



Universidad Autónoma de Querétaro

“COMPARACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN LA
REDUCCIÓN DE UFC DEL CONDUCTO RADICULAR USANDO
ULTRASONIDO Y LÁSER”

Tesis

Que como parte de los requisitos
para obtener el Diploma de la

ESPECIALIDAD EN ENDODONCIA

Presenta:

M.E. Claudia Lorena Quiroz Ojeda.

Dirigido por:

Dr. Santiago Andaracua García.

Querétaro, Qro. Junio 2026

M.E. CLAUDIA LORENA QUIROZ OJEDA

COMPARACIÓN DE LA ACTIVACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO EN LA REDUCCIÓN
DE UFC DEL CONDUCTO RADICULAR USANDO ULTRASONIDO Y LÁSER

2026

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Medicina
Especialidad de Endodoncia

“Comparación de la activación de hipoclorito de sodio en la reducción de UFC del
conducto radicular usando ultrasonido y láser”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de la
Especialidad en Endodoncia

Presenta:

M. E. Claudia Lorena Quiroz Ojeda

Dirigido por:

Dr. Santiago Andaracua García

Dr. Santiago Andaracua García
Presidente

Dr. Irak Osiris Villareal Vera
Secretario

Dra. Sandra Díaz Vega
Vocal

Dr. Rosa Martha Pérez Serrano
Suplente

Dr. Víctor Rafael Vázquez Ramos
Suplente

Centro Universitario,
Querétaro, Qro. Junio 2026
México

Resumen

Introducción: La periodontitis apical representa una de las enfermedades orales más prevalentes a nivel mundial, su principal factor etiológico es la infección bacteriana. Los microorganismos que evaden la acción de los instrumentos e irrigantes se consideran la principal causa de fracaso del tratamiento, entre ellos destaca *Enterococcus faecalis*. La importancia de utilizar una sustancia como el hipoclorito de sodio para complementar los efectos de la instrumentación ha adquirido gran relevancia, se han desarrollado métodos para potenciar su acción entre los que destacan la irrigación activada por ultrasonido y láser.

Objetivo: Determinar cuál método de activación del hipoclorito de sodio reduce en mayor medida las UFC del conducto radicular: la activación con ultrasonido o con láser.

Material y métodos: Estudio experimental *in vitro* en el cual se emplearon órganos dentarios unirradiculares humanos irrigados con hipoclorito de sodio al 5.25% divididos en 3 grupos: a) grupo control, b) grupo cuyo irrigante se activó con ultrasonido y c) grupo cuyo irrigante se activó con láser.

Resultados: Al realizar el recuento en placa de UFC de *Enterococcus faecalis*, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos experimentales. Los datos se evaluaron mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), obteniéndose un valor de $p = 0.4630$.

Conclusiones: La activación del hipoclorito de sodio mediante ultrasonido o láser Er:YAG no mostró una reducción de UFC de *Enterococcus faecalis* superior a la obtenida con la irrigación convencional.

Palabras clave: *Enterococcus faecalis*, hipoclorito de sodio, irrigación, ultrasonido, láser.

Summary

Introduction: Apical periodontitis is recognized as one of the most prevalent oral pathologies worldwide, with bacterial infection identified as its primary etiological factor. Microorganisms that withstand the action of endodontic instruments and irrigants are regarded as the principal cause of treatment failure, with *Enterococcus faecalis* being particularly notable. The use of sodium hypochlorite as an adjunct to mechanical instrumentation has gained considerable importance, and various strategies have been developed to enhance its efficacy, among which ultrasonic-activated and laser-activated irrigation are of particular relevance.

Objective: To determine which sodium hypochlorite activation method results in a greater reduction of CFUs in the root canal: ultrasonic activation or laser activation.

Material and methods: *In vitro* experimental study using human single-rooted teeth irrigated with 5.25% sodium hypochlorite, divided into three groups: (a) control group, (b) group with ultrasonic-activated irrigant, and (c) group with laser-activated irrigant.

Results: Plate counts of *Enterococcus faecalis* CFUs revealed no statistically significant differences among the three experimental groups. Data were analyzed using one-way analysis of variance (ANOVA), yielding a p-value of 0.4630.

Conclusions: Sodium hypochlorite activation using ultrasound or an Er:YAG laser did not achieve a greater reduction in *Enterococcus faecalis* CFU than conventional irrigation.

Keywords: *Enterococcus faecalis*, sodium hypochlorite, irrigation, ultrasound, laser.

Dedicatorias

A Dios por abrir las puertas correctas en mi vida.

A mis padres y hermanos por su apoyo y amor incondicional.

Agradecimientos

A Dios, por absolutamente todo.

A mis padres por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, por impulsar mis sueños en todo momento y por darme la dicha de poder admirarlos inmensamente.

A Víctor Soto, Tania Gachuzo, Cecilia Gómez y Celina Leyva, por acompañarme en este camino, sostenerme en los momentos difíciles y celebrar conmigo cada logro. Gracias por convertirse en una familia lejos de casa.

A todos mis profesores, por las horas de enseñanza, la dedicación y la guía brindadas durante este periodo de formación. De manera especial, al Dr. Miguel Almanza, al Dr. César López, a la Dra. Fernanda Rodríguez y a la Dra. Isabel Soza, por compartir sus conocimientos y su experiencia. Su enseñanza no solo contribuyó a mi crecimiento académico, sino también a mi desarrollo personal y profesional, dejando una huella invaluable en el camino que hoy continúo recorriendo.

A mi director de tesis el Dr. Santiago Andaracua, gracias por la paciencia, el compromiso, tiempo y apoyo brindado en cada etapa de la elaboración de este proyecto. Agradezco a los miembros del jurado sinodal por sus valiosas aportaciones durante la evaluación de este trabajo, en especial al Dr. Víctor Vázquez por su rigurosa revisión, valiosas observaciones y por la dedicación mostrada durante el proceso de evaluación de este trabajo.

Gracias a CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por su respaldo económico que me permitió realizar mis estudios de posgrado.

Contenido	Página
Resumen	I
Summary	II
Dedicatorias	III
Agradecimientos	IV
Índice	V
Índice de cuadros	VII
Abreviaturas y siglas	VIII
I. Introducción	1
II. Antecedentes	4
III. Fundamentación teórica	9
III.1 Introducción	9
III.2 Hipoclorito de sodio	10
III.3 Irrigación en endodoncia	10
III.4 Activación del irrigante mediante uso de ultrasonido	11
III.5 Activación del irrigante mediante uso de láser	12
IV. Hipótesis	14
V. Objetivos	15
V.1 General	15
V.2 Específicos	15
VI. Material y métodos	16
VI.1 Tipo de investigación	16
VI.2 Universo	16
VI.3 Muestra	16
VI.3.1 Criterios de selección	16
VI.3.2 Variables estudiadas	18
VI.4 Técnicas e instrumentos	21

VI.5 Procedimientos	22
VI.5.1 Análisis estadístico	28
VI.5.2 Consideraciones éticas	29
VII. Resultados	30
VIII. Discusión	31
IX. Conclusiones	34
X. Propuestas	35
XI. Bibliografía	36
XII. Anexos	49

Índice de cuadros

Cuadro	Página
VII.1 Cuadro 1. Comparación de las unidades formadoras de colonias de <i>Enterococcus faecalis</i> en los tres grupos de estudio.	30

Índice de figuras

Figura	Página
Figura 1. Separación de los especímenes en tres grupos de estudio.	23
Figura 2. Pesaje de polvo Caldo Infusión Cerebro Corazón.	24
Figura 3. Suspensión del polvo en agua bidestilada.	24
Figura 4. Agitación de la mezcla en matraz hasta lograr su completa disolución.	24
Figura 5. Frascos Gerber colocados en olla autoclavable.	24
Figura 6. Inoculación de <i>E. faecalis</i> en los frascos Gerber que contenían los especímenes.	24
Figura 7. Colocación de frascos Gerber en incubadora para permitir crecimiento de <i>E. faecalis</i> .	24
Figura 8. Frascos con especímenes preparados para realizar el protocolo de irrigación en cada uno de ellos.	25
Figura 9. Láser Er-YAG de 2.940 nm (AT Fidelis; Fotona, Liubliana, Eslovenia).	26
Figura 10. Punta de cuarzo de 400 µm de diámetro (XPulse 400/14, Fotona).	26
Figura 11. Punta de cuarzo activada en la cámara pulpar de cada órgano dentario.	26
Figura 12. Tubos Eppendorf después de la liberación de bacterias con puntas de papel.	26
Figura 13. Toma de muestra de la solución contenida en los tubos Eppendorf.	27
Figura 14. Siembra en caja Petri.	27
Figura 15. Incubación de cajas Petri en cámara de anaerobiosis.	27
Figura 16. Caja Petri grupo a) control.	27
Figura 17. Caja Petri grupo b) activación de NaOCl con ultrasonido.	27
Figura 18. Caja Petri grupo c) activación de NaOCl con láser.	27

Abreviaturas y siglas

E. faecalis: *Enterococcus faecalis*.

Er:YAG: Erblio granate de itrio y aluminio.

IJC: Irrigación con jeringa convencional.

LAI: Irrigación activada por láser.

NaOCl: Hipoclorito de Sodio.

Nd: YAG: Granate de itrio y aluminio dopado con neodimio.

PIPS: Transmisión fotoacústica inducida por fotones.

UFC: Unidades formadoras de colonias.

UI: Irrigación activada por ultrasonido.

LT: Longitud de trabajo.

I. Introducción

La endodoncia es la disciplina que estudia la anatomía y función de la pulpa y los tejidos perirradiculares (Loesche & Giordano, 1997). El tratamiento endodóntico se dirige principalmente a un objetivo específico: curar o prevenir la periodontitis perirradicular (Ørstavik & Pitt Ford, 1998).

La periodontitis apical es una de las enfermedades inflamatorias orales más prevalentes, un metaanálisis reciente reveló que a nivel mundial el 52% de la población adulta tiene al menos un diente asociado con periodontitis apical y que la prevalencia de periodontitis apical en dientes con tratamiento de conductos fue del 39% (Tibúrcio-Machado et al., 2021).

Las bacterias y sus subproductos son los principales agentes etiológicos de las enfermedades pulpares y periapicales (Siqueira & Rôças, 2009). Se sabe que la persistencia de microorganismos en los sistemas de conductos radiculares antes de la obturación representa un factor de riesgo significativo para la periodontitis apical persistente o la enfermedad posterior al tratamiento (Zandi et al., 2019).

Enterococcus faecalis (*E. faecalis*) es una bacteria grampositiva clasificada como parte del sistema de Streptococcus del grupo D, es una bacteria comensal que habita en la cavidad oral, el tracto gastrointestinal y el tracto genital (de Almeida et al., 2018). Se detecta con frecuencia en infecciones del conducto radicular, con una prevalencia del 30% al 90% de los casos (Gomes et al., 2021).

Las técnicas de endodoncia contemporáneas incluyen el desbridamiento mecánico y la conformación de los conductos radiculares mediante el uso de sistemas rotatorios para eliminar los microorganismos causantes de la periodontitis apical (De-Deus et al., 2015). Sin embargo, se ha demostrado que los instrumentos por sí solos son insuficientes para eliminar bacterias, partículas y capa de barrillo dentinario (Wenzler et al., 2021).

Por tanto, se requieren estrategias de desinfección eficientes para mejorar la limpieza del conducto y eliminar la cantidad de bacterias intrarradiculares con la finalidad de aumentar el porcentaje del éxito clínico (Siqueira & Rôças, 2022). La irrigación adquiere un papel importante ya que ayuda a eliminar las bacterias y residuos del sistema de conductos que no son eliminadas mediante la preparación mecánica (Natanasabapathy et al., 2021).

El hipoclorito de sodio (NaOCl), es la solución de irrigación más utilizada en endodoncia. Es un agente antibacteriano y proteolítico que funciona como un fantástico disolvente orgánico de tejidos, como lubricante y como agente oxidante e hidrolizante (Ali et al., 2022), además se ha demostrado que su reposición frecuente durante el tratamiento del conducto le brinda mayor eficacia (Van der Sluis et al., 2010).

Tradicionalmente, la irrigación se realiza llevando el irrigante al conducto radicular mediante una aguja conectada a una jeringa, un método conocido como irrigación con jeringa convencional (IJC) proporcionando un efecto de enjuague que es crucial para el proceso de irrigación, sin embargo; no garantiza que la solución desinfectante alcance en su totalidad la longitud del conducto y su compleja anatomía interna (Vera et al., 2012).

Debido a las limitaciones de IJC se han desarrollado técnicas innovadoras como la agitación de soluciones irrigantes, dentro de ellas destacan la irrigación activada por ultrasonido (UI) y la irrigación activada por láser (LAI). El objetivo de la activación es mejorar la dinámica, distribución y acción limpiadora de la solución irrigante dentro del conducto radicular (Meire & De Moor, 2024).

La activación del irrigante mediante el uso de un dispositivo ultrasónico genera una transmisión acústica que permite a la solución un alcance mayor en la superficie de la pared del conducto, lo que resulta en una eliminación más eficiente de residuos y bacterias (Linden et al., 2020).

La irrigación activada por láser ha ganado especial atención en los últimos años (Huang et al., 2023) ya que los primeros resultados obtenidos son prometedores en cuanto a la limpieza del conducto (Widbiller et al., 2021). Datos

recientes muestran que el efecto del NaOCl aunado a la acción láser ejerce una potente acción desinfectante (Patel et al., 2024).

II. Antecedentes

El principal factor etiológico en las enfermedades endodónticas y periapicales es la infección bacteriana del sistema de conductos radiculares. El tratamiento de conductos es el método más eficaz para controlar la infección, promover la cicatrización periapical y evitar la reinfección; se lleva a cabo mediante la conformación, desinfección y obturación del conducto radicular (Huang et al., 2023).

Por un largo tiempo el desbridamiento y la desinfección del conducto radicular se consideraba principalmente una función de los instrumentos, mientras que se prestaba menos atención a los irrigantes (Schilder, 1974). No obstante, la evidencia científica disponible ha mostrado que los instrumentos endodónticos presentan limitaciones para alcanzar una proporción significativa del sistema de conductos durante la preparación mecánica (Topçuoğlu et al., 2018).

Diversos estudios han señalado que estos instrumentos no logran un contacto completo en todas las superficies de las paredes del conducto radicular, no únicamente en lo que respecta a la complejidad anatómica del sistema de conductos, sino incluso dentro del conducto principal (Vera et al., 2012). Esto se debe a factores relacionados con las características del instrumento y/o a la anatomía interna del conducto (Siqueira et al., 2018).

Actualmente; la conformación del conducto radicular mediante el uso de instrumentos rotatorios se considera un medio para facilitar el acceso a los irrigantes hacia el interior del conducto, quienes se espera que realicen la mayor parte en el desbridamiento y desinfección. En consecuencia, la irrigación juega un papel clave en lo que respecta a erradicación bacteriana y control de infecciones (Samiei et al., 2014).

Los microorganismos que evaden la acción de los instrumentos e irrigantes se consideran la principal causa de fracaso tanto del tratamiento primario como del retratamiento no quirúrgico (Zehnder & Paqué, 2011). En aproximadamente el 74%–80% de los órganos dentarios asociados con periodontitis apical, los

microorganismos intrarradiculares se organizan en biopelículas (Siqueira & Rôças, 2022).

Las biopelículas son la principal forma en que los microorganismos celulares existen en la naturaleza y es ampliamente conocida su mayor resistencia a los tratamientos antimicrobianos (Olsen, 2015). Ricucci & Siqueira (2010), fueron los primeros en informar sobre la asociación entre biopelículas bacterianas y periodontitis apical; indicando que la periodontitis apical cumple con todos los requisitos descritos en la literatura para ser incluida en la lista de enfermedades mediadas por biopelículas.

Enterococcus faecalis es un coco facultativo anaeróbico grampositivo ampliamente estudiado en endodoncia por su alta prevalencia en situaciones de periodontitis apical persistente (Stuart et al., 2006) y utilizado frecuentemente para evaluar la eficiencia de los irrigantes (Kayaoglu, 2004). Se sabe que *E. faecalis* penetra profundamente en la dentina, lo que dificulta su eliminación completa (Stuart et al., 2006); además puede formar biopelículas incluso en situaciones en las que los nutrientes son escasos (George et al., 2005).

Cuando se requiere investigar el contenido de microorganismos viables, la técnica comúnmente utilizada es la cuenta en placa, el fundamento de la técnica consiste en contar las colonias que se desarrollan en el medio de elección después de un cierto tiempo y temperatura de incubación. Unidades Formadoras de Colonias (UFC), es el término que debe utilizarse para reportar la cuenta de colonias en placa (NOM-092-ssa1-1994).

Dado que la eliminación bacteriana del conducto radicular se ha considerado un criterio para el éxito del tratamiento, numerosos estudios han evaluado la eficacia antimicrobiana de diferentes técnicas de instrumentación y sustancias de irrigación (Zandi, et al 2016). La importancia de utilizar una sustancia antimicrobiana como el NaOCl para complementar los efectos mecánicos de la instrumentación y mejorar la desinfección del conducto radicular ha sido demostrada clínicamente (Rodrigues et al., 2017).

Las soluciones de hipoclorito de sodio administradas como irrigantes del conducto radicular ganaron popularidad por primera vez con el trabajo de Louis I. Grossman (Anthony & Grossman, 1945). El concepto de instrumentación mecánica e irrigación concomitante del conducto radicular de Grossman (1943) ha resistido la prueba del tiempo y ahora es el tratamiento de conducto radicular estándar en todo el mundo (Tsotsis et al., 2021).

La preparación que utiliza hipoclorito de sodio como irrigante, puede reducir los niveles bacterianos hasta un 95% - 99% (Neves et al., 2016). Sin embargo; a pesar de su potente efecto en cuanto a la reducción bacteriana, aún es detectable la presencia de microorganismos en aproximadamente el 30% al 60% de los conductos en órganos dentarios con periodontitis apical después de la preparación (Paiva et al., 2012).

Es importante señalar que; en la mayoría de los estudios de esta naturaleza, las muestras se toman con puntas de papel, si bien esta técnica es capaz de tomar muestras bacterianas localizadas en las inmediaciones del conducto principal, los resultados de estos estudios se relacionan directamente con las condiciones bacteriológicas del lumen y no de los sitios anatómicos de mayor difícil acceso (Siqueira et al., 2018).

En consideración con la cantidad detectable de microorganismos aun después de la instrumentación mecánica e irrigación concomitante del conducto radicular, se han propuesto técnicas para potencializar el efecto del NaOCl (Cai et al., 2023). Una revisión sistemática reciente encontró que la activación del irrigante resultó en un mejor desbridamiento del conducto radicular y del istmo en comparación con la irrigación no activada (Susila & Minu, 2019).

Moorer & Wesselink (1982) reconocieron la influencia significativa que ejerce la agitación mecánica sobre las soluciones de hipoclorito de sodio empleadas en la irrigación endodóntica, demostrando una mejora en su capacidad para disolver el tejido orgánico y un marcado aumento de su efecto antibacteriano al realizar activación preferiblemente continúa. Actualmente se ha demostrado que las

técnicas de agitación mecánica mejoran la calidad de un protocolo de irrigación (Rödig et al., 2019).

La activación del NaOCl mediante dispositivos ultrasónicos es probablemente uno de los enfoques complementarios más utilizados para optimizar la desinfección (Siqueira et al., 2018). Los primeros dispositivos ultrasónicos fueron introducidos en endodoncia por Richman (1957), la oscilación de la lima ultrasónica permite una mejor limpieza del sistema de conductos radiculares al acceder a zonas no tocadas por los instrumentos, aumentando la temperatura del irrigante y la disolución del tejido (Neelakantan et al., 2016).

Además de los dispositivos ultrasónicos, se ha propuesto el uso de láser para activar el irrigante de NaOCl durante la preparación química (Cheng et al., 2012). Desde que Maiman (1960) desarrolló el láser de rubí, han sido estudiadas las aplicaciones del láser en el área odontológica; el primer uso de láser en endodoncia fue reportado por Weichman & Johnson (1971) quienes intentaron sellar el foramen apical mediante el uso de radiación infrarroja de alta potencia producida por un láser de dióxido de carbono.

La irrigación activada por láser se aplicó como un método complementario para la irrigación del conducto radicular hace muchos años (De Groot et al., 2009), el láser Er:YAG demostró la eficacia más prometedora (Cheng et al., 2012). Se evaluó la eficacia del láser Er:YAG en la disolución del tejido pulpar, observándose una tasa significativamente superior en comparación con el hipoclorito de sodio no activado (Guneser et al., 2015).

De acuerdo con Bürklein & colaboradores (2024), la irrigación activada por láser fue el método de irrigación más eficaz en toda la longitud del conducto radicular. Las técnicas de activación exploradas en este estudio evaluaban la actividad en la desinfección de conductos principales, istmos y conductos laterales; dando como resultado un mayor efecto desinfectante con el uso de LAI en la porción coronal del conducto, así como en conductos laterales ubicados en la porción media, lo cual corroboró resultados previos (Donnermeyer et al., 2023).

La técnica de transmisión fotoacústica inducida por fotones (PIPS) representa un método innovador de activación láser, en el cual la punta del dispositivo se posiciona en la porción coronal del conducto radicular, lo que reduce tanto el riesgo de daño térmico (Wen et al., 2021) como la posibilidad de extrusión del irrigante (Bürklein et al., 2024). Se ha informado que la aplicación de PIPS en combinación con hipoclorito de sodio al 2 % genera un efecto bactericida significativamente potente en modelos de conductos radiculares rectos (Wen et al., 2020).

Se ha demostrado que la transmisión fotoacústica inducida por fotones tiene un mayor efecto bactericida que la IJC respecto a bacterias planctónicas y presentes en biopelículas (Wen et al., 2021), esto concuerda con resultados de estudios previos (Hage et al., 2019). Do y Gaudin (2020), realizaron una revisión sistemática determinando de igual manera una eficacia significativa en la disminución bacteriana de PIPS sobre la irrigación convencional con jeringa.

De acuerdo con la literatura, las técnicas PIPS y LAI son reconocidas como métodos innovadores y eficaces para la activación del irrigante, estas tecnologías utilizan el efecto fototérmico de la irradiación directa, así como el efecto fotoacústico teniendo como principal ventaja la minimización de daños adversos como puede ser la carbonización dentinaria (Do & Gaudin, 2020).

III. Fundamentación teórica

III.1 Introducción

La periodontitis apical es una enfermedad de origen infeccioso, en consecuencia; el éxito de su tratamiento está estrechamente relacionado con la eliminación de microorganismos dentro del conducto radicular (Takehashi et al., 1965). Mediante el uso de técnicas mecánicas y químicas, se eliminan tanto las bacterias como sus productos, al igual que el tejido necrótico que podría fungir como sustrato para la recolonización bacteriana (Siqueira & Rôças, 2008).

El papel etiológico de las bacterias intraconducto en la evolución de enfermedades pulpares y periapicales ha sido bien establecido, el hipoclorito de sodio ha desempeñado una función esencial (Cai et al., 2023). La persistencia de la infección intrarradicular como consecuencia de una incompleta eliminación bacteriana o la evasión de agentes patógenos a los mecanismos de desinfección, es la causa más común de fracaso del tratamiento (Stuart et al., 2006).

La eficacia antibacteriana del hipoclorito de sodio utilizado como solución irrigante, se ve directamente afectada por las características propias de la biopelícula; su especie bacteriana, su estructura y madurez (Cai et al., 2023). Las bacterias organizadas en forma de biopelícula representan una resistencia de entre diez y mil veces mayor a los agentes antimicrobianos y antibióticos que las bacterias de vida libre, se ha demostrado que poseen una alta capacidad para evadir la respuesta del sistema inmunológico (Rosen et al., 2016).

La formación de biopelículas y su relevancia en el campo de la endodoncia ha sido ampliamente documentada (Duggan & Sedgley, 2007). *Enterococcus faecalis* es un microorganismo que forma parte de la biopelícula del conducto radicular (Silva et al., 2006), ha sido identificado frecuentemente en casos de tratamientos de conductos radiculares fallidos, alcanzando una prevalencia del 77% en infecciones endodónticas persistentes (Stuart et al., 2006).

III. 2 Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio es considerado el estándar de oro para la irrigación de los conductos radiculares debido a su amplio espectro de acción inespecífica (Moorer & Wesselink, 1982), su excepcional acción antimicrobiana (Ruiz-Linares et al., 2017), su capacidad para disolver los restos de tejido pulpar (Busanello et al., 2019), su función como lubricante durante la instrumentación (Boessler et al., 2007), su bajo costo y amplia disponibilidad (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

El NaOCl representa la única solución empleada en endodoncia con capacidad para disolver materia orgánica, tejido pulpar necrótico y biopelículas (Stojicic et al., 2010). Su eficacia química depende de factores como la concentración, el área de contacto y el tiempo de exposición entre el irrigante y la superficie dentinaria (Boutsioukis & Kishen, 2012). Se ha sugerido la activación o agitación del irrigante como estrategia para optimizar su penetración y favorecer una adecuada distribución dentro del sistema de conductos radiculares (Macedo et al., 2014).

III.3 Irrigación en endodoncia

La irrigación desempeña un papel crucial en la eliminación de biopelículas, sustentándose no solo en las propiedades antimicrobianas del irrigante, sino también en su acción mecánica de arrastre; la cual permite a la solución desinfectante penetrar en las complejidades anatómicas del sistema de conductos radiculares y contribuir mediante mecanismos hidrodinámicos a la separación de las estructuras microbianas altamente organizadas (Robinson et al., 2018).

La irrigación del sistema de conductos radiculares puede llevarse a cabo mediante diversas técnicas, las cuales se agrupan en dos categorías principales: técnicas de irrigación manual y técnicas de irrigación activa. Dentro de las técnicas manuales, la irrigación con jeringa convencional constituye el método más empleado (Uzunoglu-Özyürek et al., 2018); no obstante, a pesar de su amplio uso, presenta limitaciones en cuanto a la adecuada distribución y penetración de las soluciones desinfectantes (Boutsioukis & Arias-Moliz, 2022).

La irrigación activada puede definirse como el uso de dispositivos para agitar y mejorar el flujo de irrigantes hacia las zonas más complejas del sistema de conductos radiculares, dicha función se realiza a través de la aplicación de energía mecánica u otros tipos de energía (Susila & Minu, 2019). Incluso el irrigante más potente no será efectivo si no puede alcanzar sus objetivos dentro de los conductos, en este principio radica la importancia de la activación (Boutsioukis y Gutierrez Nova, 2021).

Las técnicas de irrigación activa aseguran una transferencia eficiente del irrigante en el tercio apical, lo que permite el desbridamiento y la eliminación de restos de tejido duro con una extrusión periapical mínima (Susila & Minu, 2019). Su propósito general es mejorar la distribución del irrigante en el sistema de conductos y crear una potente corriente de flujo para separar y eliminar el contenido del conducto radicular (Swimberghe et al., 2021).

III.4 Activación del irrigante mediante uso de ultrasonido

El ultrasonido es considerado el dispositivo de activación más utilizado en endodoncia (Willershausen et al., 2015). La activación se realiza empleando una punta ultrasónica no cortante operada a una frecuencia de 25–30 kHz (Van Der Sluis et al., 2007), la cual genera ondas acústicas que facilitan el desplazamiento del irrigante hacia las áreas de difícil acceso del sistema de conductos radiculares, incrementando así el contacto con la superficie dentinaria y favoreciendo una eliminación más eficaz de restos tisulares y microorganismos (Linden et al., 2020).

Uno de los protocolos de irrigación asociado al empleo de dispositivos ultrasónicos consiste en una activación intermitente durante periodos cortos, combinada con el recambio del irrigante mediante jeringa y aguja durante la instrumentación, modalidad que parece encontrarse ampliamente aceptada en la práctica clínica. Un esquema comúnmente referido para la activación intermitente corresponde a tres ciclos de 20 segundos; sin embargo, también se han descrito protocolos aún más breves, como tres ciclos de 10 segundos (Căpută et al., 2019).

La evidencia disponible sugiere que la irrigación ultrasónica resulta más efectiva que la irrigación convencional con jeringa en el desbridamiento de

extensiones ovales no instrumentadas, istmos y conductos laterales. No obstante, la información acerca de su efecto antimicrobiano en dichas áreas sigue siendo limitada, y hasta el momento ningún ensayo clínico ha demostrado una mejora significativa en los resultados del tratamiento a largo plazo (Căpută et al., 2019).

III.5 Activación del irrigante mediante uso de láser

Los láseres estimulan átomos o moléculas para emitir una longitud de onda específica y amplificada, lo que resulta en haces de luz coherentes, monocromáticos, bien controlados y dirigidos con precisión. Cuando un láser interactúa con los tejidos, produce efectos biológicos específicos, incluyendo efectos de estimulación térmica, fotoquímica, electromagnética y biológica, que son la base de su uso en medicina (Huang et al., 2023).

Por sus características en cuanto a desbridamiento, ablación, regulación de la inflamación y aceleración de la cicatrización; la aplicación de láseres con diferentes longitudes de onda y dispositivos se introdujo en la odontología y se viene realizando desde hace décadas (Theodoro et al., 2021). La irrigación activada por láser cubre una variedad de dispositivos y técnicas que mejoran la dinámica de fluidos de las soluciones de irrigación mediante cavitación y transmisión acústica como un fenómeno de cavitación secundaria (Do & Gaudin, 2020).

El mecanismo de la irrigación activada por láser se basa en el uso de puntas de fibra que inducen la formación de microburbujas de cavitación en las soluciones irrigantes, la oscilación volumétrica de dichas burbujas genera movimientos de fluido a gran velocidad favoreciendo el desprendimiento de biopelículas y otros residuos. Como resultado de este movimiento rápido y continuo, los componentes adheridos a las paredes de los conductos radiculares se eliminan y son finalmente expulsados (Swimberghe et al., 2022).

En la actualidad se dispone de una gran variedad de dispositivos láser para llevar a cabo la activación de las soluciones irrigantes, entre ellos destacan los láser dopados con erbio: granate de itrio y aluminio (Er:YAG), granate de itrio y aluminio dopado con neodimio (Nd:YAG) y láseres de diodo (Huang et al., 2023). El grado de absorción de la longitud de onda del láser en el medio líquido constituye el principal

factor determinante de la eficiencia del fenómeno de cavitación (Meire & De Moor, 2024).

Determinado por la capacidad de absorción de longitud de onda en el medio acuoso, los láseres de diodo no resultan apropiados para la irrigación activada por láser basada en cavitación. En consecuencia, en la práctica odontológica actual, los láseres de erbio (Er:YAG y Er,Cr:YSGG) y, en menor medida, el láser Nd:YAG (1340 nm), son los más adecuados para este propósito (Meire & De Moor, 2024).

La longitud de onda operativa de los láseres Er:YAG (2940 nm) coincide con el espectro de absorción del agua, lo que permite su interacción con el irrigante acuoso para inducir la formación de burbujas de cavitación. Estas burbujas implosionan a gran velocidad, generando ondas de choque de elevada amplitud, en un fenómeno denominado transmisión fotoacústica inducida por fotones (Swimberghe et al., 2022).

La técnica PIPS se distingue de otros métodos de irrigación activada por requerir la colocación de la punta por debajo del orificio de entrada del conducto, sin necesidad de realizar un movimiento apical, en contraste con la inserción de fibras láser dentro del sistema radicular. Asimismo, emplea parámetros de energía más reducidos (DiVito et al., 2011) que, de acuerdo con los fabricantes disminuye el riesgo de daño térmico en las paredes del conducto radicular y reduce la probabilidad de extrusión del irrigante más allá del foramen apical (Kamaci et al., 2017).

El protocolo de irrigación asociado con la técnica PIPS consiste en la activación del irrigante mediante la colocación de una punta láser cónica en la cámara pulpar, con un periodo de activación estructurado en ciclos de 30 segundos, completándose un total de tres ciclos (Jaramillo, 2015). No obstante, aún se carece de directrices, evidencia sólida o consenso respecto a los parámetros óptimos de la irrigación activada por láser. En la práctica actual, la mayoría de los clínicos se rige por las recomendaciones proporcionadas por los fabricantes (Meire & De Moor, 2024).

IV. Hipótesis

Hipótesis de trabajo

El método de activación del hipoclorito de sodio mediante láser logra una mayor reducción de unidades formadoras de colonias en los conductos radiculares que la activación mediante ultrasonido.

Hipótesis nula

El método de activación del hipoclorito de sodio mediante ultrasonido logra una mayor reducción de unidades formadoras de colonias en los conductos radiculares que la activación mediante láser.

Hipótesis alterna

Los métodos de activación del hipoclorito de sodio mediante láser y ultrasonido logran la misma reducción de unidades formadoras de colonias en los conductos radiculares.

V. Objetivos

V.1 Objetivo general

Comparar la eficacia de la activación del hipoclorito de sodio mediante ultrasonido y láser en la reducción de unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* en los conductos radiculares.

V.2 Objetivos específicos

Cuantificar el número de unidades formadoras de colonias presentes en los conductos radiculares después de la activación del hipoclorito de sodio mediante ultrasonido.

Cuantificar el número de unidades formadoras de colonias presentes en los conductos radiculares después de la activación del hipoclorito de sodio mediante láser.

Comparar el número de unidades formadoras de colonias presentes en los conductos radiculares después de la activación del hipoclorito de sodio mediante ultrasonido y mediante láser.

VI. Material y métodos

VI.1 Tipo de investigación

Experimental *in vitro*

VI.2 Universo

Órganos dentales unirradiculares humanos extraídos por indicación ortodóncica, problemas periodontales o por indicación protésica; los cuales se consiguieron por donación de los pacientes posterior a su extracción.

VI.3 Muestra

60 premolares humanos extraídos que cumplan con los criterios de inclusión, divididos en subgrupos de 20 cada uno.

El número de la muestra se determinó con base a diversos estudios que utilizaron un tamaño de muestra similar. (Qian-qian Wang, 2007).

VI.3.1 Criterios de selección

Criterios de inclusión

- Órganos dentarios extraídos por tratamiento de ortodoncia.
- Órganos dentarios unirradiculares.
- Órganos dentarios con conducto único.
- Órganos dentarios con morfología de raíz recta.
- Órganos dentarios con ápice cerrado.
- Órganos dentarios con ausencia de caries.
- Órganos dentarios sin tratamiento endodóntico previo.

Criterios de exclusión

- Órganos dentarios con reabsorción interna o externa.
- Órganos dentarios con restauraciones.

- Órganos dentarios previamente tratados.
- Órganos dentarios con calcificaciones.
- Órganos dentarios fracturados y/o fisurados.
- Órganos dentarios con malformaciones radiculares.
- Órganos dentarios con ápice abierto.
- Órganos dentarios con caries que comprometa la integridad del órgano dentario

Criterios de eliminación

- Premolares humanos extraídos que se fracturen o perforen durante el procedimiento.
- Premolares humanos extraídos que contengan fragmento de instrumento rotatorio separado dentro del conducto radicular.

VI.3.2 Variables estudiadas

Variable dependiente

Variable dependiente.	Definición conceptual.	Definición operacional.	Tipo de Variable	Escala de medición.	Unidad de medida.
Unidades formadoras de colonias (UFC) en conductos radiculares, cuantificadas mediante cultivo en caja de Petri.	Unidad de medida que se emplea para la cuantificación de microorganismos.	Se determinó mediante el recuento de las UFC de <i>Enterococcus faecalis</i> obtenidas a partir de muestras de los conductos radiculares e inoculadas en cajas de Petri con medio de cultivo.	Cuantitativa.	Continua.	Números naturales.

Variable independiente

Variable independiente.	Definición conceptual.	Definición operacional.	Tipo de variable	Escala de medición.	Unidad de medida.
Irrigación del conducto radicular con hipoclorito de sodio mediante técnica de irrigación con jeringa convencional.	Método de irrigación del conducto radicular que consiste en la administración de hipoclorito de sodio mediante una jeringa y una aguja de irrigación, sin emplear sistemas de activación.	El conducto radicular se irrigó con hipoclorito de sodio al 5.25% mediante una jeringa de 10 mL y una aguja Endo-Eze calibre 30, manteniendo la punta de la aguja a 2 mm por debajo de la longitud de trabajo durante la irrigación.	Cualitativo.	Nominal.	-
Irrigación del conducto radicular con hipoclorito de sodio al 5.25 % mediante activación ultrasónica.	Método de irrigación del conducto radicular que consiste en la activación del hipoclorito de sodio mediante energía ultrasónica transmitida a través de una	El conducto radicular se irrigó con hipoclorito de sodio al 5.25 % mediante técnica de irrigación con jeringa convencional; posteriormente, el irrigante fue activado con una punta de ultrasonido	Cualitativo.	Nominal.	-

	punta ultrasónica.	colocada a 1 mm por debajo de la longitud de trabajo durante tres ciclos de 20 segundos.			
Irrigación del conducto radicular con hipoclorito de sodio al 5.25 % mediante activación con láser Er:YAG.	Método de irrigación del conducto radicular que consiste en la activación del hipoclorito de sodio mediante la técnica PIPS, utilizando un láser Er:YAG	El conducto radicular se irrigó con hipoclorito de sodio al 5.25 % mediante técnica de irrigación con jeringa convencional; posteriormente, el irrigante fue activado mediante la técnica PIPS con láser Er:YAG, colocando la punta PIPS en la entrada del conducto durante tres ciclos de 30 segundos.	Cualitativo.	Nominal.	-

VI.4 Técnicas e instrumentos

Durante el proceso de investigación se emplearon los siguientes dispositivos:

- Cavitron Escareador Dental Woodpecker DTE® D5 Luz LED (Woodpecker.co SA. Europa - Polonia – Wrocław).
- Punta para ultrasonido de acero inoxidable tamaño ET40 (Satelec/Acteon®, Mount Laurel, NJ).
- Láser Er YAG de 2.940 nm (AT Fidelis; Fotona, Liubliana, Eslovenia).
- Pieza de mano (R14-PIPS, Fotona, Liubliana, Eslovenia).
- Punta de cuarzo de 400 µm de diámetro (XPulse 400/14, Fotona, Liubliana, Eslovenia).

Los datos obtenidos del recuento de UFC de cada órgano dentario fueron registrados y organizados en el programa Microsoft Excel. Posteriormente, la base de datos fue analizada mediante el programa GraphPad Prism (GraphPad Software Inc.) para determinar la existencia de diferencias significativas entre los grupos de estudio.

VI.5 Procedimientos

Se dividió en tres fases para su realización:

1.- Fase de recolección y preparación de muestras.

- 1.- Se recolectaron 60 órganos dentarios humanos unirradiculares.
- 2.- Los órganos dentarios fueron almacenados en agua de grifo durante el proceso de recolección.
- 3.- Los órganos dentarios se decoronaron utilizando un disco de diamante para producir una longitud de raíz estándar de 19 mm.
- 4.- La longitud de trabajo se estableció en 18 mm, correspondiente a 1 mm menos del ápice anatómico.
- 5.- Los conductos radiculares fueron permeabilizados e instrumentados manualmente con limas tipo K calibres #10, #15 y #20 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza).
- 6.- Posteriormente, se realizó la preparación mecánica mediante un sistema rotatorio V-Taper Gold (Fanta Dental Materials, Xuhui, Shanghái, China), hasta alcanzar un diámetro apical ISO 30 en todos los especímenes.
- 7.- Durante la instrumentación, se irrigó con 1 ml de hipoclorito de sodio al 5.25% (Clorox®, The Clorox Company, Oakland, EE. UU.) entre cada recambio de lima utilizando técnica pasiva.
- 8.- Posteriormente, los conductos fueron irrigados con EDTA al 17% con el objetivo de eliminar la capa de barrillo dentinario.
- 9.- Se realizó un enjuague adicional con 3 mL de NaOCl al 5.25%.

- 10.- El lavado final se llevó a cabo con agua estéril.
- 11.- Los conductos fueron secados con puntas de papel estériles ISO 30 (Hygenic®, Coltene AG, Suiza)
- 12.- Los órganos dentarios fueron colocados de manera individual en bolsas para esterilización de 57 × 102 mm (Medicom SafeSeal Quattro®, EE. UU.).
- 13.- Las bolsas fueron introducidas en autoclave (AV07, 12 L, LORMA, Puebla, México) y sometidas a un ciclo de esterilización a 121 °C durante 20 minutos.
- 14.- Posteriormente, las muestras esterilizadas fueron almacenadas en condiciones asépticas hasta su utilización.

2.- Fase experimental.

1. Los órganos dentarios fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos experimentales (**Figura 1**):

- a) grupo control. Irrigación con jeringa convencional con hipoclorito de sodio al 5.25%.
- b) grupo ultrasonido. activación del hipoclorito de sodio al 5.25% mediante ultrasonido.
- c) grupo láser. activación del hipoclorito de sodio al 5.25% mediante láser Er:YAG.



Figura 1. Separación de los especímenes en tres grupos de estudio.

2.- Los órganos dentarios fueron colocados en frascos de vidrio Gerber (GERBER Michigan, USA) y esterilizados en olla autoclavable a 121 grados centígrados durante 20 minutos.

3.- Preparación de medio BIH (**Figuras 2, 3 y 4**): Se suspendieron 22.2 g de polvo de Caldo Infusión Cerebro Corazón (MCD LAB, Estado de México, México) en 600 ml de agua bidestilada, se disolvió con agitación suave hasta su completa disolución en un matraz.



Figura 2. Pesaje de polvo Caldo Infusión Cerebro Corazón.

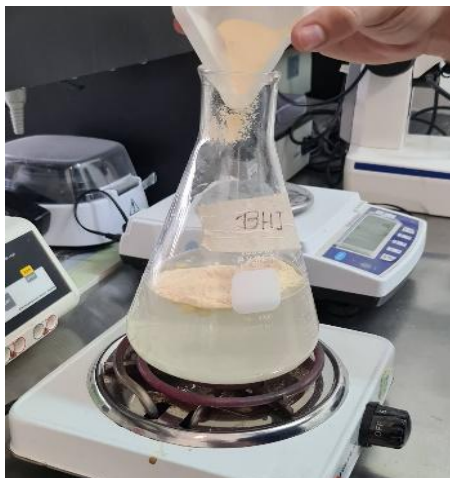


Figura 3. Suspensión del polvo en agua bidestilada.



Figura 4. Agitación de la mezcla en matraz hasta lograr su completa disolución.

4.- La infusión fue colocada en los frascos Gerber (GERBER Michigan, USA) que contenían los órganos dentarios agrupados. Se esterilizo en olla autoclavable a 121 grados centígrados durante 20 minutos (**Figura 5**).

5.- Se inocularon 25 microlitros de *Enterococcus faecalis* a la infusión BIH (**Figura 6**) contenida en los frascos Greber (GERBER Michigan, USA) y se colocó en incubadora a 37°C en una cámara de bajo contenido en CO₂ para permitir el crecimiento de *E. faecalis* (**Figura 7**). Las muestras fueron incubadas durante 3 semanas.



Figura 5. Frascos Gerber colocados en olla autoclavable.



Figura 6. Inoculación de *E. faecalis* en los frascos Gerber que contenían los especímenes.



Figura 7. Colocación de frascos Gerber en incubadora para permitir crecimiento de *E. faecalis*.

6.- Una vez contaminados los órganos dentarios se realizó en cada grupo el protocolo de irrigación determinado (**Figura 8**):

En el **grupo a)** la irrigación con jeringa convencional se realizó con 5 mL de hipoclorito de sodio al 5.25% utilizando una aguja EndoEZE® calibre 30 (Ultradent). La aguja se mantuvo fija a 2 mm por debajo de la longitud de trabajo.



Figura 8. Frascos con especímenes preparados para realizar el protocolo de irrigación en cada uno de ellos.

En el **grupo b)** se utilizó una punta de acero inoxidable de tamaño ET40 (Satelec/Acteon®, Mount Laurel, NJ), accionada por un dispositivo ultrasónico Cavitron Escareador Dental DTE D5 con luz LED (Woodpecker Co., Wrocław, Polonia). El conducto radicular se inundó previamente con hipoclorito de sodio al 5.25%, y la punta se colocó a 1 mm corto de la longitud de trabajo. La activación se realizó en tres ciclos 20 segundos. Entre cada ciclo de activación, el conducto se irrigó con 1 mL de NaOCl 5.25% para renovar la solución irrigante.

En el **grupo c)** se utilizó un láser Er:YAG de 2,940 nm (AT Fidelis; Fotona, Ljubljana, Eslovenia; **Figura 9**), equipado con una pieza de mano R14-PIPS (Fotona) y una punta de cuarzo de 400 µm de diámetro (XPulse 400/14, Fotona; **Figura 10**). El conducto radicular se inundó previamente con hipoclorito de sodio al 5.25%, y la punta de la fibra se colocó en la entrada del conducto radicular (**Figura 11**). La activación se realizó en tres ciclos de 30 segundos. Los parámetros utilizados fueron una energía de pulso de 20 mJ, una frecuencia de 20 Hz y una duración del pulso de 50 µs. Entre cada ciclo de activación, el conducto se irrigó con 1 mL de NaOCl 5.25% para renovar la solución irrigante.



Figura 9. Láser Er-YAG de 2.940 nm (AT Fidelis; Fotona Liubliana, Eslovenia).



Figura 10. Punta de cuarzo de 400 µm de diámetro (XPulse 400/14, Fotona).



Figura 11. Punta de cuarzo activada en la cámara pulpar de cada órgano dentario.

7.- Después del tratamiento en cada grupo, se realizó un lavado final con solución de Ringer estéril y se insertaron puntas de papel estériles ISO 30 (Hygenic, Coltene® AG. Suiza) a longitud de trabajo. Las puntas fueron dejadas dentro del conducto durante 15 segundos para absorber el contenido.

8.- Las puntas de papel húmedas fueron llevadas a tubos Eppendorf estériles de 1.5 ml (Eppendorf SE, Germany) con solución de Ringer durante 20 segundos para liberar las bacterias (**Figura 12**).

9.- En campo estéril con mecheros encendidos y con ayuda de una micropipeta se tomó una muestra de la solución contenida en los tubos Eppendorf (**Figura 13**). Se realizó la siembra en cajas Petri de 100 x 15 mm (SyM laboratorios PROQISUR, México) que contenían agar sangre (**Figura 14**), para ser incubadas a 37°C en una cámara de anaerobiosis durante 48 horas (**Figura 15**).



Figura 12. Tubos Eppendorf después de la liberación de bacterias con puntas de papel.



Figura 13. Toma de muestra de la solución contenida en los tubos Eppendorf.



Figura 14. Siembra en caja Petri.



Figura 15. Incubación de cajas Petri en cámara de anaerobiosis.

Fase de interpretación de resultados.

1.- A las 48 horas se acudió a la cámara de anaerobiosis y fueron retiradas las cajas Petri de cada grupo de estudio (**Figuras 16, 17 y 18**) para proceder al conteo de las UFC. La cuantificación de UFC se llevó a cabo por observación directa de las colonias presentes en las placas de agar sangre.

2.- Los datos obtenidos fueron analizados mediante pruebas estadísticas utilizando el programa GraphPad Prism (GraphPad Software Inc.).



Figura 16. Caja Petri grupo a) control.

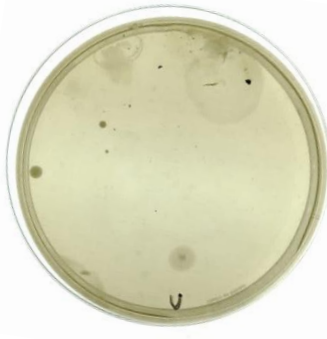


Figura 17. Caja Petri grupo b) activación de NaOCl con ultrasonido.

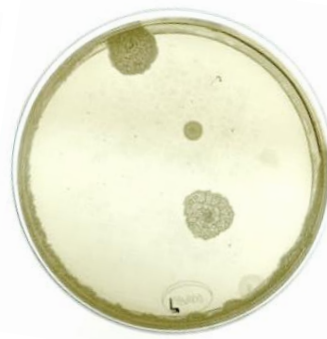


Figura 18. Caja Petri grupo c) activación de NaOCl con láser.

VI.5.1 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el programa GraphPad Prism (GraphPad Software Inc.). Para comparar el recuento de unidades formadoras de colonias entre los tres grupos de estudio se utilizó un análisis de varianza (ANOVA). Se consideró un nivel de significancia estadística de $p < 0.05$.

VI.5.2 Consideraciones éticas

Los premolares utilizados en este estudio fueron obtenidos mediante la donación voluntaria de los pacientes, posterior a su extracción. Los órganos dentarios fueron empleados exclusivamente para fines de investigación y, una vez concluido el estudio, fueron desechados de acuerdo con los protocolos establecidos para el manejo y disposición final de residuos biológico-infecciosos.

VII. Resultados

En el Cuadro 1 se presenta el recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* obtenido en los tres grupos de estudio. El grupo control y el grupo con activación mediante láser presentaron un promedio de 1.56 UFC, mientras que el grupo con activación ultrasónica presentó un promedio de 0.89 UFC. El análisis de varianza (ANOVA) no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados ($p = 0.4630$).

Cuadro 1. Comparación del recuento de unidades formadoras de colonias (UFC) de *Enterococcus faecalis* entre los grupos experimentales.

Grupo	Control (n=18)	Ultrasonido (n=19)	Láser (n=18)	Valor de p
	X $\pm$ DE (Rango)			
UFC de <i>Enterococcus</i> <i>faecalis</i> a las 48 horas.	1.56 $\pm$ 1.10 (0-8)	0.89 $\pm$ 1.10 (0-4)	1.56 $\pm$ 1.98 (0-7)	0.4630

UFC: Unidades formadoras de colonias; X: Promedio; DE: Desviación Estándar. Prueba estadística: análisis de varianza (ANOVA).

VIII. Discusión

Las bacterias juegan un papel clave en el desarrollo de la enfermedad pulpar y periapical; por lo tanto, el control de la infección es un objetivo esencial del tratamiento de conductos considerándose la irrigación como el principal método de limpieza y desinfección para lograr este propósito.

La mayoría de los irrigantes utilizados actualmente son soluciones químicamente activas y su reacción directa con la biopelícula se considera la base de su efecto antimicrobiano. El hipoclorito de sodio sigue siendo el irrigante de primera elección en endodoncia, su potente actividad antibacteriana ha sido demostrada ampliamente.

Sin embargo, aún no existe un consenso sobre la concentración óptima de soluciones de NaOCl, con valores propuestos que van desde 0.5 a 8.25% (Cullen et al.,2015; Demenech et al., 2021; Gazzaneo et al.,2019) Las preferencias de los médicos también varían considerablemente entre países (Neukermans et al., 2015; Willershausen et al., 2015). Según estudios de laboratorio, los efectos deseables del NaOCl se relacionan con su concentración (Moorer y Wesselink,1982; Petridis et al., 2019).

Radcliffe et al. (2004) probaron la actividad antimicrobiana de diversas concentraciones de NaOCl frente a diferentes patógenos y observaron que *Enterococcus faecalis*, redujo sus UFC/ml a cero al exponerse a NaOCl al 0.5 % durante 30 min, a NaOCl al 1.0 % durante 10 min, a NaOCl al 2.5 % durante 5 min o a NaOCl al 5.25 % durante 2 min. Esto indica que la concentración está directamente relacionada con un mejor efecto desinfectante.

Gomes et al. (2001), obtuvieron resultados similares, revelando que el NaOCl al 0.5 % requirió 30 min para destruir las células bacterianas de *E. faecalis*, mientras que el NaOCl al 5.25 % tardó menos de 30 segundos en obtener los mismos resultados. En base a estos estudios se concluye que NaOCl al 5.25 % es la concentración ideal y más eficaz.

La concentración de hipoclorito de sodio utilizada para el diseño de este estudio fue de 5.25 % en todos los grupos experimentales, se desarrolló de esta manera con la finalidad de estandarizar la solución desinfectante en los tres protocolos, sin embargo; es posible que haya implicado un sesgo en los resultados al ser por sí mismo altamente efectivo contra *E. faecalis*.

Pese a ello, la literatura ha demostrado que la irrigación con jeringa convencional parece ser bastante efectiva en el conducto radicular principal cuando se cumplen requisitos específicos como; la proximidad de las agujas al extremo apical del conducto radicular (Boutsioukis et al., 2010; Chen et al., 2014), el espacio disponible en el tercio apical (Boutsioukis y Gutiérrez Nova, 2021) y en ciertos casos, la cantidad del irrigante (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Pereira et al., 2021).

La posición óptima para las agujas abiertas es de 2 a 3 mm por debajo de la longitud de trabajo (LT), mientras que las agujas cerradas deben colocarse a 1 mm menos de LT (Boutsioukis et al., 2010; Chen y et al., 2014). La aguja de irrigación utilizada para el protocolo del **grupo a)** fue Endo-Eze (calibre 30), la cual pertenece al grupo de agujas con extremo abierto y fue llevada a menos 2 mm de la longitud de trabajo.

Aunado a ello la preparación de los conductos fue unificada en todas las muestras hasta un ISO 30, lo que le permitió al irrigante un flujo adecuado dentro del conducto radicular. La anatomía recta de las muestras seleccionadas fue otro factor que permitió cumplir con los requisitos para una IJC eficaz, logrando así una disminución considerable de *E. faecalis*.

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que la activación del hipoclorito de sodio no mostró un mayor efecto desinfectante en comparación con la irrigación convencional. Estos datos coinciden con ensayos clínicos previos al no encontrar una diferencia significativa entre la irrigación con jeringa y otros métodos (incluyendo la activación ultrasónica), en cuanto a la eliminación de bacterias o biopelículas dentro del conducto radicular principal en órganos dentarios

con un solo conducto y anatomía relativamente sencilla (Johnson et al., 2012; Liang et al., 2013; Versiani et al., 2016).

Una revisión sistemática presentada por Silva et al., (2019), concluyó que; en función de los hallazgos presentados, no hay evidencia que respalde el uso de la irrigación activada con ultrasonido sobre la irrigación no activada en la práctica clínica. Esta conclusión coincide con los presentes hallazgos.

De acuerdo con De Meyer et al. (2017), cuando se utilizó NaOCl 2.5 % como irrigante y se compararon irrigación no activa, irrigación activada por ultrasonido y por láser; se obtuvieron reducciones en todos los grupos sin diferencias significativas entre ellos; la acción química del NaOCl pareció ser más importante que los efectos físicos de la activación del irrigante.

De Meyer et al. (2017) concluyen que el tratamiento con láser no pareció aumentar significativamente la acción química del NaOCl, ya que los datos obtenidos son consistentes con los expuestos en esta investigación, la potente acción del hipoclorito de sodio fue suficiente para eliminar de manera suficiente la colonización bacteriana de *E. faecalis*.

De acuerdo con una revisión sistemática realizada por Do & Gaudin (2020) acerca de eficiencia de PIPS, ponen en evidencia que la irrigación con láser Er:YAG y PIPS son prometedoras en la desinfección del conducto, así como en la eliminación de residuos y la capa de barrillo dentinario. Sin embargo, la gran variedad en los métodos de estudio hace que los resultados sean menos significativos, por lo que se necesitan más estudios para evaluar mejor la eficiencia de estas técnicas, especialmente estudios *in vivo*.

IX. Conclusiones

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la reducción de las unidades formadoras de colonias de *Enterococcus faecalis* entre la irrigación convencional con jeringa, la irrigación activada mediante ultrasonido y la irrigación activada con láser Er:YAG utilizando hipoclorito de sodio al 5.25 %. Dentro de las condiciones del presente estudio, la irrigación convencional mostró una reducción bacteriana comparable a la obtenida con los protocolos de activación evaluados.

IX. Propuestas

Actualmente existe un gran interés en la instrumentación mínimamente invasiva del sistema de conductos radiculares, cuyo objetivo es tratar enfermedades pulpares limitando al máximo las alteraciones estructurales tras la preparación mecánica. No obstante, existe preocupación con respecto a la eficacia de la desinfección ya que el empleo de preparaciones más conservadoras podría limitar el contacto del irrigante con las paredes del conducto y comprometer la eliminación de los microorganismos intraconducto.

Es necesario el contacto directo del irrigante con la superficie tratada para desempeñar su efecto antibacteriano. La instrumentación mecánica conservadora propicia una penetración insuficiente de las soluciones desinfectantes, en este sentido las técnicas de activación se vuelven imperativas, sin embargo; no existen directrices específicas para realiza protocolos realmente efectivos.

La vasta literatura referente a la importancia de la irrigación en endodoncia presenta una considerable diversidad en torno a sustancias desinfectantes, dispositivos, tiempos de contacto del irrigante, protocolos estandarizados y modificados de activación entre otros. Al no haber consenso sobre un protocolo específico, se vuelve confuso y complejo poder adoptar una técnica que sea eficiente para la práctica clínica.

Con base en los hallazgos del presente estudio, se propone que futuras investigaciones se enfoquen en la estandarización de los protocolos de irrigación y activación, así como en la evaluación de la penetración y eficacia de las soluciones irrigantes bajo condiciones clínicas. Asimismo, se recomienda promover estudios clínicos que permitan corroborar los resultados obtenidos en investigaciones in vitro y ex vivo, con el propósito de fortalecer la evidencia científica disponible para la práctica endodóntica.

X. Bibliografía

Ali A., Bhosale A., Pawar S., Kakti A., Bichpuriya A., & Agwan M. A. 2022. Current Trends in Root Canal Irrigation. *Cureus*. 14(5): e24833.

Anthony L.P. & Grossman L.I. 1945. A brief history of root- canal therapy in the United States. *Journal of the American Dental Association*. 32(1): 43–50.

Boessler C., Peters O. A., & Zehnder M. 2007. Impact of Lubricant Parameters on Rotary Instrument Torque and Force. *Journal of Endodontics*. 33(3): 280–283.

Boutsioukis C., & Arias-Moliz M.T. 2022. Present status and future directions irrigants and irrigation methods. In *International Endodontic Journal*. 55(3): 588–612).

Boutsioukis C., & Gutierrez Nova P. 2021. Syringe Irrigation in Minimally Shaped Root Canals Using 3 Endodontic Needles: A Computational Fluid Dynamics Study. *Journal of Endodontics*. 47(9): 1487–1495.

Boutsioukis C., & Kishen, A. 2012. Fluid dynamics of syringe-based irrigation to optimise anti-biofilm efficacy in root-canal disinfection. *Roots* 2012. (4): 22-31.

Boutsioukis C., Verhaagen B., Versluis M., Kastrinakis E., Wesselink P., & Van der Sluis, L.W.M. 2010. Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady Computational Fluid Dynamic model. *Journal of Endodontics*. 36: 875–879.

Bürklein S., Abdi I., Schäfer E., Appel C., & Donnermeyer D. 2024. Influence of pulse energy, tip design and insertion depth during Er:YAG-activated irrigation on cleaning efficacy in simulated severely curved complex root canal systems in vitro. *International endodontic journal*. 57(1): 87–99.

Busanello, F. H., Petridis, X., So, M. V. R., Dijkstra, R. J. B., Sharma, P. K., & van der Sluis, L. W. M. 2019. Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: optical coherence tomography, confocal

microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *International endodontic journal*, 52(4), 461–474.

Cai C., Chen X., Li Y., & Jiang Q. 2023. Advances in the Role of Sodium Hypochlorite Irrigant in Chemical Preparation of Root Canal Treatment. *BioMed research international* 2023, 8858283.

Căpută P.E., Retsas A., Kuijk L., Chávez de Paz L.E., & Boutsoukis C. 2019. Ultrasonic Irrigant Activation during Root Canal Treatment: A Systematic Review. In *Journal of Endodontics*. 45(1): 31–44.

Chen J. E., Nurbakhsh B., Layton G., Bussmann M., & Kishen A. 2014. Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a computational fluid dynamics analysis. *Australian endodontic journal*. 40(2): 54–60.

Cheng X., Guan S., Lu H., Zhao C., Chen X., Li N., Bai Q., Tian Y., & Yu Q. 2012. Evaluation of the bactericidal effect of Nd:YAG, Er:YAG, Er,Cr:YSGG laser radiation, and antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in experimentally infected root canals. *Lasers in surgery and medicine*. 44(10): 824–831.

Costerton J.W., Stewart P.S., & Greenberg E.P. 1999. Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*. 21: 1318–1322.

Cullen J.K., Wealleans J.A., Kirkpatrick T.C., & Yaccino J.M. 2015. The effect of 8.25% sodium hypochlorite on dental pulp dissolution and dentin flexural strength and modulus. *Journal of endodontics*. 41(6): 920–924.

De Almeida C.V., Taddei A., & Amedei A. 2018. The controversial role of *Enterococcus faecalis* in colorectal cancer. *Therapeutic advances in gastroenterology*. 11: 1756284818783606.

De Groot S.D., Verhaagen B., Versluis M., Wu M.K., Wesselink P.R., & Van Der Sluis L.W.M. 2009. Laser-activated irrigation within root canals: Cleaning efficacy and flow visualization. *International Endodontic Journal*. 42(12): 1077–1083.

De Meyer S., Meire M.A., Coenye T., & De Moor R.J. 2017. Effect of laser-activated irrigation on biofilms in artificial root canals. *International endodontic journal*, 50(5): 472–479.

De-Deus G., Belladonna F.G., Silva E.J., Marins J.R., Souza E. M., Perez R., Lopes R. T., Versiani M.A., Paciornik S., & Neves A.A. 2015. Micro-CT evaluation of non-instrumented canal areas with different enlargements performed by NiTi Systems. *Brazilian Dental Journal*. 26(6): 624–629.

Demenech L.S., de Freitas J.V., Tomazinho F.S.F., Baratto-Filho F., & Gabardo M.C.L. 2021. Postoperative Pain after Endodontic Treatment under Irrigation with 8.25% Sodium Hypochlorite and Other Solutions: A Randomized Clinical Trial. *Journal of endodontics*. 47(5): 696–704.

DiVito E., Colonna MP. & Olivi G. (2011). The Photoacoustic Efficacy of an Er:YAG Laser with Radial and Stripped Tips on Root Canal Dentin Walls: An SEM Evaluation. *Journal of Laser Dentistry*, 19(1):156-161.

Do Q.L., & Gaudin A. 2020. The Efficiency of the Er: YAG Laser and PhotonInduced Photoacoustic Streaming (PIPS) as an Activation Method in Endodontic Irrigation: A Literature Review. *Journal of lasers in medical sciences*. 11(3): 316–334.

Donnermeyer D., Averkorn C., Bürklein S., & Schäfer E. 2023. Cleaning Efficiency of Different Irrigation Techniques in Simulated Severely Curved Complex Root Canal Systems. *Journal of endodontics*. 49(11): 1548–1552.

Duggan J. M., & Sedgley C. M. 2007. Biofilm formation of oral and endodontic *Enterococcus faecalis*. *Journal of endodontics*. 33(7): 815–818.

Gazzaneo I., Vieira G.C.S., Pérez A.R., Alves F.R.F., Gonçalves L.S., Mdala I., Siqueira J.F. Jr., & Rôças I.N. 2019. Root Canal Disinfection by Single- and Multiple-instrument Systems: Effects of Sodium Hypochlorite Volume, Concentration, and Retention Time. *Journal of endodontics*. 45(6): 736–741.

George S., Kishen A., & Song K.P. 2005. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*. 31: 867–872.

Gomes B.P., Ferraz C.C., Vianna M.E., Berber V.B., Teixeira F.B., & Souza-Filho F.J. 2001. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 34(6): 424–428.

Gomes B.P.F.A., Francisco P.A., Godoi E.P., Endo M.S., Barbosa-Ribeiro M., Delboni M.G., & Pecorari V.G.A. 2021. Identification of Culturable and Nonculturable Microorganisms, Lipopolysaccharides, and Lipoteichoic Acids From Root Canals of Teeth With Endodontic Failure. *Journal of Endodontics*, 47(7): 1075–1086.

Grossman L.I. 1943. Irrigation of root canals. *Journal of the American Dental Association*. 30: 1915–1917.

Guneser M. B., Arslan D., & Usumez A. 2015. Tissue dissolution ability of sodium hypochlorite activated by photon-initiated photoacoustic streaming technique. *Journal of endodontics*. 41(5): 729–732.

Hage W., De Moor R.J.G., Hajj D., Sfeir G., Sarkis D.K., & Zogheib C. 2019. Impact of Different Irrigant Agitation Methods on Bacterial Elimination from Infected Root Canals. *Dentistry journal*. 7(3): 64.

Huang Q., Li Z., Lyu P., Zhou X., & Fan Y. 2023. Current Applications and Future Directions of Lasers in Endodontics: A Narrative Review. *Bioengineering*. 10(3): 296.

Jaramillo D. 2015. Irrigation of the Root Canal System by Laser Activation (LAI): PIPS Photon-Induced Photoacoustic Streaming. Endodontic Irrigation. Springer International Publishing Switzerland 2015: 227-234

Johnson M., Sidow S.J., Looney S.W., Lindsey K., Niu L.N., & Tay F.R. 2012. Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *Journal of endodontics*. 38(9): 1265–1268.

Takehashi S., Stanley H.R., & Fitzgerald R.J. 1965. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 20(3): 340-349.

Kamaci A., Aydin B., & Erdilek N. 2017. The effect of ultrasonically activated irrigation and laser based root canal irrigation methods on debris removal. *The International journal of artificial organs*. 0. Advance online publication.

Kayaoglu G., & Ørstavik D. 2004. Virulence factors of *Enterococcus faecalis*: relationship to endodontic disease. *Critical reviews in oral biology and medicine: an official publication of the American Association of Oral Biologists*. 15(5): 308–320.

Liang Y.H., Jiang L.M., Jiang L., Chen X.B., Liu Y.Y., Tian F.C., Bao X.D., Gao X.J., Versluis M., Wu M.K., & Van der Sluis, L. 2013. Radiographic healing after a root canal treatment performed in single-rooted teeth with and without ultrasonic activation of the irrigant: a randomized controlled trial. *Journal of endodontics*. 39(10): 1218–1225.

Linden D., Boone M., De Bruyne M., De Moor R., Versiani M.A., & Meire M. 2020. Adjunctive Steps for the Removal of Hard Tissue Debris from the Anatomic Complexities of the Mesial Root Canal System of Mandibular Molars: A Micro–Computed Tomographic Study. *Journal of Endodontics*. 46(10): 1508–1514.

Loesche W.J., & Giordano J.R. 1997. Treatment paradigms in periodontal disease. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. 1995)*. 18(3): 221–234.

Macedo R.G., Verhaagen B., Fernandez Rivas D., Gardeniers J.G.E., Van Der Sluis L.W.M., Wesselink P.R., & Versluis M. 2014. Sonochemical and high-speed optical characterization of cavitation generated by an ultrasonically oscillating dental file in root canal models. *Ultrasonics Sonochemistry*. 21(1): 324–335.

Maiman TH. 1960. Stimulated optical radiation in ruby. *Nature*. 187: 493–4.

Meire M., & De Moor R.J.G. 2024. Principle and antimicrobial efficacy of laser-activated irrigation: A narrative review. *International endodontic journal*. 57(7): 841–860.

Moorer W.R., & Wesselink P.R. 1982. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *International endodontic journal*. 15(4): 187–196.

Natanasabapathy V., Arul B., Srinivasan V., Santosh S.S., Vasudevan A., Arockiam S., Namasivayam A., Deivanayagam K., & Srinivasan M.R. 2021. Removal of accumulated hard tissue debris from mesial root of mandibular molars evaluated using micro-CT - a systematic review and network meta-analysis. *Evidence-based dentistry*. 10.1038/s41432-021-0207-x. Advance online publication.

Neelakantan P., Devaraj S., & Jagannathan N. 2016. Histologic Assessment of Debridement of the Root Canal Isthmus of Mandibular Molars by Irrigant Activation Techniques Ex Vivo. *Journal of Endodontics*. 42(8): 1268–1272.

Neukermans M., Vanobbergen J., De Bruyne M., Meire M., & De Moor R.J. 2015. Endodontic performance by Flemish dentists: have they evolved. *International endodontic journal*. 48(12): 1112–1121.

Neves M.A., Provenzano J.C., Rôças I.N., & Siqueira J.F. Jr. 2016. Clinical Antibacterial Effectiveness of Root Canal Preparation with Reciprocating Single-instrument or Continuously Rotating Multi-instrument Systems. *Journal of endodontics*. 42(1): 25–29.

NORMA Oficial Mexicana NOM-092-SSA1-1995. Bienes y servicios. Método para la cuenta de bacterias en placa. Diario Oficial de la Federación.

Olsen I. 2015. Biofilm-specific antibiotic tolerance and resistance. *European journal of clinical microbiology & infectious diseases*: official publication of the European Society of Clinical Microbiology. 34(5): 877–886.

Ørstavik D., & Pitt Ford T.R. 1998. *Essential endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis*. 1

Paiva S. S., Siqueira J. F. Jr., Rôças I.N., Carmo F.L., Ferreira D.C., Curvelo J.A., Soares R.M., & Rosado A.S. 2012. Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: a clinical study. *Journal of endodontics*. 38(9): 1202–1206.

Patel S., Hundal H., Nishad G., Shetty N., Banjare, V., Sethumadhavan, J., Makkad R.S., & Tiwari A. 2024. Antimicrobial activity of laser assisted endodontic therapy in disinfecting root canals. *Bioinformation*. 20(6): 610–614.

Pereira T.C., Boutsoukis C., Dijkstra R.J.B., Petridis X., Versluis M., de Andrade F.B., Van de Meer W.J., Sharma P.K., Van der Sluis L.W.M., & So M.V.R. 2021. Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *International endodontic journal*. 54(3): 427–438.

Petridis X., Busanello F.H., So M.V.R., Dijkstra R.J.B., Sharma P.K., & Van der Sluis, L.W.M. 2019. Chemical efficacy of several NaOCl concentrations on biofilms of different architecture: new insights on NaOCl working mechanisms. *International endodontic journal*. 52(12): 1773–1788.

Radcliffe C.E., Potouridou L., Qureshi R., Hababbeh N., Qualtrough A., Worthington H., & Drucker D.B. 2004. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*,

Candida albicans and *Enterococcus faecalis*. *International endodontic journal*. 37(7): 438–446.

Richman M.J. 1957. The use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *Journal of Dental Medicine*. 12: 1.

Ricucci D., & Siqueira J.F. Jr. 2010. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of Endodontics*. 36: 1277–1288.

Robinson J. P., Macedo R.G., Verhaagen B., Versluis M., Cooper P.R., Van der Sluis L.W.M., & Walmsley A.D. 2018. Cleaning lateral morphological features of the root canal: the role of streaming and cavitation. *International endodontic journal*. 51(1): e55–e64.

Rödig T., Koberg C., Baxter S., Konietschke F., Wiegand A., & Rizk M. 2019. Micro-CT evaluation of sonically and ultrasonically activated irrigation on the removal of hard-tissue debris from isthmus-containing mesial root canal systems of mandibular molars. *International endodontic journal*. 52(8): 1173–1181.

Rodrigues R.C.V., Zandi H., Kristoffersen A.K., Enersen M., Mdala I., Ørstavik D., Rôças I.N., & Siqueira J.F. Jr. 2017. Influence of the Apical Preparation Size and the Irrigant Type on Bacterial Reduction in Root Canal-treated Teeth with Apical Periodontitis. *Journal of endodontics*. 43(7): 1058–1063.

Rosen E., Tsesis I., Elbahary S., Storzi N., & Kolodkin-Gal I. 2016. Eradication of *Enterococcus faecalis* Biofilms on Human Dentin. *Frontiers in microbiology*. 7, 2055.

Ruiz-Linares M., Aguado-Pérez B., Baca P., Arias-Moliz M.T., & Ferrer-Luque C. M. 2017. Efficacy of antimicrobial solutions against polymicrobial root canal biofilm. *International endodontic journal*. 50(1): 77–83.

Samiei M., Pakdel S.M., Rikhtegaran S., Shakoei S., Ebrahimpour D., & Taghavi P. 2014. Scanning electron microscopy comparison of the cleaning efficacy of a root canal system by Nd:YAG laser and rotary instruments. *Microscopy and microanalysis: the official journal of Microscopy Society of America, Microbeam Analysis Society, Microscopical Society of Canada*, 20(4): 1240–1245.

Schilder H. 1974. Cleaning and shaping the root canal. *Dental clinics of North America*. 18(2): 269–296.

Silva E.J.N.L., Rover G., Belladonna F.G., Herrera D.R., De-Deus G., & da Silva Fidalgo T.K. 2019. Effectiveness of passive ultrasonic irrigation on periapical healing and root canal disinfection: a systematic review. *British dental journal*. 227(3): 228–234.

Silva Garcez A., Núñez S.C., Lage-Marques J.L., Jorge A.O., & Ribeiro M.S. 2006. Efficiency of NaOCl and laser-assisted photosensitization on the reduction of *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 102(4): e93–e98.

Siqueira J. F. Jr., Rôças I.D.N., Marceliano-Alves M.F., Pérez A.R., & Ricucci D. 2018. Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Brazilian oral research*. 32(1): e65.

Siqueira J. F. Jr., & Rôças I.N. 2008. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of endodontics*. 34(11): 1291–1301.e3.

Siqueira J.F. Jr., & Rôças I.N. 2009. Diversity of endodontic microbiota revisited. *Journal of dental research*. 88(11): 969–981.

Siqueira J.F., & Rôças I.N. 2022. Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections. In *International Endodontic Journal*. 55 (3): 512–530.

Stojicic S., Zivkovic S., Qian W., Zhang H., & Haapasalo M. 2010. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: Effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *Journal of Endodontics*. 36(9): 1558–1562.

Stuart C.H., Schwartz S.A., Beeson T.J., & Owatz C.B. 2006. *Enterococcus faecalis*: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. In *Journal of Endodontics*. 32(2): 93–98.

Susila A., & Minu J. 2019. Activated irrigation vs Conventional non-activated irrigation in endodontics – A systematic review. *European Endodontic Journal*. 4(3): 96–110.

Swimberghe R.C.D., Buyse R., Meire M.A., & De Moor R.J.G. 2021. Efficacy of different irrigation technique in simulated curved root canals. *Lasers in Medical Science*. 36(6): 1317–1322.

Swimberghe R.C.D., Tzourmanas R., De Moor R.J.G., Braeckmans K., Coenye T., & Meire M.A. 2022. Explaining the working mechanism of laser-activated irrigation and its action on microbial biofilms: A high-speed imaging study. *International Endodontic Journal*. 55(12): 1372–1384.

Theodoro L.H., Marcantonio R.A.C., Wainwright M., & Garcia V.G. 2021. LASER in periodontal treatment: is it an effective treatment or science fiction? *Brazilian Oral Research*. 35(2): 1–18.

Tibúrcio-Machado C. S., Michelin C., Zanatta F.B., Gomes M.S., Marin J.A., & Bier C.A. 2021. The global prevalence of apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *International Endodontic Journal*. 54(5): 712–735.

Topçuoğlu H.S., Topçuoğlu G., & Arslan H. 2018. The Effect of Apical Positive and Negative Pressure Irrigation Methods on Postoperative Pain in Mandibular Molar Teeth with Symptomatic Irreversible Pulpitis: A Randomized Clinical Trial. *Journal of Endodontics*. 44(8): 1210–1215.

Tsotsis P., Dunlap C., Scott R., Arias A., & Peters O.A. 2021. A survey of current trends in root canal treatment: access cavity design and cleaning and shaping practices. *Australian Endodontic Journal*. 47(1): 27–33.

Uzunoglu-Özyürek E., Karaaslan H., Türker S.A., & Özçelik B. 2018. Influence of size and insertion depth of irrigation needle on debris extrusion and sealer penetration. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 43(1).

Van der Sluis L.W., Vogels M.P., Verhaagen B., Macedo R., & Wesselink P.R. 2010. Study on the influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant. *Journal of endodontics*. 36(4): 737–740.

Van Der Sluis L.W.M., Versluis M., Wu M.K., & Wesselink P.R. 2007. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *International Endodontic Journal*. 40(6): 415–426.

Vera J., Hernández E.M., Romero M., Arias A., & Van Der Sluis L.W.M. 2012. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: An in vivo study. *Journal of Endodontics*. 38(10): 1340–1343.

Vera J., Siqueira J.F. Jr., Ricucci D., Loghin S., Fernández N., Flores B., & Cruz A.G. 2012. One-versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *Journal of endodontics*. 38(8): 1040–1052.

Versiani M.A., Alves F.R., Andrade-Junior C.V., Marceliano-Alves M.F., Provenzano J.C., Rôças I.N., Sousa-Neto M.D., & Siqueira J.F. Jr. 2016. Micro-CT evaluation of the efficacy of hard-tissue removal from the root canal and isthmus area by positive and negative pressure irrigation systems. *International endodontic journal*. 49(11): 1079–1087.

Villalta-Briones N., Baca P., Bravo M., Solana C., Aguado-Pérez B., Ruiz-Linares M., & Arias-Moliz M.T. 2021. A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in

extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International endodontic journal*. 54(2): 268–278.

Weichman J.A., & Johnson F.M. 1971. Laser use in endodontics. A preliminary investigation. *Oral Surgery*. 31: 416–20.

Wen C., Kong Y., Zhao J., Li Y., Yu M., Zeng S., Shi Z., & Jiang Q. 2020. Efficacy of the photon-initiated photoacoustic streaming combined with different solutions on *Enterococcus faecalis* in the root canals. *Microscopy research and technique*. 83(6): 647–657.

Wen C., Yan L., Kong Y., Zhao J., Li Y., & Jiang Q. 2021. The antibacterial efficacy of photon-initiated photoacoustic streaming in root canals with different diameters or tapers. *BMC oral health*. 21(1): 542.

Wenzler J.S., Krause F., Böcher S., Falk W., Birkenmaier A., Conrads G., & Braun A. 2021. Antimicrobial Impact of Different Air-Polishing Powders in a Subgingival Biofilm Model. *Antibiotics*. 10(12): 1464.

Widbiller M., Keim L., Schlichting R., Striegl B., Hiller, K.A., Jungbauer R., Buchalla W., & Galler K.M. 2021. Debris Removal by Activation of Endodontic Irrigants in Complex Root Canal Systems: A Standardized In-Vitro-Study. *Applied Sciences*. 11(16): 7331

Willershausen I., Wolf T.G., Schmidtman I., Berger C., Ehlers V., Willershausen B., & Briseño B. 2015. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International Endodontic Journal*. 48(7): 654–660.

Willershausen I., Wolf T.G., Schmidtman I., Berger C., Ehlers V., Willershausen B., & Briseño B. 2015. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International endodontic journal*. 48(7): 654–660.

Zandi H., Petronijevic N., Mdala I., Kristoffersen A., Enersen M., Rôças I., Siqueira J., Ørstavik D. 2019. Outcome of endodontic retreatment using 2 root canal irrigants

and influence of infection on healing as determined by a molecular method: a randomized clinical trial. *Journal of Endodontics*. 45:1089–98.

Zandi H., Rodrigues R.C., Kristoffersen A.K., Enersen M., Mdala I., Ørstavik D., Rôças I. N., & Siqueira J.F. Jr. 2016. Antibacterial Effectiveness of 2 Root Canal Irrigants in Root-filled Teeth with Infection: A Randomized Clinical Trial. *Journal of endodontics*. 42(9): 1307–1313.

Zehnder M., & Paqué F. 2011. Desinfection of the root canal system during root canal re-treatment. *Endodontic Topics*. 19: 58–73.

XI. Anexos

X1.1 Hoja de recolección de datos

GRUPO	ACTIVACIÓN DE HIPOCLORITO		
	CONTROL	ULTRASONIDO	LÁSER
NUM. DE DIENTE	UFC	UFC	UFC
1	0	2	2
2	1	3	3
3		4	0
4	3	0	0
5	0	1	3
6	1	0	7
7	0	0	0
8	1	0	0
9	0	1	0
10	2	1	0
11	0	0	0
12	2	1	5
13	0	1	0
14	5	1	2
15	8	0	2
16	0	1	1
17	1	0	0
18	3	1	2
19	0	0	1
PROMEDIO	1.56	0.89	1.47
D.E	1.10	1.10	1.95
RANGO	(0-8)	(0-4)	(0-7)

GRUPO	CONTROL	ULTRASONIDO	LASER
PROMEDIO	1.56	0.89	1.56
D.E	1.10	1.10	1.98
RANGO	(0-8)	(0-4)	(0-7)