-134
37. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections. *Int Endod J.* 2022 May;55 Suppl 3:512-530.
38. Susila A, Minu J. Activated Irrigation vs. Conventional non-activated Irrigation in Endodontics - A Systematic Review. *Eur Endod J.* 2019 Nov 25;4(3):96-110.
39. Torabinejad y Walton. (2009). *Endodoncia Principios y Práctica* (Cuarta Edición ed.). St. Louis, Missouri: Elsevier.
40. Wong J, Manoil D, Näsman P, Belibasakis GN, Neelakantan P. Microbiological Aspects of Root Canal Infections and Disinfection Strategies: An Update Review on the Current Knowledge and Challenges. *Front Oral Health.* 2021 Jun 25;2:672887.