

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



ESTUDIO IN VITRO DEL EFECTO DEL LÁSER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM
CONTRA *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

Por

RAQUEL OLVERA TORRES

Como requisito parcial para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias Odontológicas en el Área de Endodoncia

Junio, 2025

Maestría en Ciencias Odontológicas en el Área Endodoncia

ESTUDIO IN VITRO DEL EFECTO DEL LÁSER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM
CONTRA *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

Comité de Tesis

Dra. Myriam Angélica de la Garza Ramos

DIRECTOR DE TESIS

Dra. Mayra Guadalupe Martínez García.

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Jorge Jaime Flores Treviño

ASESOR METODOLÓGICO

Dra. Idalia Rodríguez Delgado

ASESOR METODOLÓGICO

Dr. Isaac Kably M.

ASESOR EXTERNO

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. HIPÓTESIS.....	10
3. OBJETIVOS.....	11
3.1 Objetivo general.....	11
3.2 Objetivos específicos	11
4. ANTECEDENTES.....	12
4.1 INTRODUCCIÓN A LA ENDODONCIA.....	12
4.2 MORFOLOGÍA DENTAL	12
4.3 MICROBIOLOGÍA ENDODÓNTICA	13
4.3.1 <i>Enterococcus faecalis</i>	13
4.3.2. <i>Porphyromonas endodontalis</i>	14
4.4 IRRIGACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES	14
4.4.1 Objetivos de la irrigación	15
4.4.2 Irrigantes	15
4.4.2.1 El hipoclorito de sodio.	15
4.4.2.2. Ácido etilendiaminotetraacético.....	16
4.4.2.3. Clorhexidina.....	16
4.4.3 Técnicas de irrigación	17
4.4.3.1 Irrigación con jeringa	17
4.4.3.2 Activación ultrasónica.....	17
4.4.3.3 Activación sónica.....	18
4.4.3.4 Irrigación con presión negativa	18
4.4.3.5 Irrigación activado por láser.....	18
4.5 Láser de erbio, cromo-dopado:itrio-escandio-galio-granate (Er, Cr:YSGG).....	19
4.6 Láser Diodo	19
5. MÉTODOS	21
5.1 Preparación de los Órganos Dentarios:	21
5.2 Instrumentación de las Piezas:	21
5.3 Fase Microbiológica:.....	21
5.3.1 Esterilización de las Piezas.	21
5.3.2 Inoculación y Activación de <i>Enterococcus faecalis</i> y <i>Porphyromonas endodontalis</i>	21
5.4 Procedimiento a seguir en cada grupo.....	22
5.5 Recolección de muestra microbiológica posterior al tratamiento.	22

5.6 Preparación de las diluciones y siembra en agar.....	23
5.7 Preparación de las muestras para Microscopio Electrónico de Barrido.....	23
5.8 Preparación de las muestras para experimento de permeabilidad.....	23
6. RESULTADOS.....	24
6.1 Placas de agar.....	24
6.2 Imágenes con microscopia.	26
6.3 Imágenes de Microscopía Electrónica De Barrido (SEM).....	28
ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	29
7. DISCUSIÓN	31
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
9. LITERATURA CITADA.....	35

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron durante este proceso.

Principalmente a mis padres, Francisco Olvera y Amelia Torres, por siempre estar presentes en cada paso, por apoyarme y darme ánimos cuando más lo necesitaba.

Agradezco al posgrado de Endodoncia por brindarme la oportunidad de cursar esta maestría, así como a cada uno de mis profesores, quienes han sido fundamentales en mi formación.

Quiero agradecer a mi directora y codirectora de tesis, la Dra. Myriam de la Garza Ramos y la Dra. Mayra Guadalupe Martínez García por su paciencia, apoyo y orientación en todo este proceso.

También a mis amigos y compañeros de generación quienes compartieron conmigo el día a día, hicieron toda esta etapa más sencilla con su compañía y risas.

GRACIAS.

TESISTA: Raquel Olvera Torres

DIRECTOR DE TESIS: Dra. Myriam Angélica de la Garza Ramos

CODIRECTOR DE TESIS: Dra. Mayra Guadalupe Martínez García

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

TÍTULO: ESTUDIO IN VITRO DEL EFECTO DEL LÁSER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM CONTRA *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: El uso del láser en la endodoncia ha sido propuesto como un recurso complementario para optimizar la desinfección de los conductos radiculares, el aumento en la eficacia de las soluciones irrigantes y la remoción de la capa de barrillo dentinario.

OBJETIVO: Evaluar la efectividad de la eliminación del Biofilm intraconducto de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con el uso del láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm.

MATERIALES Y MÉTODOS: Se seleccionaron 20 piezas uniradiculares. Se seccionaron las coronas de las piezas a la unión amelocementaria, se prepararon utilizando el sistema de limas rotatories Wave One Gold (Dentsply) #35.04. Se inocularon las piezas con *E. faecalis* y *P. endodontalis* para dividirlos en cuatro grupos experimentales: Grupo 1: Control, Grupo 2: NaOCl al 5.25% + ultrasonido, Grupo 3: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H2O, Grupo 4: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl. Se utilizó Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para analizar las muestras antes y después del tratamiento.

RESULTADOS: Los datos se analizaron estadísticamente mediante la prueba ANOVA. Los tres grupos mostraron una reducción significativa ($p < 0,05$) del efecto antimicrobiano (Fig.1) en comparación con el grupo control, siendo el más alto el láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H2O (Grupo 3) (10.4%).

CONCLUSIÓN: La combinación de láseres Er,Cr:YSGG + DIODO mejora significativamente la penetración del irrigante y la eliminación del Biofilm, consolidándose como una estrategia innovadora y efectiva en la desinfección endodóntica, especialmente frente a microorganismos resistentes como *E. faecalis*.

TESISTA: Raquel Olvera Torres

DIRECTOR DE TESIS: Myriam Angélica de la Garza Ramos

CODIRECTOR DE TESIS: Mayra Guadalupe Martínez García

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

ESTUDIO IN VITRO DEL EFECTO DEL LÁSER ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM

CONTRA *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

ABSTRACT

Introduction: The use of lasers in endodontics has been proposed as a complementary approach to enhance root canal disinfection, increase the effectiveness of irrigating solutions, and facilitate the removal of the smear layer.

Objective: To evaluate the effectiveness of intracanal biofilm elimination of *E. faecalis* and *P. endodontalis* using the Er,Cr:YSGG 2780 nm laser combined with a 450 nm diode laser.

Materials and Methods: Twenty single-root teeth were selected. The crowns were sectioned at the cementoenamel junction, and the canals were prepared using Wave One Gold (Dentsply) rotary file system #35.04. The specimens were inoculated with *E. faecalis* and *P. endodontalis* and subsequently divided into four experimental groups: Group 1: Control, Group 2: 5.25% NaOCl + ultrasound, Group 3: Er,Cr:YSGG 2780 nm + 450 nm diode + H₂O, and Group 4: Er,Cr:YSGG 2780 nm + 450 nm diode + NaOCl. Scanning electron microscopy (SEM) was used to analyze the samples before and after treatment.

Results: Data were statistically analyzed using ANOVA. All three experimental groups showed a significant antimicrobial reduction ($p < 0.05$) compared to the control group (Fig. 1), with the highest effect observed in Group 3 (Er,Cr:YSGG 2780 nm + 450 nm diode + H₂O), achieving 10.4%.

Conclusion: The combination of Er,Cr:YSGG and diode lasers significantly enhances irrigant penetration and biofilm removal, establishing itself as an innovative and effective strategy for endodontic disinfection, particularly against resistant microorganisms such as *E. faecalis*.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de endodoncia tiene como finalidad la eliminación del contenido infectado del sistema de conductos radiculares, con el propósito de facilitar la cicatrización de lesiones periapicales preexistentes o prevenir el desarrollo de infecciones en los tejidos periradiculares. Dentro de todo lo que se ha estudiado, es bien sabido que los microorganismos han sido implicados como el principal factor etiológico en el inicio del proceso patológico de la periodontitis apical.

Cuando se trata de anatomía interna, la morfología del conducto radicular se caracteriza por distintas complejidades, que incluyen la presencia de conductos laterales y accesorios, istmos, deltas apicales y túbulos dentinarios. Estas particularidades morfológicas representan un reto significativo para lograr una desinfección y limpieza completa del sistema de conductos radiculares.

En las fases del tratamiento de endodoncia, durante años, el proceso de desbridamiento y desinfección del sistema de conductos radiculares se centró, principalmente en el uso de instrumentos, mientras que se prestaba menos atención a los irrigantes. Con el tiempo, la evidencia científica demostró que los instrumentos no logran alcanzar una porción significativa del sistema de conductos radiculares, lo que provocó que la irrigación adquiriera una creciente importancia en las últimas décadas.

La tecnología láser se ha vuelto esencial en odontología ofreciendo un mejor control y una precisión superior a las técnicas tradicionales. El uso del láser en los tratamientos dentales modernos ha sido posible desde la década de 1990, cuando se descubrieron sus ventajas clínicas, como la alta precisión y la reducción significativa de las molestias postoperatorias de los pacientes.

Se han propuesto diferentes sistemas de láser como alternativas para la desinfección de los conductos radiculares, así como para la eliminación de residuos y de la capa de barrillo dentinario. Entre ellos se encuentra el láser de diodo, que posee un alto efecto antibacteriano, el cual se logra mediante la alteración de la pared celular bacteriana y la destrucción de la

membrana celular. Otro de ellos es el láser de erbio cromo-itrio-escandio-galio-granate (Er, Cr:YSGG), se utiliza en el tratamiento endodóntico para eliminar la capa de barrillo dentinario de las paredes del conducto radicular, ya que presenta una profundidad de penetración limitada de 17 μm en la dentina.

Por lo antes mencionado, el objetivo de este estudio fue evaluar la efectividad de la eliminación del Biofilm intraconducto de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con el uso del láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm con diferentes irrigantes como lo es el hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5.25% y agua (H₂O), además de comparar con la técnica de activación ultrasónica que actualmente es el gold estándar.

2. HIPÓTESIS

La utilización del láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm permitirá eliminar de una manera más eficiente el Biofilm intraconducto de *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Evaluar la efectividad de la eliminación del Biofilm intraconducto de *E. faecalis* y *P. endodontalis* con el uso del láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar la desinfección de los conductos radiculares después de la irrigación ultrasónica con NaOCl al 5.25%.
- Revisar la desinfección de los conductos radiculares después de utilizar el láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm+H2O.
- Determinar la desinfección de los conductos radiculares después de utilizar el láser Er;Cr YSGG 2780nm + DIODO 450nm+ NaOCl al 5.25%

4. ANTECEDENTES

4.1 INTRODUCCIÓN A LA ENDODONCIA

La pulpa dental es un tejido conectivo estéril protegido por esmalte, dentina y cemento. Un daño considerable en la cámara pulpar desencadena un proceso inflamatorio que, si no se interviene a tiempo, puede evolucionar hacia una necrosis de la pulpa. (Karamifar K, et. at., 2020).

Las enfermedades endodónticas y periapicales son las patologías más comunes en odontología. La causa es una invasión de bacterias en la pulpa a través de áreas periodontales o defectuosas de los dientes, causando infección, dolor, sangrado o incluso necrosis de la pulpa. Actualmente, el tratamiento para las enfermedades endodónticas y periapicales más eficaz es la terapia del conducto radicular. (Jiang J, et. at., 2022).

El tratamiento endodóntico tiene como finalidad principal establecer un entorno aséptico en el interior del diente, así como en los tejidos periapicales y el hueso adyacente, con el propósito de prevenir o erradicar las infecciones y, de este modo, evitar o tratar la aparición de lesiones periapicales crónicas. (Fahim SZ, et. al., 2024). El tratamiento endodóntico es un procedimiento con alta predictibilidad, con tasas de éxito entre el 86 % y el 98 %. Su valoración se realiza mediante la observación de signos y síntomas clínicos, complementada con el análisis de hallazgos radiográficos del diente tratado. (Prada I, et. at., 2019).

Los microorganismos en el complejo dentino-pulpar y las regiones extrarradiculares, incluidas las lesiones periapicales y la biopelícula extrarradicular, pueden causar fallas en el tratamiento del conducto radicular. (Sun X, 2022). Los factores habituales que se pueden atribuir al fracaso endodóntico son: persistencia de bacterias, sello coronal inadecuado, conductos no tratados, errores de procedimiento iatrogénicos, complicaciones de la instrumentación. (Tabassum S, et. al., 2016).

4.2 MORFOLOGÍA DENTAL

La porción apical del conducto radicular es muy compleja y desafiante durante el tratamiento endodóntico. (Mohammadi Z, 2017). De hecho, dentro de los conductos ovales, solo el 40% del área apical de la pared del conducto radicular puede contactarse con instrumentos cuando se utiliza una técnica de instrumentación rotaria. (Van der Sluis LW,et. al., 2007)

Varias soluciones de irrigación, instrumentación mecánica y desbridamiento ultrasónico se utilizan comúnmente en el tratamiento de endodoncia. Sin embargo, la morfología de los sistemas de conductos radiculares es extremadamente compleja y, con frecuencia, estos tratamientos convencionales fallan. (López-Jiménez L, et. al., 2015).

El principal problema relacionado con el uso de soluciones irrigantes es su limitada capacidad para acceder a las complejas estructuras anatómicas del tercio apical. Su eficacia puede verse afectada por la presencia de residuos orgánicos e inorgánicos contaminados, la duración de su aplicación clínica y su potencial toxicidad para los tejidos periajiales. (Dioguardi M, et. at., 2018).

4.3 MICROBIOLOGÍA ENDODÓNTICA

Aunque se reconocen al menos 400 especies bacterianas como miembros del microbiota oral, únicamente un grupo reducido de ellas posee la capacidad de colonizar el sistema de conductos radiculares y desencadenar patologías pulparas y periradiculares. (Machado de Oliveira JC, et. at., 2000).

Una de las principales causas de fracaso endodóntico es la infección microbiológica persistente. (Tabassum S, et. al., 2016). Los microorganismos que sobreviven al desbridamiento químico-mecánico del sistema de conductos radiculares o persisten dentro de los materiales de obturación restantes (gutapercha/sellador) pueden provocar el fracaso del tratamiento endodóntico en circunstancias favorables. (Xu J, et. al., 2019).

Los tipos de bacterias encontradas van desde anaerobios facultativos seguido de aerobios, hasta las especies más resistentes capaces de sobrevivir en ambientes libres de nutrientes. (Dioguardi M, et. al., 2019). La literatura ha demostrado un predominio de anaerobios facultativos y especies Gram positivas, especialmente *Enterococcus faecalis*. (Barbosa-Ribeiro M, et. al., 2020).

4.3.1 *Enterococcus faecalis*

E. faecalis es un anaerobio facultativo grampositivo que habita naturalmente en el tracto gastrointestinal humano. (Xiang D, et. al., 2022). Puede superar los desafíos de supervivencia

dentro del sistema de conductos radiculares y resistir condiciones ambientales muy duras, incluido el pH alcalino extremo, invadiendo y sobreviviendo dentro de los túbulos dentinarios y soportando períodos prolongados de inanición. (Rezende GC. et. al., 2016).

E. faecalis está relacionado con infecciones del conducto radicular posteriores al tratamiento con una alta prevalencia de hasta 77%. Además, *E. faecalis* puede formar una biopelícula en el conducto radicular, siendo también capaz de penetrar dentina y adherirse al colágeno. (Voit M, et. al., 2022).

4.3.2. *Porphyromonas endodontalis*

Porphyromonas endodontalis es un cocobacilo, anaeróbico y gramnegativo, se ha aislado del microbiota mixto de sistemas de conductos radiculares infectados y abscesos periağıcales de origen endodental. (Herweijer JA, et. al., 1992). *P. endodontalis* se ha encontrado asociado a infecciones sintomáticas, (Machado de Oliveira JC, et. at., 2000) siendo frecuentemente el patógeno dominante en los conductos radiculares necróticos. (Mirucki CS, et. at., 2014).

4.4 IRRIGACIÓN DE LOS CONDUCTOS RADICULARES

La instrumentación mecánica del conducto y la irrigación con soluciones antibacterianas constituyen la base del tratamiento del conducto radicular. (Khademi A, et. al., 2006).

Durante mucho tiempo, el desbridamiento y la desinfección del sistema de conductos radiculares se habían considerado principalmente una función de los instrumentos, mientras que se prestaba menos atención a los irrigantes. Sin embargo, la evidencia acumulada reveló gradualmente que los instrumentos no pueden alcanzar una gran parte del sistema de conductos radiculares. (Boutsioukis C. y Arias-Moliz MT, 2022).

La irrigación tradicional del conducto radicular con una combinación de jeringa y aguja a menudo falla en este aspecto. (De Meyer S, et. at., 2017). La irrigación manual dinámica (IMD) implica el movimiento vertical de una gutapercha ajustada dentro del conducto instrumentado, mejora el desplazamiento y el intercambio de irrigante. Se ha demostrado que IMD da como resultado una mejor limpieza del conducto radicular que la irrigación con aguja convencional y se considera simple y rentable. (Passalidou S, et. at., 2018).

Por lo tanto, se han sugerido técnicas de activación del irrigante para mejorar su distribución en el sistema de conductos y aumentar su eficacia. (De Meyer S, et, at., 2017).

4.4.1 Objetivos de la irrigación

El éxito de la terapia endodóntica depende de la eliminación sustancial de los tejidos vitales y necróticos, los microorganismos y sus productos de los sistemas de conductos radiculares. (Cai C, et. at., 2023). La esterilización de los conductos radiculares está limitada por las técnicas, instrumentos e irrigantes disponibles actualmente. Por lo tanto, el enfoque debe estar en reducir las poblaciones bacterianas intraconducto a niveles que sean compatibles con la cicatrización del tejido periapical. (Ruksakiet K, et. al., 2020).

Las características ideales de los irrigantes en endodoncia incluyen la capacidad de lubricar tanto los instrumentos como el sistema de conductos radiculares, disolver componentes orgánicos e inorgánicos, ejercer una acción antimicrobiana eficaz, ser biocompatible sin generar citotoxicidad y no modificar negativamente la microestructura del tejido dental. (Dioguardi M, et. at., 2018).

4.4.2 Irrigantes

4.4.2.1 El hipoclorito de sodio.

El hipoclorito de sodio es un agente químico comúnmente utilizado como irrigante del conducto radicular en la terapia de endodoncia debido a sus acciones antimicrobianas y capacidades de disolución de tejidos. (Shetty SR, et. al., 2020).

Entre los valores de pH 4 y 7, el ion cloro existe como ácido hipocloroso (HClO) mientras que, a pH superior a 9, predomina el OCl . Además de su acción antibacteriana, el hipoclorito de sodio tiene la capacidad de disolver los restos pulpar y el componente orgánico de la dentina. También tiene la capacidad de neutralizar parcialmente los tejidos necróticos o cualquier componente antigénico o microbiano que quede en el espacio del conducto radicular. (Cai C, et. at., 2023).

Es considerado como el gold estándar de los irrigantes del conducto radicular debido a sus capacidades antibacterianas y de disolución de tejidos. (Cai C, et. at., 2023). La concentración ideal de NaOCl sigue siendo un tema de debate y la mayoría de los médicos eligen entre 0,5 % y 5,25 %. (Kanagasingam S y Blum IR. 2020).

El NaOCl también es cáustico, y su extrusión deliberada hacia los tejidos periautomáticos puede provocar un accidente. (Boutsoukis C. y Arias-Moliz MT, 2022). Cuando se extruye NaOCl, se produce una reacción inflamatoria aguda grave. Los pacientes sufrirán la tríada de dolor repentino, sangrado profuso dentro del diente accedido y se observará hinchazón facial difusa en cuestión de minutos. Es fundamental identificar estos signos y síntomas como característicos de la extrusión de hipoclorito de sodio, ya que su omisión puede conducir a retrasos en la atención adecuada del caso y potenciales implicaciones medicolegales. (Kanagasingam S y Blum IR. 2020).

4.4.2.2. Ácido etilendiaminotetraacético.

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es un agente quelante que puede disolver los componentes inorgánicos, como los restos de dentina, limpiando así la pared del conducto radicular y abriendo los túbulos dentinarios, facilitando que las moléculas químicas del irrigante penetren en los túbulos dentinarios y ejerzan un efecto antibacteriano en las localizaciones profundas. (Zou X, et. al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que la combinación de hipoclorito de sodio (NaOCl) y EDTA constituye el método estándar para la limpieza endodóntica, ya que ambos agentes actúan de manera complementaria. (Fahim SZ, et. al., 2024).

4.4.2.3. Clorhexidina

El gluconato de clorhexidina (CHX) se ha propuesto como un agente de irrigación prometedor para sustituir al NaOCl durante la desinfección del conducto radicular y la instrumentación endodóntica. CHX también tiene excelentes propiedades antisépticas, y ya se ha demostrado su eficacia en el control químico del Biofilm dental en pacientes con enfermedad periodontal. (Gonçalves LS, et. at., 2016). A diferencia del NaOCl, el CHX es menos agresivo para la dentina y genera menor irritación en los tejidos.(Tonini R, et. al., 2022).

Exhibe la propiedad única de la sustantividad; las cargas positivas de la molécula CHX se unen a las cargas negativas en las superficies dentales, lo que resulta en una adherencia prolongada, lo que a su vez conduce a una actividad antimicrobiana duradera. Sin embargo, como irrigante endodóntico, la falta de capacidad de disolución de tejidos es un inconveniente considerable. (Ruksakiet K, et. al., 2020).

4.4.3 Técnicas de irrigación

Se han propuesto múltiples métodos de agitación/activación para mejorar la eficacia de los irrigantes, incluidos instrumentos rotatorios, instrumentos oscilantes, sónicos, ultrasonidos y láseres. (Cai M, et. al., 2022).

4.4.3.1 Irrigación con jeringa

El uso de una jeringa normal para la irrigación del sistema de conductos radiculares es la forma más común y fácil de realizar en la práctica clínica. (Dioguardi M, et. at., 2018).

La irrigación con aguja convencional puede no depositar los irrigantes en el tercio apical, donde las partículas de gas atrapadas pueden producir un efecto de bloqueo de vapor, aunque este efecto podría prevenirse cuando el conducto radicular se agranda adecuadamente y la aguja se coloca cerca de la longitud de trabajo. (Tonini R, et. al., 2022).

4.4.3.2 Activación ultrasónica

Se basan en la transmisión de energía acústica a través del irrigante a través de un alambre de acero inoxidable o lima endodóntica. La energía acústica se disipa a través del irrigante, lo que lleva a la cavitación y la micro transmisión; Esto permite que el irrigante se mueva dinámicamente y completamente dentro del sistema de conductos. (Tonini R, et. al., 2022).

Actualmente es el método más utilizado en la práctica clínica. Se ha demostrado que aumenta la penetración de NaOCl en los túbulos dentinarios y elimina los restos de tejido duro acumulados y las bacterias significativamente mejor que la irrigación con jeringa. (Cai M, et. al., 2022). Y que son más potentes que los sónicos. (Plotino G, et. al, 2019).

4.4.3.3 Activación sónica.

Se basa en la energía sónica y agita vigorosamente el irrigante para interrumpir la capa de frotis y la biopelícula mediante un fenómeno hidrodinámico que resulta en cavitación y transmisión acústica. Esto se traduce en una limpieza y desinfección profundas. (Susila A y Minu J, 2016). Los dispositivos sónicos muestran resultados más bajos que los dispositivos ultrasónicos, principalmente debido a su menor potencia. Por lo general, un dispositivo sónico funciona a 1-8 kHz y ultrasónico a 25-40 kHz. Los dispositivos sónicos presentan algunas ventajas: los puntos oscilantes están hechos de un material similar al plástico, no se detiene cuando entra en contacto con la pared del conducto radicular y no puede deformarla, por lo que se puede usar de manera segura en conductos radiculares curvos. (Plotino G, et. al, 2019).

4.4.3.4 Irrigación con presión negativa

El suministro de irrigante a lo largo de los conductos radiculares puede alcanzarse mediante irrigación con presión negativa; el irrigante se administra en la cámara pulpar y se aspira a la longitud de trabajo por succión, luego finalmente se desecha mediante una cánula, manteniendo así una reposición constante de irrigante nuevo. (Ng WNI, et. al., 2021). Además, los microporos en las cánulas aseguran una limpieza efectiva de las paredes del conducto radicular, además de prevención de obstrucciones. (Susila A y Minu J, 2016).

4.4.3.5 Irrigación activado por láser

Los láseres se han empleado para diversos fines en la odontología. (Moeintaghavi A, et. al., 2021). Recientemente, se han introducido en el tratamiento de endodoncia como un método adecuado para mejorar la desinfección, esto debido a su excelente efecto bactericida. (López-Jiménez L, et. al., 2015). Se han propuesto como un adyuvante a los métodos tradicionales de desinfección en la endodoncia, para mejorar la eliminación de la capa de barrillo dentinario, siendo un protocolo prometedor para la desinfección del conducto radicular. (Wang X, et. al., 2018). El mecanismo utiliza puntas de fibra para generar pequeñas burbujas de cavitación en soluciones de irrigación, cuya oscilación volumétrica puede resultar en un movimiento de fluido a alta velocidad, la formación de biopelículas, así como otros contenidos en los conductos radiculares, moviéndose verticalmente. Debido a estos movimientos rápidos y continuos, el contenido que está unido a las paredes del conducto radicular se desprende y finalmente se elimina de los conductos. (Huang Q, et. al., 2023).

Se ha documentado que pueden matar bacterias directa o indirectamente, pero se sabe poco acerca de la evaluación comparativa de estos láseres por su eficacia antibacteriana en los túbulos dentinarios. (Wang X, et. al., 2018).

4.5 Láser de erbio, cromo-dopado:itrio-escandio-galio-granate (Er, Cr:YSGG)

El láser de erbio, cromo-dopado:itrio-escandio-galio-granate (Er, Cr:YSGG) se ha convertido en una modalidad de tratamiento prometedora. (Pham CM, et. al., 2021).

El mecanismo de "irrigación activada por láser" y los movimientos de fluidos, crea expansión e implosión de burbujas de vapor en la solución de irrigación con el efecto de cavitación secundaria. Este efecto de cavitación proporciona una mejor eliminación bacteriana en las capas profundas de la dentina al aumentar la difusión de la solución de irrigación. (Tokuc M, et. al., 2019). Las burbujas de vapor causan una expansión de volumen de hasta 1600 veces el volumen original de un irrigante, con una alta presión pura dentro del conducto que impulsa el fluido hacia los túbulos dentinarios profundos y mata las bacterias. (Wang X, et. al., 2018).

Los láseres con varias longitudes de onda pueden tener diferentes aplicaciones clínicas dependiendo de la afinidad tisular y el grado de penetración. (Park SH, et. al., 2020). La longitud de onda de 2780 nm emitida por este láser se absorbe principalmente en agua y también en iones OH de hidroxiapatita, y puede provocar alteraciones físicas y químicas como fusión y recristalización en la estructura de la dentina. (Moeintaghavi A, et. al., 2021). Cuando el láser Er, Cr: YSGG se usa solamente, no podría destruir eficazmente las bacterias y su tasa de reducción bacteriana es de casi el 50%. (Asnaashari M, et. al., 2022).

4.6 Láser Diodo

Los láseres de diodo se han sugerido para el tratamiento de endodoncia debido a su alta profundidad de penetración en los túbulos dentinarios y sus efectos antibacterianos. (Tokuc M, et. al., 2019). Es un láser de baja potencia que, en aplicaciones terapéuticas, se encuentra generalmente en el rango de longitudes de onda entre 810 y 980 nm. (Huang Q, et. al., 2023).

El láser de diodo tiene un efecto antibacteriano al causar cambios en la pared celular bacteriana y destruir la membrana celular. Ejerce un efecto fototérmico sobre las bacterias accesibles y un efecto foto-disruptivo sobre las no accesibles, causando daño subletal que inhibe el crecimiento bacteriano. Utiliza una fibra óptica flexible y delgada de 200 µm que puede alcanzar fácilmente el tercio apical del conducto radicular, los conductos curvados y diferentes áreas anatómicas de difícil acceso. (Fahim SZ, et. al., 2024).

La literatura ha mostrado que cuando el láser de diodo se usa únicamente, su efecto antibacteriano no es tan efectivo como la irrigación final con NaOCl, pero cuando el láser de diodo se utiliza como terapia complementaria después de la irrigación con NaOCl, elimina más bacterias que la irrigación convencional con NaOCl. (Asnaashari M, et. al., 2022).

5. MÉTODOS

5.1 Preparación de los Órganos Dentarios:

Se seleccionaron 20 piezas unirradiculares humanas extraídas. Se seccionaron las coronas de las piezas a la unión amelocementaria para obtener una longitud radicular de 14 mm. Se localizaron los conductos y la longitud de trabajo se realizó utilizando #15 tipo K (Dentsply) introduciéndolo en el conducto hasta que fue visible en el agujero apical con visión directa y posteriormente retirar 0.5 mm.

5.2 Instrumentación de las Piezas:

Los conductos radiculares se prepararon utilizando el sistema de limas rotatories Wave One Gold (Dentsply) hasta el tamaño #35.04. Se irrigó con NaOCl al 5.25% entre limas durante la instrumentación para la permeabilidad del conducto radicular. Después de la preparación se secó los conductos con puntas de papel #35 (Hygienic) y se irrigó con EDTA al 17% y se volvió a secar con puntas de papel. Toda la irrigación se realizó con agujas con salida lateral (Endo-ezy, Ultrudent).

5.3 Fase Microbiológica:

5.3.1 Esterilización de las Piezas.

Los órganos dentarios previamente utilizados se colocaron en un frasco de vidrio con suero fisiológico, selladas con cinta testigo y se esterilizaron en autoclave durante 30 minutos a una temperatura de 121°C.

5.3.2 Inoculación y Activación de *Enterococcus faecalis* y *Porphyromonas endodontalis*.

Una vez comprobada la esterilización de las muestras, se colocaron 10 µl. de *E. faecalis* dentro de los conductos radiculares, con una micropipeta Eppendorf y después se colocaron en tubos de ensayo con 900 µl de Infusión cerebro corazón (BHI) en la incubadora Shell durante 24 hrs a 37°C para posteriormente colocar 10 µl. de *P. endodontalis* en un nuevo tubo de ensayo con 900 µl de BHI para dejar inoculando durante 7 días.

Las muestras se dividieron aleatoriamente en 4 grupos experimentales:

- Grupo 1: Control
- Grupo 2: NaOCl al 5.25% + ultrasonido,
- Grupo 3: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H20,

- Grupo 4: ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%.

5.4 Procedimiento a seguir en cada grupo.

GRUPO 2. NaOCl al 5.25% + ultrasonido

Se irrigó NaOCl al 5.25% con aguja de salida lateral (Endo-ezy, Ultradent) en cada una de las piezas previamente inoculadas, con una punta de ultrasonido #20 (UltraMint Pro Eighteeth) se activó durante 15 segundos repitiendo el proceso 3 veces, a una longitud de 2 mm antes del foramen apical.

Se procedió a secar los conductos con una punta de papel #35 y se colocó en tubos eppendorf sellado con parafina para tenerlos en refrigeración.

GRUPO 3. Láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM+H2O

Se utilizó el láser Er;Cr YSGG con una longitud de onda de 2780nm + láser diodo con longitud 450nm + H₂O en cada una de las piezas previamente inoculadas, con un ajuste de 1.25 W / 40 Hz. Con una punta Láser Waterlase Radial de 21mm (BIOLASE) de 200 μm de diámetro se colocó en los conductos preparados con movimiento constante en dirección apicocoronal y se mantuvo a 2 mm del ápice. Se secaron los conductos con una punta de papel # 35 y se colocó en tubos eppendorf sellado con parafina para tenerlos en refrigeración.

GRUPO 4. Láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM+ NaOCl al 5.25%

Se realizó el mismo procedimiento para el grupo de laser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%, irrigando constantemente en la entrada del conducto radicular con una aguja de salida lateral (Endo-ezy, Ultradent). Se procedió a secar los conductos con una punta de papel # 35 y se colocó en tubos eppendorf sellado con parafina para tenerlos en refrigeración.

5.5 Recolección de muestra microbiológica posterior al tratamiento.

Las piezas dentales previamente tratadas fueron irrigadas con agua estéril. Posteriormente, se utilizó una punta de papel estéril #40 para tomar una muestra del conducto radicular. Esta muestra se colocó en un tubo Eppendorf que contenía 100 μl de BHI para ser colocadas en la incubadora Shell a una temperatura de 37°C durante 24 horas.

5.6 Preparación de las diluciones y siembra en agar.

En un tubo estéril, se colocó 900 µl de PBS con 100 µl de la muestra de cada pieza, posteriormente se colocó en el vortex 10 segundos para homogenizar la muestra, se repitió el mismo proceso hasta completar 5 diluciones. De la última muestra, se tomó 100 µl y se colocó sobre una caja Petri para después colocar infusión de cerebro y corazón, se realizó movimientos circulares para homogenizar la muestra, se selló la caja y se dejó en la incubadora 24 horas a 37°C.

5.7 Preparación de las muestras para Microscopio Electrónico de Barrido.

Las muestras se dejaron secar por completo y fueron cortadas longitudinalmente con un disco de diamante de baja velocidad. Se tomaron imágenes de las muestras en el tercio apical con aumentos de 6,000x, 12000x y 25000x en el Parque de Investigación e Innovación Tecnológica (PIIT) con ayuda del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM).

5.8 Preparación de las muestras para experimento de permeabilidad.

Después del tratamiento, se seleccionó una pieza por grupo, se selló el ápice de las piezas con cera pegajosa y se sellaron las raíces externamente con tres capas de cianoacrilato de etilo. Las piezas se dejaron secar y se colocaron en tubos Eppendorf con colorante azul de metileno al 2% utilizando una jeringa hipodérmica por 20 minutos.

Los conductos radiculares fueron enjuagados con suero fisiológico mediante una jeringa hipodérmica y luego se secaron con puntas de papel absorbente. La muestra se seccionó horizontalmente en tres segmentos representativos de los tercios cervical, medio y apical utilizando un disco de diamante para posteriormente analizarlas empleando el microscopio óptico (ZEISS) con una ampliación de 20x.

6. RESULTADOS

6.1 Placas de agar.

GRUPO 1: Control

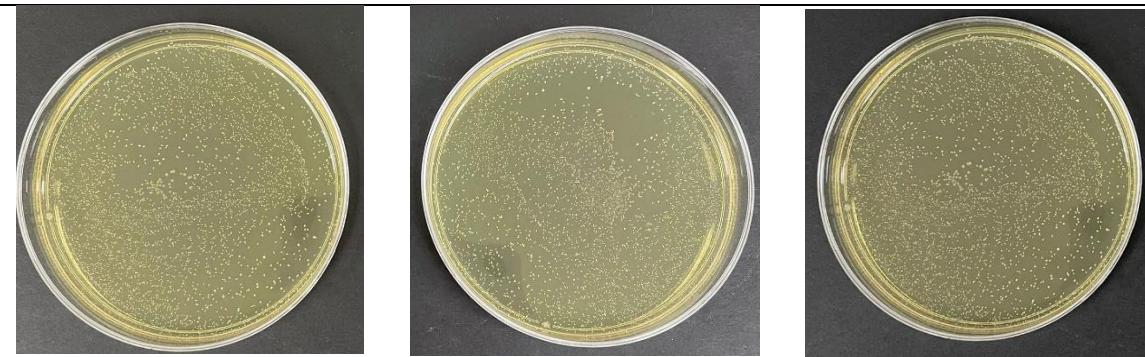


Fig.1. Colonias de bacterias de Biofilm de *E. faecalis* y *P. endodontalis* en agar de BHI.

GRUPO 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25%

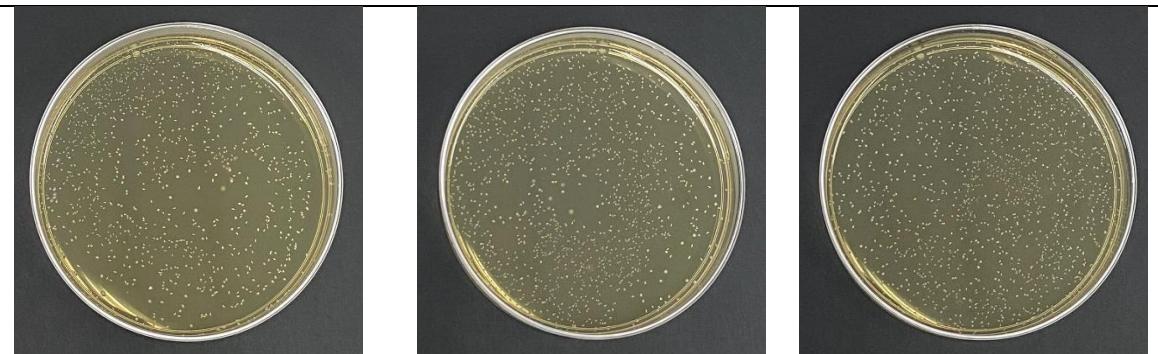


Fig.2. Colonias de bacterias de Biofilm de *E. faecalis* y *P. endodontalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con Ultrasonido + NaOCl 5.25%.

GRUPO 3: Láser ER;CR YSGG 2780NM + Láser DIODO 450NM + H₂O.

Fig.3. Colonias de bacterias de Biofilm de *E. faecalis* y *P. endodontalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O.

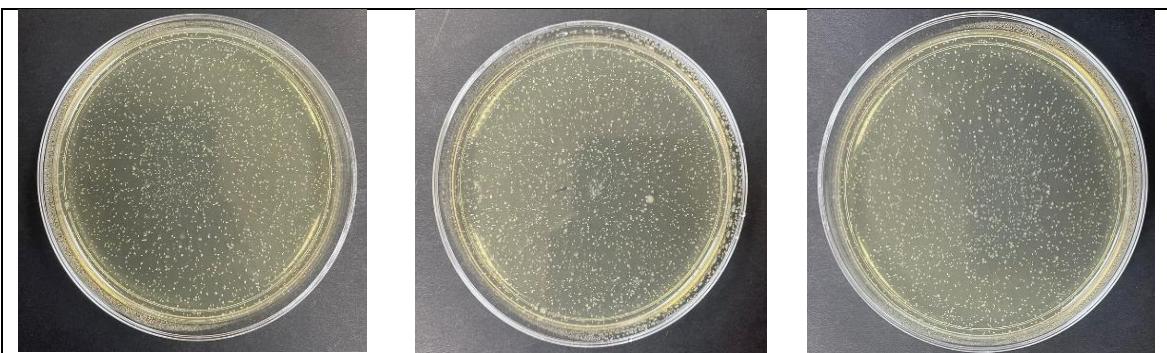
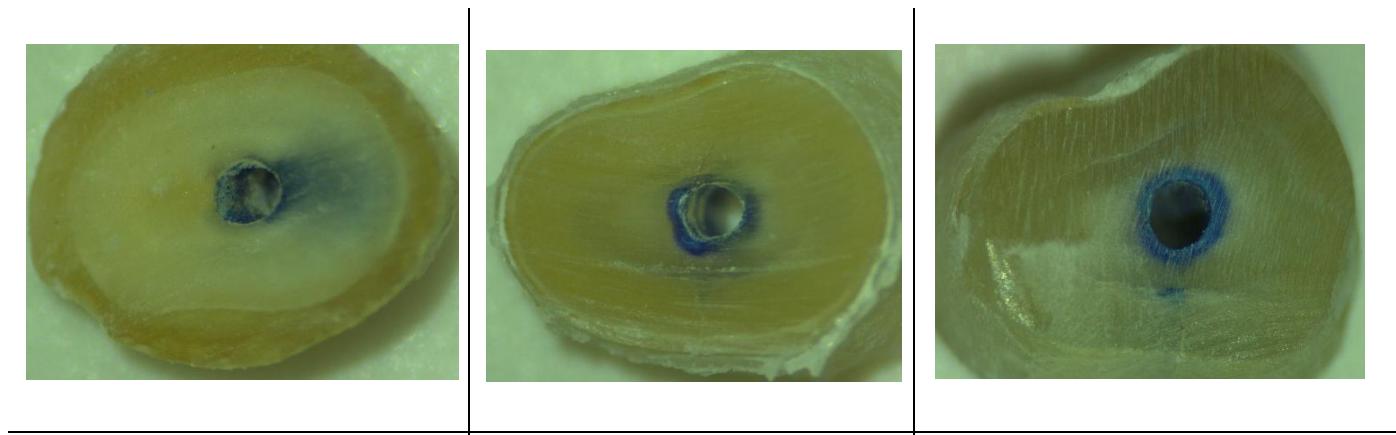
GRUPO 4: Láser ER;CR YSGG 2780NM + Láser DIODO 450NM+ NaOCl al 5.25%

Fig.4. Colonias de bacterias de Biofilm de *E. faecalis* y *P. endodontalis* en agar de BHI posterior al protocolo de desinfección con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl 5.25%.

6.2 Imágenes con microscopia.

GRUPO 1: Control



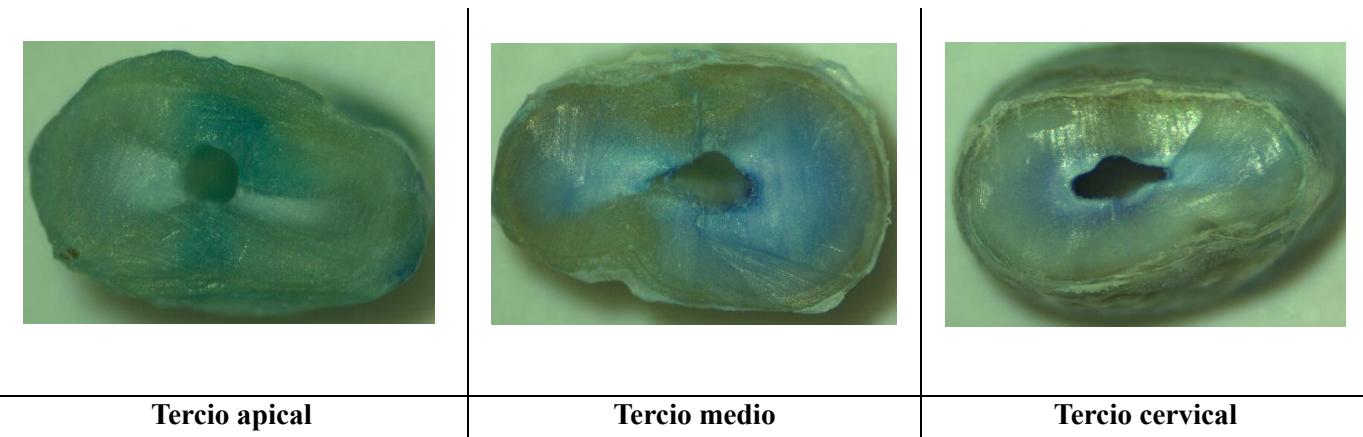
Tercio apical

Tercio medio

Tercio cervical

Las imágenes mostraron poca o nula penetración de la tinción de azul de metileno en los túbulos dentinarios en los tres cortes transversales de las piezas dentarias.

GRUPO 2: Ultrasonido + NaOCl 5.25%



Tercio apical

Tercio medio

Tercio cervical

La imagen muestra que la irrigación con NaOCl al 5.25% activada por ultrasonido favorece la penetración del irrigante, especialmente en los tercios medio y cervical. Sin embargo, en el tercio apical la penetración fue más limitada.

GRUPO 3: Láser ER;CR YSGG 2780NM + Láser DIODO 450NM + H2O



Tercio apical

Tercio medio

Tercio cervical

La combinación de láseres ER;CR YSGG + Diodo + H2O, logró una penetración extensa y profunda del azul de metileno en todos los niveles del conducto radicular, especialmente en el tercio apical.

GRUPO 4: Láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM+ NaOCl al 5.25%



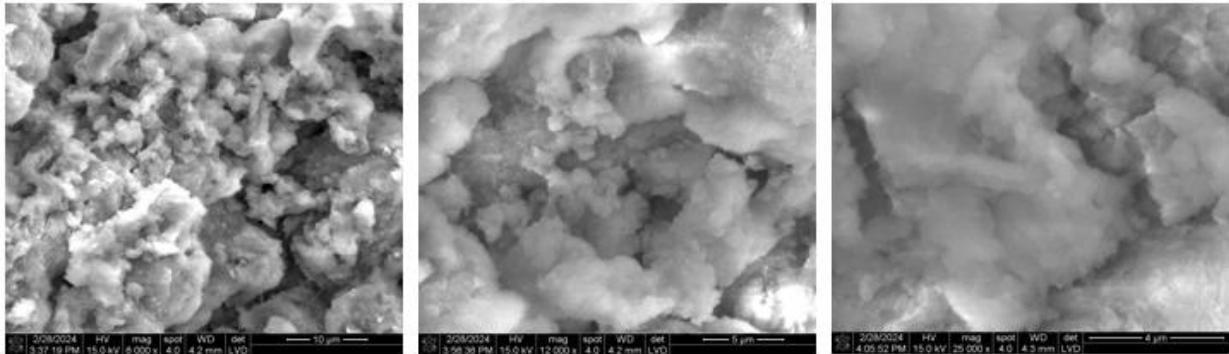
Tercio apical

Tercio medio

Tercio cervical

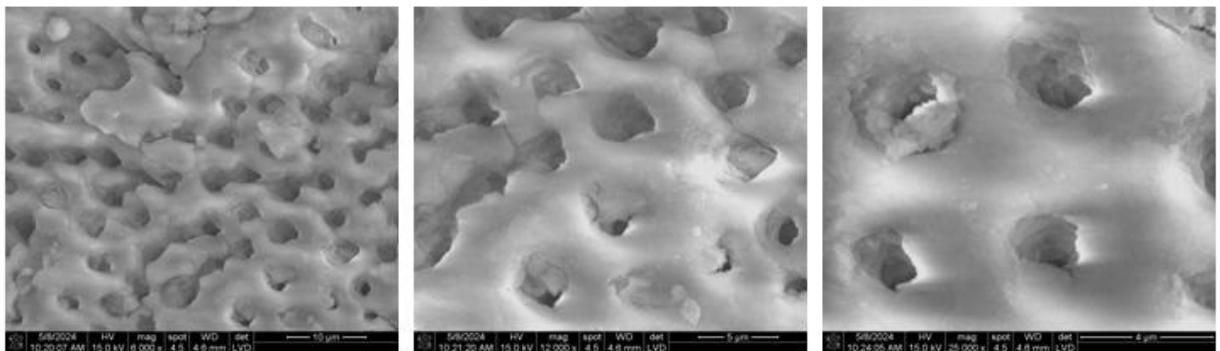
Se observa una penetración extensa notable del azul de metileno en las paredes dentinarias, lo que indica que la activación láser facilitó la entrada del irrigante.

6.3 Imágenes de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).



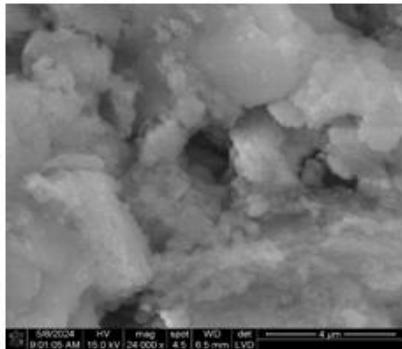
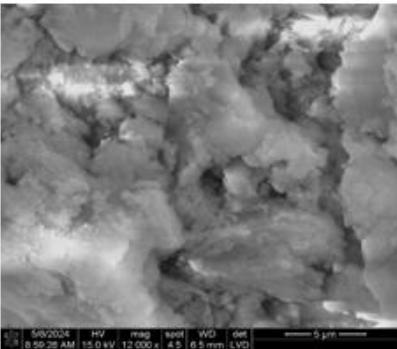
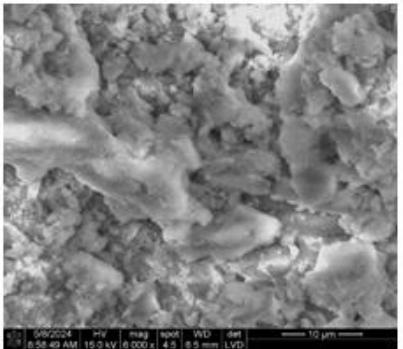
GRUPO 1 Control. Imagen de SEM a 6000x, 12000x y 25000x del tercio apical después del tratamiento.

Las imágenes obtenidas del SEM se logra observar barrillo dentinario que pudieran corresponder al tratamiento realizado.



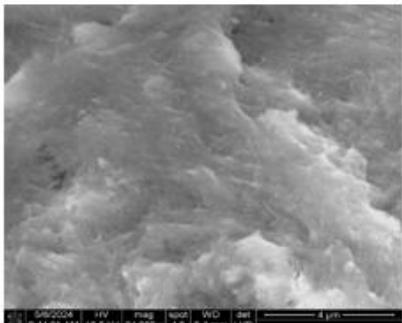
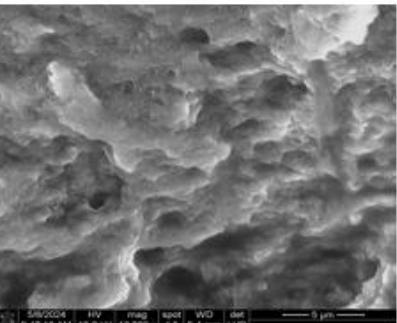
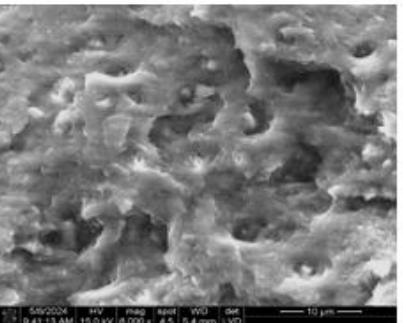
GRUPO 2 Ultrasonido + NaOCl 5.25%. Imagen de SEM a 6000x, 12000x y 25000x del tercio apical después del tratamiento.

Las imágenes obtenidas del SEM mostraron una superficie con poca película adherida y una superficie más limpia.



GRUPO 3 ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O. Imagen de SEM a 6000x, 12000x y 25000x del tercio apical después del tratamiento.

Las imágenes obtenidas del SEM del grupo 3 donde se realizó activación con láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O se logró observar una gran cantidad de barrillo dentinario obstruyendo los túbulos dentinarios.



GRUPO 4 Láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM+ NaOCl al 5.25%. Imagen de SEM a 6000x, 12000x y 25000x del tercio apical después del tratamiento.

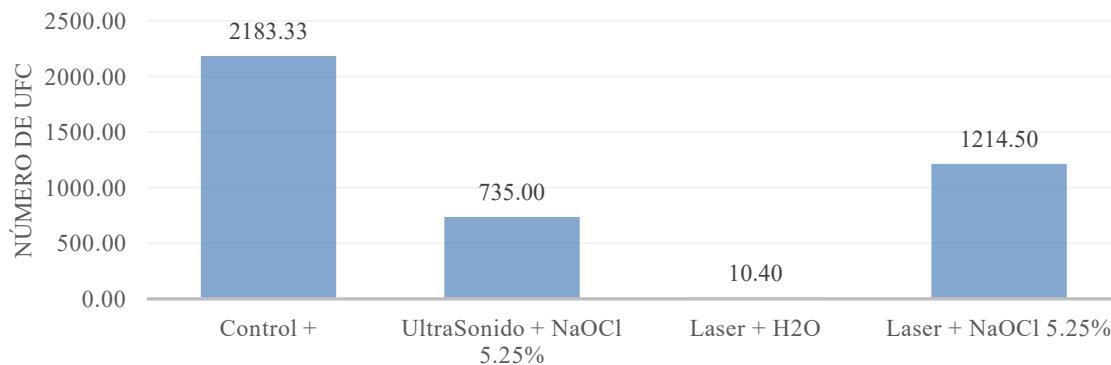
Las imágenes obtenidas del SEM del grupo 4 donde se realizó activación con láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25% mostraron una cantidad menor de barrillo dentinario a diferencia del grupo 3.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los datos se analizaron estadísticamente mediante la prueba ANOVA. Los tres grupos mostraron una reducción significativa ($p < 0,05$) del efecto antimicrobiano (Gráfica. 1) en comparación con el grupo control, siendo el más alto el láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O (Grupo 3) (10.4), seguido el grupo de NaOCl al 5.25% activado con ultrasonido (Grupo 2) (735) y ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%. (Grupo 4) (1,214.5) el que

menos efecto antimicrobiano obtuvo. Todos los grupos fueron eficaces contra el Biofilm de *E. faecalis* y *P. endodontalis* y mostraron una reducción significativa en el recuento de bacterias viables después del tratamiento a excepción del grupo 4.

Gráfica 1. Efecto antimicrobiano en conductos radiculares, por grupo de estudio.



- La diferencia en efectividad del láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H20, láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25% y el NaOCl al 5.25% activado con ultrasonido es estadísticamente significativa.
- El láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H20 es significativamente más efectivo que los demás grupos.
- El NaOCl al 5.25% activado con ultrasonido es significativamente más efectivo que el láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%.
- El láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H20 es significativamente más efectivo que el láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%.

Tabla 1. Comparaciones múltiples entre grupos.

Tratamiento (Tx)		Media	DE	Sig.	IC 95 %	Límite superior
Ultrasonido + NaOCl 5.25%	Control +	-1448.333*	50.735	0.000	-1583.01	-1313.65
Láser + H ₂ O	Control +	-2172.933*	48.512	0.000	-2301.71	-2044.15
Láser + NaOCl al 5.25%	Control +	-968.833*	50.735	0.000	-1103.51	-834.15

*La diferencia de medias es significativa al nivel de 0.05. *La prueba t de Dunnett tratan un grupo como un control, y comparan todos los demás grupos con este.

7. DISCUSIÓN

El uso del láser ha sido propuesto en la endodoncia para desinfección de los conductos radiculares, la mejora en el alcance de las soluciones de irrigación y la eliminación de la capa de barrillo dentinario.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la efectividad del láser Er;Cr:YSGG 2780 nm + DIODO 450 nm en la eliminación del Biofilm intraconducto. Todos los grupos mostraron reducciones estadísticamente significativas en el número de bacterias remanentes. La mayor reducción correspondió al grupo láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O, con una diferencia de medias de -2172.933 ± 48.512 . Tokuc M. et. al., en el 2019, evaluaron el efecto bactericida del láser Er,Cr:YSGG 2780nm combinado con el láser diodo 940nm para la eliminación de *E. faecalis* en conductos radiculares infectados, donde se obtuvieron resultados similares; el grupo experimental del láser Er,Cr:YSGG + DIODO mostró un promedio de 11,344 \pm 6642.56. El grupo del láser Er,Cr:YSGG + NaOCl al 5.25% obtuvo la mayor reducción de bacterias, con un promedio de 1.33 ± 3.52 UFC. Mientras en el presente estudio el grupo del láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl 5.25% (-968.833 ± 50.735), el cual obtuvo la mayor cantidad de bacterias remanentes. Ambos estudios confirman el potencial del láser como coadyuvante en la desinfección endodóntica, aunque con diferencias significativas según el protocolo y las bacterias que fueron empleadas, mientras el estudio realizado por Tokuc M. et. al., en el 2019, estudió la eliminación de *E. faecalis*, la presente investigación empleo el uso de dos bacterias altamente encontradas en las infecciones radiculares; *E. faecalis* y *P. endodontalis*. Otra variante identificada que pudiere diferir en los resultados son el tipo de combinación de los irrigantes utilizados

Diversas investigaciones muestran que el láser diodo, empleado individualmente, no consigue una desinfección total de los conductos radiculares, por esa razón su uso se recomienda como terapia complementaria a la irrigación con el hipoclorito de sodio. De forma similar, el láser Er,Cr:YSGG también presenta limitaciones cuando se utiliza de manera aislada (Asnaashari M. et. al., 2022). En contraste con la presente investigación, la combinación de dos láseres logró una mayor penetración del irrigante en todos los tercios del conducto, principalmente en el tercio apical. Estos resultados muestran la gran eficacia, ampliando el alcance y profundidad del irrigante compensando las limitaciones que se muestran cuando los laser se utilizan por separado.

Así también lo realizaron Erben et. al., (2019), quienes analizaron los efectos del láser Er,Cr:YSGG (2780 nm) junto con el láser de diodo (940 nm) concluyendo que el uso combinado de ambas longitudes es seguro y ofrece una eficacia superior en comparación con su aplicación individual, mostrando resultados similares a los obtenidos con irrigación convencional mediante hipoclorito de sodio y EDTA.

El uso de agua como irrigante nos da una alternativa a los métodos tradicionales de desinfección en la endodoncia tales como el hipoclorito de sodio. En el presente estudio, se mostró un número mayor de bacterias en el Grupo 4 (ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25%) en comparación con en el Grupo 3 (ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O). Este resultado podría explicarse por el método con el que fue suministrado el líquido irrigante, mientras el Grupo 3 se realizó a una presión constante con un ajuste de 1.25 W / 40 Hz; el grupo 4 fue por medio irrigación manual de NaOCl al 5.25%. A diferencia de Seghayer I et. al., quien comparó en el 2023, la eficacia del láser Er,Cr:YSGG con la irrigación ultrasónica pasiva y la irrigación convencional con hipoclorito de sodio donde se encontró que la activación láser con agua logró una reducción significativa de bacterias en los conductos radiculares, comparable a la obtenida con hipoclorito de sodio, sugiriendo que el uso de agua activada por láser puede ser una alternativa efectiva.

El láser Er,Cr:YSGG ha sido utilizado en la desinfección de conductos radiculares con potencias que varían desde 1 a 3 W, según distintos protocolos clínicos encontrados en la literatura. Sin embargo, elevar la potencia por encima de 1.5 W podría causar daños térmicos, además de un cambio estructural en la dentina, siendo más propenso a la formación de barrillo dentinario. (Fahim SZ, et.al., 2024). En el presente estudio, las imágenes que se obtuvieron mediante el SEM del grupo 3 y 4 se observan cantidades considerables de barrillo dentinario obstruyendo los túbulos dentinarios, sin embargo, la potencia utilizada en el tratamiento fue de 1.25 W.

Los resultados obtenidos en el estudio de permeabilidad permiten observar que tanto la activación con láser ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + H₂O y con ER;CR YSGG 2780NM + DIODO 450NM + NaOCl al 5.25% produjo una penetración más extensa y profunda del colorante en todos los tercios del conducto, especialmente en el tercio apical, lo que sugiere un mayor potencial de desinfección incluso en zonas complejas. En contraste, la irrigación ultrasónica mostró buenos resultados en los tercios cervical y medio, pero una menor eficacia en

el tercio apical. El grupo control, sin tratamiento, presentó una penetración mínima del azul de metileno, confirmando la necesidad de activación para una irrigación efectiva.

Otero et. al., (2024), realizaron un estudio similar donde compararon los efectos de distintos láseres en la penetración de la dentina. Estos concluyeron que, la activación por láser mostro una más profunda penetración del azul de metileno en la dentina, siendo el láser diodo el que alcanzo los niveles más altos de penetración, especialmente en el tercio apical de la raíz.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El avance de la tecnología láser ha transformado significativamente la práctica odontológica, ofreciendo alternativas innovadoras, precisas y menos invasivas en diversas especialidades, incluyendo la endodoncia. La combinación de láseres Er,Cr:YSGG + DIODO mejora significativamente la penetración del irrigante y la eliminación del Biofilm intraconducto, consolidándose como una estrategia innovadora y efectiva en la desinfección endodóntica, especialmente frente a microorganismos resistentes como *E. faecalis* y *P. endodontalis*.

9. LITERATURA CITADA

1. Abuhamed TS, Abou Neel EA. Sodium Hypochlorite Irrigation and Its Effect on Bond Strength to Dentin. *Biomed Res Int.* 2017;2017:1930360.
2. Asnaashari M, Sadeghian A, Hazrati P. The Effect of High-Power Lasers on Root Canal Disinfection: A Systematic Review. *J Lasers Med Sci.* 2022 Dec 14;13:e66.
3. Barbosa-Ribeiro M, Arruda-Vasconcelos R, Louzada LM, Dos Santos DG, Andreote FD, Gomes BPFA. Microbiological analysis of endodontically treated teeth with apical periodontitis before and after endodontic retreatment. *Clin Oral Investig.* 2021 Apr;25(4):2017-2027.
4. Babeer A, Bukhari S, Alrehaili R, Karabucak B, Koo H. Microrobotics in endodontics: A perspective. *Int Endod J.* 2024 Jul;57(7):861-871.
5. Boutsikis C, Arias-Moliz MT. Present status and future directions - irrigants and irrigation methods. *Int Endod J.* 2022 May;55 Suppl 3(Suppl 3):588-612
6. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1983 Mar;55(3):307-12.
7. Cai C, Chen X, Li Y, Jiang Q. Advances in the Role of Sodium Hypochlorite Irrigant in Chemical Preparation of Root Canal Treatment. *Biomed Res Int.* 2023 Jan 13;2023:8858283.
8. Cai M, Cai Y, Yang R, Xu Z, Neelakantan P, Wei X. Impact of agitation/activation strategies on the antibiofilm potential of sodium hypochlorite/etidronate mixture in vitro. *BMC Oral Health.* 2022 May 23;22(1):201.
9. 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.
10. Dioguardi M, Gioia GD, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano G. Endodontiirrigants: Different methods to improve efficacy and related problems. *Eur J Dent.* 2018 Jul-Sep;12(3):459-466.
11. Dioguardi M, Di Gioia G, Illuzzi G, Arena C, Caponio VCA, Caloro GA, Zhurakivska K, Adipietro I, Troiano G, Lo Muzio L. Inspection of the Microbiota in Endodontic Lesions. *Dent J (Basel).* 2019 May 1;7(2):47.

12. Do QL, Gaudin A. The Efficiency of the Er: YAG Laser and PhotonInduced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *J Lasers Med Sci.* 2020 Summer;11(3):316-334.
13. Erben P, Chang AM, Darveau RP, Fong H, Johnson JD, Paran jpe A (2019) Evaluation of the bactericidal potential of 2780 nm ER, CR: YSGG and 940-nm diode lasers in the root canal system. *Lasers Dent Sci* 3:137–146.
14. 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.
15. Gomes BPFA, Aveiro E, Kishen A. Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Braz Dent J.* 2023 Jul-Aug;34(4):1-33.
16. Gonçalves LS, Rodrigues RC, Andrade Junior CV, Soares RG, Vettore MV. The Effect of Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine as Irrigant Solutions for Root Canal Disinfection: A Systematic Review of Clinical Trials. *J Endod.* 2016 Apr;42(4):527-32.
17. Herweijer JA, Loos BG, Neiders M. Characterization of total membrane proteins of *Porphyromonas endodontalis*. *J Endod.* 1992 Dec. 18: 620-624.
18. Huang Q, Li Z, Lyu P, Zhou X, Fan Y. Current Applications and Future Directions of Lasers in Endodontics: A Narrative Review. *Bioengineering (Basel).* 2023 Feb 26;10(3):296.
19. Jiang J, Sun J, Huang Z, Bi Z, Yu G, Yang J, Wang Y. The state of the art and future trends of root canal files from the perspective of patent analysis: a study design. *Biomed Eng Online.* 2022 Dec 24;21(1):90.
20. Kanagasingam S, Blum IR. Sodium Hypochlorite Extrusion Accidents: Management and Medico-Legal Considerations. *Prim Dent J.* 2020 Dec;9(4):59-63.
21. Karamifar K, Tondari A, Saghiri MA. Endodontic Periapical Lesion: An Overview on the Etiology, Diagnosis and Current Treatment Modalities. *Eur Endod J.* 2020 Jul 14;5(2):54-67.
22. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod.* 2006 May;32(5):417-20.

23. Korkut E, Torlak E, Gezgin O, Özer H, Şener Y. Antibacterial and Smear Layer Removal Efficacy of Er:YAG Laser Irradiation by Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Primary Molar Root Canals: A Preliminary Study. Photomed Laser Surg. 2018 Sep;36(9):48.
24. Liapis D, De Bruyne MAA, De Moor RJG, Meire MA. Postoperative pain after ultrasonically and laser-activated irrigation during root canal treatment: a randomized clinical trial. Int Endod J. 2021 Jul;54(7):1037-1050.
25. 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.
26. Machado de Oliveira JC, Siqueira JF Jr, Alves GB, Hirata R Jr, Andrade AF. Detection of Porphyromonas endodontalis in infected root canals by 16S rRNA gene-directed polymerase chain reaction. J Endod. 2000 Dec;26(12):729-32.
27. Mirucki CS, Abedi M, Jiang J, Zhu Q, Wang YH, Safavi KE, Clark RB, Nichols FC. Biologic activity of porphyromonas endodontalis complex lipids. J Endod. 2014 Sep;40(9):1342-8.
28. Moeintaghavi A, Ahrari F, Nasrabadi N, Fallahrastegar A, Sarabadani J, Rajabian F. Low level laser therapy, Er,Cr:YSGG laser and fluoride varnish for treatment of dentin hypersensitivity after periodontal surgery: A randomized clinical trial. Lasers Med Sci. 2021 Dec;36(9):1949-1956.
29. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Kinoshita JI. Establishing Apical Patency: To be or not to be? J Contemp Dent Pract. 2017 Apr 1;18(4):326-329.
30. Ng WNI, Marruganti C, Grandini S, Neelakantan P. Root canal debridement by negative pressure irrigation, ultrasonically activated irrigation and their combination. J Oral Sci. 2021 Jun 29;63(3):286-288.
31. Otero CIAY, Marger L, di Bella E, Feilzer A, Krejci I, Abdelaziz M. An in-vitro study on effects of laser activation on dye penetration in human root dentin. Biomater Investig Dent. 2024 Apr 5;11:40311.

32. Shetty SR, Al-Bayati SAAF, Narayanan A, Hamed MS, Abdemagyd HAE, Shetty P. Sodium hypochlorite accidents in dentistry. A systematic review of published case reports. *Stomatologija.* 2020;22(1):17-22.
33. Sun X, Yang Z, Nie Y, Hou B. Microbial Communities in the Extraradicular and Intraradicular Infections Associated With Persistent Apical Periodontitis. *Front Cell Infect Microbiol.* 2022 Jan 12;11:798367.
34. Park SH, Kim OJ, Chung HJ, Kim OS. Effect of a Er, Cr:YSGG laser and a Er:YAG laser treatment on oral biofilm-contaminated titanium. *J Appl Oral Sci.* 2020 Nov 30;28:e20200528.
35. Passalidou S, Calberson F, De Bruyne M, De Moor R, Meire MA. Debris Removal from the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars with Laser-activated Irrigation. *J Endod.* 2018 Nov;44(11):1697-1701
36. Pham CM, Chen CY, Kim DM. The effects of using erbium, chromium-doped:yttrium-scandium-gallium-garnet laser on the surface modification, bacterial decontamination, and cell adhesion on zirconia discs: an in vitro study. *Lasers Med Sci.* 2021 Oct;36(8):1701-1708
37. Plotino G, Grande NM, Mercade M, Cortese T, Staffoli S, Gambarini G, Testarelli L. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci.* 2019 Jan 7;27:e20180045.
38. Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, Micó-Martínez P, Collado-Castellano N, Manzano-Saiz A. Influence of microbiology on endodontic failure. Literature review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2019 May 1;24(3):e364-e372.
39. Rezende GC, Massunari L, Queiroz IO, Gomes Filho JE, Jacinto RC, Lodi CS, Dezan Junior E. Antimicrobial action of calcium hydroxide-based endodontic sealers after setting, against *E. faecalis* biofilm. *Braz Oral Res.* 2016;30:S1806-83242016000100228.
40. Ruksakiet K, Hanák L, Farkas N, Hegyi P, Sadaeng W, Czumbel LM, Sang-Ngoen T, Garami A, Mikó A, Varga G, Lohinai Z. Antimicrobial Efficacy of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite in Root Canal Disinfection: A Systematic Review and

- Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. J Endod. 2020 Aug;46(8):1032-1041.e7.
41. Sachelarie L, Cristea R, Burlui E, Hurjui LL. Laser Technology in Dentistry: From Clinical Applications to Future Innovations. Dent J (Basel). 2024 Dec 23;12(12):420.
 42. Seghayer I, Lee AHC, Cheung GSP, Zhang C. Effect of Passive Ultrasonic Irrigation, Er,Cr:YSGG Laser, and Photon-Induced Photoacoustic Streaming against *Enterococcus faecalis* Biofilms in the Apical Third of Root Canals. Bioengineering (Basel). 2023 Apr 20;10(4):490.
 43. 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.
 44. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. Eur J Dent. 2016 Jan-Mar;10(1):144-147.
 45. Tokuc M, Ozalp S, Topcuoglu N, Kulekci G. Bactericidal Effect of 2780 nm Er,Cr:YSGG Laser Combined with 940 nm Diode Laser in *Enterococcus faecalis* Elimination: A Comparative Study. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2019 Aug;37(8):489-494.
 46. Tonini R, Salvadori M, Audino E, Sauro S, Garo ML, Salgarello S. Irrigating Tokuc M, Ozalp S, Topcuoglu N, Kulekci G. Bactericidal Effect of 2780 nm Er,Cr:YSGG Laser Combined with 940 nm Diode Laser in *Enterococcus faecalis* Elimination: A Comparative Study. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2019 Aug;37(8):489-494. Solutions and Activation Methods Used in Clinical Endodontics: A Systematic Review. Front Oral Health. 2022 Jan 31;3:838043.
 47. Torabinejad M, White SN. Endodontic treatment options after unsuccessful initial root canal treatment: Alternatives to single-tooth implants. J Am Dent Assoc. 2016 Mar;147(3):214-20.
 48. Xu J, He J, Shen Y, Zhou X, Huang D, Gao Y, Haapasalo M. Influence of Endodontic Procedure on the Adherence of *Enterococcus faecalis*. J Endod. 2019 Jul;45(7):943-949.
 49. Xiang D, Dong PT, Cen L, Bor B, Lux R, Shi W, Yu Q, He X, Wu T. Antagonistic interaction between two key endodontic pathogens *Enterococcus faecalis* and *Fusobacterium nucleatum*. J Oral Microbiol. 2022 Nov 25;15(1):2149448.

50. Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J.* 2007 Jun;40(6):415-26.
51. Voit M, Trampuz A, Gonzalez Moreno M. In Vitro Evaluation of Five Newly Isolated Bacteriophages against *E. faecalis* Biofilm for Their Potential Use against Post-Treatment Apical Periodontitis. *Pharmaceutics.* 2022 Aug 25;14(9):1779.
52. Wang X, Cheng X, Liu X, Wang Z, Wang J, Guo C, Zhang Y, He W. Bactericidal Effect of Various Laser Irradiation Systems on *Enterococcus faecalis* Biofilms in Dentinal Tubules: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Photomed Laser Surg.* 2018 Sep;36(9):472-479.
53. Zou X, Zheng X, Liang Y, Zhang C, Fan B, Liang J, Ling J, Bian Z, Yu Q, Hou B, Chen Z, Wei X, Qiu L, Chen W, He W, Xu X, Meng L, Zhang C, Chen L, Deng S, Lei Y, Xie X, Wang X, Yu J, Zhao J, Shen S, Zhou X, Yue L. Expert consensus on irrigation and intracanal medication in root canal therapy. *Int J Oral Sci.* 2024 Mar 1;16(1):23.