



Facultad de Ciencias de la Salud

Especialidad de Endodoncia

Tema:

“Comparación de dos Técnicas de activación del irrigante en la reducción bacteriana en conductos radiculares: un estudio *In vitro* “

Tesis para la obtención del Título de Especialista en Endodoncia

Presentada por:

Michelle Carolina Carpio Barragán

Tutor:

Ing. Boris Villacrés

Quito, Mayo 2026

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.



Michele Carolina Carpio Barragán

C.I. 1719819391

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios, por ser mi guía constante, por fortalecerme en los momentos de incertidumbre y por recordarme cada día que con fe y esfuerzo todo es posible.

A mis padres, por su amor incondicional, por su ejemplo de lucha y dedicación, y por ser el motor que me impulsó a seguir adelante cuando más lo necesitaba. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con trabajo y corazón.

A mi hermano, por estar siempre a mi lado, por su apoyo silencioso pero firme, y por alegrar este camino con su compañía.

A mi tutor, por su orientación paciente, y por acompañarme con compromiso y respeto a lo largo de este proceso. Su guía ha sido fundamental en mi formación.

A mis docentes, quienes dejaron huella en mí con su vocación, entrega y sabiduría. Gracias por enseñarme mucho más que conocimientos: gracias por enseñarme a ser mejor profesional y mejor ser humano cada día.

Y a todas las personas que me brindaron su ayuda, su tiempo o una palabra de aliento durante mi formación: gracias por ser parte de este logro. No lo hubiera logrado sin ustedes.

Índice

Dedicatoria.....	2
Índice.....	3
Índice de tablas.....	4
Resumen.....	5
Abstract.....	6
Introducción.....	7
Metodología.....	8
Resultados.....	12
Discusión.....	14
Conclusiones.....	15
Referencias bibliográficas.....	16

Índice de tablas

Tabla 1. Distribución de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) en cada protocolo de irrigación (sónico, ultrasónico y control) según cada fase.....	12
Tabla 2. Comparación de recuentos bacterianos (UFC/ml) entre los métodos de irrigación sónica, ultrasónica y control, evaluados en tres fases del tratamiento endodóntico	13

“Comparación de dos Técnicas de activación del irrigante en la reducción bacteriana en conductos radiculares: un estudio *In vitro* “

Michelle Carolina Carpio Barragan

mccarpiob@estudiante.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Objetivo: Comparar la eficacia de la irrigación ultrasónica pasiva (PUI) y la irrigación sónica en la reducción de la carga bacteriana en conductos radiculares contaminados con un biofilm mixto de *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus salivarius* y *Cándida albicans*.

Metodología: Estudio experimental *in vitro*, realizado en 60 premolares unirradiculares humanos extraídos por motivos ortodónticos o enfermedad periodontal. Todas las muestras fueron estandarizadas a 16 mm y esterilizadas, para luego inocularlas con el biofilm multiespecies de *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus salivarius* y *Cándida albicans* por 21 días. Las muestras se distribuyeron aleatoriamente en tres grupos: G1: Irrigación sónica (n = 20) con punta medium EndoActivator®; G2: irrigación ultrasónica (n = 20) con punta Irrisonic® E1; y G3: Grupo control (n = 20). Todas las muestras fueron instrumentadas con el sistema rotatorio JZAI e irrigados con NaOCl al 5,25 %. Se tomaron muestras microbiológicas en tres fases: antes de la preparación químico-mecánica (S1), después de la preparación químico-mecánica (S2) y tras la activación (S3). Los recuentos bacterianos (UFC/ml) se determinaron por cultivo en agar BHI enriquecido. Se aplicaron ANOVA, prueba de Friedman y Bonferroni (p <0,05).

Resultados: En S1, las cargas bacterianas iniciales fueron comparables entre grupos, confirmando la homogeneidad entre los grupos. En S2, se evidenció que el preparo químico-mecánico en ambos grupos lograron reducciones significativas frente al grupo control ($p < 0,001$). En S3, ambos métodos de activación del irrigante disminuyeron aún más la carga bacteriana, pero la irrigación ultrasónica presentó valores finales significativamente menores que la irrigación sónica ($p < 0,001$).

Conclusiones: La activación del irrigante mejora significativamente la eficacia antimicrobiana del NaOCl. La irrigación ultrasónica fue más efectiva que la irrigación sónica, probablemente por efectos de cavitación y microcorriente acústica que facilitan la penetración del irrigante.

Palabras clave: Irrigación ultrasónica pasiva; Irrigación sónica; Desinfección del conducto radicular; Biofilm multiespecies; Hipoclorito de sodio.

Abstract

Objective: To compare the efficacy of passive ultrasonic irrigation (PUI) and sonic irrigation in reducing bacterial load in root canals contaminated with a mixed biofilm of *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus salivarius*, and *Candida albicans*.

Methods: An in vitro experimental study was conducted on 60 extracted single-rooted human premolars obtained for orthodontic or periodontal reasons. All samples were standardized to 16 mm, sterilized, and inoculated with a multispecies biofilm for 21 days. The teeth were randomly assigned to three groups (n = 20): G1, sonic irrigation with a medium EndoActivator® tip; G2, ultrasonic irrigation with an Irrisonic® E1 tip; and G3, control group. All samples were instrumented using the JIZAI rotary system and irrigated with 5.25% NaOCl. Microbiological samples were collected at three stages: before chemomechanical preparation (S1), after chemomechanical preparation (S2), and following irrigant activation (S3). Colony-forming units (CFU/ml) were determined by culture on enriched BHI agar. Data were analyzed using ANOVA, Friedman, and Bonferroni tests ($p < 0.05$).

Results: At S1, baseline bacterial loads were comparable among groups, confirming sample homogeneity. At S2, chemomechanical preparation produced significant bacterial reduction in both experimental groups compared with the control ($p < 0.001$). At S3, irrigant activation further decreased the bacterial load, with ultrasonic irrigation yielding significantly lower final values than sonic irrigation ($p < 0.001$).

Conclusions: Irrigant activation significantly enhances the antimicrobial efficacy of NaOCl. Passive ultrasonic irrigation was more effective than sonic irrigation, likely due to

cavitation and acoustic microstreaming phenomena that improve irrigant penetration into the root canal system.

Keywords: Passive ultrasonic irrigation; Sonic irrigation; Root canal disinfection; Multispecies biofilm; Sodium hypochlorite.

Introducción

El éxito de un tratamiento endodóntico se basa en la eliminación completa de los microorganismos presentes en el sistema de conductos radiculares, tanto en su estado planctónica como en su estado de biopelículas (Liang et al., 2013). No obstante, las complejidades anatómicas de los conductos radiculares como la presencia de istmos, conductos laterales, curvaturas y conductos en forma de C, pueden afectar la eficacia de los procedimientos de limpieza y conformación del conducto, influyendo directamente en el resultado del tratamiento (Siqueira Junior et al., 2018). Diversas investigaciones mediante micro-CT, han evidenciado que más del 40% de las paredes del conducto quedan sin preparar después de la instrumentación, este hallazgo recalca la importancia de establecer estrategias complementarias que potencien la desinfección del conducto (Pacheco-Yanes et al., 2020a).

Alrededor de 500 especies microbianas pueden habitar el sistema de conductos radiculares, y algunas de estas especies tienen la capacidad de provocar o mantener lesiones periapicales (Siqueira & Rôças, 2022). *Enterococcus faecalis* es una bacteria anaerobia gram positiva, que se observa con frecuencia en dientes previamente tratados con Endodoncia que presentan sintomatología persistente; diferentes estudios han reportado su presencia en hasta el 90 % de los casos, lo que pone en evidencia su rol patógeno en casos de reinfecciones del sistema de conductos (Tan et al., 2022). A su vez, *Enterococcus faecalis* muestra resistencia frente a diversos medicamentos, soluciones irrigantes y condiciones adversas como pH ácido y temperaturas elevadas, por lo que representa un objetivo clave en el tratamiento y retratamiento de infecciones del conducto radicular (Yang et al., 2024).

Candida spp. son levaduras eucariotas diploides, que forman parte habitual de la microbiota oral; se encuentran en conductos radiculares infectados con una prevalencia entre el 0,5 % y el 55 %, y poseen factores de virulencia que pueden contribuir al desarrollo de patologías (Mergoni et al., 2018). *Streptococcus salivarius*, forma parte de la colonización microbiana temprana de la cavidad oral y constituye la especie más frecuente en los recién nacidos, conformando alrededor del 10 - 15 % de la población total de estreptococos (Xiao et al., 2020).

En Endodoncia, la irrigación es una parte fundamental de la preparación del conducto, ya que contribuye tanto a la desinfección como a la eliminación de residuos (Susila & Minu, 2019). El hipoclorito de sodio (NaOCl) es el irrigante más utilizado en Endodoncia gracias a su acción antimicrobiana y su capacidad para disolver tejidos; aunque concentraciones más elevadas ofrecen mayor eficacia, no solo influye el tipo de irrigante, sino también el método de irrigación utilizado (Ruksakiet et al., 2020). La eficacia de la irrigación en Endodoncia ha sido objeto de numerosos estudios, demostrando que el tipo de aguja y la técnica empleada influyen de forma esencial en la limpieza de los conductos radiculares (Hoedke et al., 2021). La irrigación manual con jeringa, a pesar de utilizar agujas de calibre reducido como las 31G, no logra una limpieza óptima del tercio apical de los conductos, evidenciando así la necesidad de técnicas más eficientes como la irrigación ultrasónica y sónica (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021).

La irrigación ultrasónica pasiva (PUI) es la técnica predominante para la activación del irrigante químico en tratamientos endodónticos (Liu et al., 2025). Este procedimiento emplea insertos que vibran a frecuencias de 25-30 kHz dentro del conducto radicular, facilitando la activación de la solución irrigante y generando efectos como la cavitación y la transmisión acústica, lo que optimiza la limpieza del conducto (Pacheco-Yanes et al., 2020b). La activación sónica utiliza vibraciones de baja frecuencia (1-6 kHz) mediante puntas flexibles que mejoran la

penetración del irrigante sin dañar las paredes del conducto (Malki et al., 2012). La activación sónica no genera cavitación ni microcorrientes acústicas, pero sí mejora la penetración del irrigante en los túbulos dentinarios y contribuye a eliminar restos y barrillo dentinario, tanto en conductos curvos como en rectos (Bryce et al., 2018).

Establecer un protocolo de limpieza adecuado es esencial para garantizar el éxito en los tratamientos endodónticos. Este estudio tiene como objetivo analizar la efectividad de dos sistemas de irrigación en la reducción bacteriana en los conductos radiculares.

Metodología

Este estudio fue de tipo experimental, in vitro y comparativo.

Diseño experimental

Se trabajó con 60 premolares unirradiculares humanos permanentes, extraídos por razones ortodónticas o periodontales, obtenidos mediante donación de la clínica Odontosalud Carapungo. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Los Hemisferios. Los dientes fueron desinfectados y almacenados hasta su uso. Los criterios de exclusión considerados fueron: caries, obliteración radicular, reabsorciones internas o externas, fracturas, y tratamiento endodóntico previo.

Activación y caracterización microbiana

Las cepas de *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212), *Streptococcus salivarius* (ATCC 13419) y *Candida albicans* (ATCC 10231), fueron activadas a partir de crio viales en caldo BHI (Brain Heart Infusion) marca Difco™ (Becton, Dickinson and Company). En el caso de *C. albicans*, el medio fue suplementado con un 5 % de glucosa marca Sanderson (Laboratorios Sanderson S.A.) para favorecer su crecimiento. Todos los cultivos fueron incubados a 37 °C durante 24 horas. Para la caracterización, se realizaron tinciones de Gram y observación microscópica con el objetivo de verificar morfología y características tintoriales.

Preparación de las muestras dentales

En condiciones de asepsia, los dientes se estandarizaron a 16 mm eliminando la corona con disco de carborundo. La permeabilidad apical fue confirmada con lima K #10 (Dentsply, Sirona) y luego se ensanchó el conducto hasta una lima K #20 (Dentsply, Sirona) para facilitar la

posterior contaminación. Durante la instrumentación manual, se irrigó con 1 ml de NaOCl al 5,25 % en cada cambio de instrumento. Los ápices radiculares fueron sellados con resina compuesta fotopolimerizable. Posteriormente, las muestras se esterilizaron en autoclave a 120 °C por 15 minutos. La esterilidad fue confirmada mediante incubación en caldo BHI durante 72 horas a 37 °C en condiciones de anaerobiosis.

Formación del biofilm multiespecies

Para la formación del biofilm, se inocularon 200 µL de cada uno de los microorganismos previamente activados (*Enterococcus faecalis*, *Streptococcus salivarius* y *Candida albicans*) en frascos herméticos autoclavables que contenían 3,7 g de caldo BHI suplementado con 5g de glucosa. La mezcla fue incubada a 37 °C durante 24 horas, permitiendo la interacción inicial entre las cepas.

Una vez transcurrido este tiempo, los conductos radiculares de los premolares fueron contaminados utilizando jeringas estériles de insulina de 1 mL, Posteriormente, las muestras se mantuvieron a 37 °C para permitir el desarrollo del biofilm durante un período de 21 días.

Durante este tiempo, se llevó a cabo la alimentación de los microorganismos cada 48 horas mediante la adición de 200 µL de caldo BHI enriquecido con 5 % de glucosa, con el objetivo de favorecer su viabilidad y promover una colonización sostenida.

La viabilidad y pureza del cultivo se verificó al séptimo día a través de un muestreo aleatorio en seis premolares. Las muestras fueron sembradas en medio BHI enriquecido y posteriormente incubadas en condiciones anaerobias a 37 °C durante 96 horas.

Preparación químico-mecánica

Todos los conductos fueron instrumentados con el sistema rotatorio JIZAI (MANI), siguiendo las indicaciones del fabricante hasta una lima 35/04. Durante y después de cada instrumento, se irrigó con 2 ml de NaOCl al 5,25 % utilizando agujas Navitip 30G. Al finalizar la preparación, las muestras se dividieron en tres grupos.

Recolección y análisis microbiológico

Se tomaron tres muestras por diente:

- **S1:** antes de la preparación químico mecánica
- **S2:** inmediatamente después de la preparación químico mecánica
- **S3:** tras la activación del irrigante en los grupos G1 y G2

Para cada recolección, los conductos fueron secados y llenados con NaCl al 0,9 % estéril, que fue agitado suavemente. Luego se introdujeron conos de papel estéril #25 marca Becht® (Becht, Offenbach am Main, Alemania) durante 3 minutos. Posteriormente, los conos de papel se colocaron en tubos con 1 ml de NaCl al 0,9 % y se agitaron en vórtex durante 30 segundos.

De esta suspensión se realizaron diluciones seriadas y se sembraron 0,1 ml en placas con agar BHI enriquecido. Las placas se incubaron a 37 °C durante 48 horas. Cada muestra fue procesada por triplicado, lo que resultó en un total de 540 repeticiones. Finalmente, se contaron las unidades formadoras de colonias (UFC) por placa y se calculó la concentración en UFC/ml.

Protocolo de activación del irrigante

- **Grupo 1 (sónico, n = 20):** Se aplicaron 3 ml de NaOCl al 5,25 % y se activó con una punta sónica médium 25/04 EndoActivator® (Dentsply Sirona, York, PA, EE. UU.) a 2 mm de la longitud de trabajo, se realizaron en 3 ciclos de 20 segundos.
- **Grupo 2 (PUI, n = 20):** Se depositaron 3 ml de NaOCl al 5,25 % en cada conducto. La solución fue activada mediante la punta ultrasónica Irrisonic® E1 (Helse Dental Technology, Santa Rosa de Viterbo, São Paulo, Brasil) 20/01, acoplada a un equipo ultrasónico a 10 % de potencia, introducida a 2 mm de la longitud de trabajo sin contacto con las paredes. También en 3 ciclos de activación de 20 segundos cada uno.
- **Grupo 3 (control, n = 20):** Se irrigó con 2,5 ml de NaCl al 0,9 % utilizando una aguja Navitip, sin ningún tipo de activación.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con estadística descriptiva y pruebas paramétricas o no paramétricas según la normalidad (Shapiro-Wilk, gráficos Q-Q). Para comparaciones intra e inter-grupo se aplicaron ANOVA de una vía con Bonferroni o las pruebas de Friedman y Wilcoxon. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$, utilizando RStudio v2024.2+764 (Mac).

Resultados

Se evaluó la eficacia de la irrigación sónica y ultrasónica en la reducción de la carga bacteriana, expresada como unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml), en tres fases del tratamiento: antes de la preparación químico mecánica (S1), después de la preparación químico mecánica (S2) y tras la activación del irrigante (S3). Se incluyó un grupo control sin activación para comparación.

Tabla 1

Distribución de unidades formadoras de colonias por mililitro (UFC/ml) en cada protocolo de irrigación (sónico, ultrasónico y control) según cada fase.

Grupo	Medida	S1	S2	S3	p
Activación Sónica (n = 20)	Promedio (DE)	2,47E+07 (1,21E+07)	5,39E+02 (2,75E+02)	3,95E+01 (1,82E+01)	.001
	Mediana (RIQ)	1,99E+07 (1,38E+07–2,49E+07)	4,20E+02 (3,17E+02–5,15E+02)	2E+01 (1E+01–2E+01)	.001
Control (n = 20)	Promedio (DE)	1,38E+07 (1,19E+07)	5,75E+03 (7,76E+02)	5,05E+01 (1,32E+01)	.001

S1= UFC/ml de muestra conductos contaminados, S2= UFC/ml de muestra después de la instrumentación, S3= UFC/ml luego de la activación del irrigante, DS= Desviación estándar, RIQ= Rango intercuartílico.

*Valor p calculado con la prueba de ANOVA de una vía para repeticiones múltiples.

**Valor p calculado con la prueba de Friedman por falta de normalidad.

Evolución intragrupo

En el grupo de irrigación sónica (n = 20), los valores promedio de UFC/ml disminuyeron de $2,47 \times 10^7 \pm 1,21 \times 10^7$ en S1 a $5,39 \times 10^2 \pm 2,75 \times 10^2$ en S2 y a $3,95 \times 10^1 \pm 1,82 \times 10^1$ en S3, con diferencias estadísticamente significativas entre todas las fases ($p < 0,001$; ANOVA de medidas repetidas).

En el grupo de irrigación ultrasónica (n = 20), las medianas fueron de $1,99 \times 10^7$ (RIQ: $1,38 \times 10^7 - 2,49 \times 10^7$) en S1, $4,20 \times 10^2$ (RIQ: $3,17 \times 10^2 - 5,15 \times 10^2$) en S2 y $2,0 \times 10^1$ (RIQ: $1,0 \times 10^1 - 2,0 \times 10^1$) en S3, observándose una reducción significativa en todas las comparaciones ($p < 0,001$; prueba de Friedman).

El grupo control (n = 20) presentó valores de $1,38 \times 10^7 \pm 1,19 \times 10^7$ en S1, $5,75 \times 10^3 \pm 7,76 \times 10^2$ en S2 y $5,05 \times 10^1 \pm 1,32 \times 10^1$ en S3, con disminuciones estadísticamente significativas ($p < 0,001$).

Tabla 2

Comparación de recuentos bacterianos (UFC/ml) entre los métodos de irrigación sónica, ultrasónica y control, evaluados en tres fases del tratamiento endodóntico.

	Control n=20	Irrigación Sónica n=20	Irrigación Ultrasónica n=20	Valor p
S1, media (DS)				0,01*
	1,38E+07 (1,19E+07)	2,47E+07 (1,21E+07)	2,14E+07 (1,00E+07)	
S2, media (DS)				<0,001**
	5,75E+03 (7,76E+02)	5,39E+02 (2,75E+02)	4,66E+02 (2,25E+02)	
S3, media (DS)				<0,001***
	5,05E+01 (1,32E+01)	3,95E+01 (1,82E+01)	1,6E+01 (7,54E+00)	

*Según el test de Bonferroni los grupos que difieren significativamente son el control con el sónico y el control con el ultrasónico.

**Según el test de Bonferroni los grupos que difieren significativamente son el control con el sónico y el control con el ultrasónico.

***Según el test de Bonferroni los grupos que difieren significativamente son el control con el sónico, el control con el ultrasónico, y el sónico con el ultrasónico.

S1= UFC/ml de muestra conductos contaminados, S2= UFC/ml de muestra después de la instrumentación, S3= UFC/ml luego de la activación del irrigante, DS= Desviación estándar.

Comparación entre grupos

En S1, las cargas bacterianas iniciales fueron comparables, aunque se detectaron diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,01$) sin relevancia clínica, confirmando la homogeneidad inicial de las muestras. En S2, se encontraron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$), con valores menores en los grupos de irrigación sónica y ultrasónica respecto al control. En S3, se observaron diferencias significativas entre los tres grupos ($p < 0,001$), y específicamente la irrigación ultrasónica presentó valores finales estadísticamente menores que la irrigación sónica, indicando una eficacia superior en la reducción de la carga bacteriana.

Discusión

En este estudio experimental, los tres grupos (sónico, ultrasónico y control) iniciaron con cargas bacterianas similares. Tras la instrumentación y la activación del irrigante, los dos métodos de activación redujeron significativamente la carga microbiana frente al control, siendo la irrigación ultrasónica, la que logró los valores más bajos, probablemente debido a la acción combinada de corrientes hidrodinámicas y cavitación, que optimizan la distribución del irrigante.

Nuestros hallazgos concuerdan con lo reportado por Oliveira et al. (2023) quienes demostraron que, en conductos curvos infectados, el PUI obtuvo una mayor reducción bacteriana que el XP-endo Finisher tras la activación final, lo que corrobora que el efecto hidrodinámico generado por el ultrasonido contribuye a una limpieza más eficaz en áreas de difícil acceso. De manera complementaria, Tejada et al. (2019) señalaron que los restos de tejido orgánico y dentina absorben rápidamente el cloro libre del NaOCl, disminuyendo su acción antimicrobiana; la activación ultrasónica mitigaría este efecto al promover la renovación continua del irrigante, lo que explica la mayor reducción observada en nuestro grupo PUI en S3 respecto a la sónica y el control.

En términos de seguridad y eficacia, Al-Jadaa et al. (2023) evidenciaron que el PUI logró la mejor limpieza del istmo y la menor disolución no deseada en modelos epoxi de sistemas abiertos y cerrados, mientras que Paixão et al. (2023) en un metaanálisis, reportaron que la sónica optimiza la eliminación de la capa de barrillo en el tercio apical, pero la ultrasónica favorece una mayor adhesión del sellador en tercios medio y apical. Estas diferencias, basadas en parámetros de evaluación distintos, podrían explicar la disparidad de resultados entre estudios;

no obstante, en nuestro modelo, al evaluar reducción bacteriana, el PUI superó a la sónica, especialmente en la zona apical.

Algunas investigaciones ofrecen matices metodológicos relevantes. Hoedke et al. (2021) encontraron que, sin instrumentación previa, la sónica de alta frecuencia redujo más bacterias que la ultrasónica a corto plazo; sin embargo, tras la preparación mecánica, la eficacia dependió principalmente del irrigante, disminuyendo las diferencias entre técnicas. Esta variación metodológica podría justificar la discrepancia con nuestros hallazgos. Por su parte, Nogales et al. (2025), mediante un enfoque clínico y molecular, mostraron que la irrigación ultrasónica tras la preparación químico-mecánica redujo significativamente la carga bacteriana y aumentó la proporción de conductos sin ADN detectable, aunque sin lograr la erradicación total, en concordancia con nuestros resultados.

En modelos con biopelículas duales, Datla et al. (2024) reportaron que el PUI superó a la irrigación convencional, aunque el láser Er,Cr:YSGG alcanzó la mayor reducción. En contraste, Fernandes de Oliveira et al. (2023) observaron reducciones significativas con PUI, sónica y Easy Clean frente al control, sin diferencias relevantes entre ellos, lo que sugiere que, bajo ciertas condiciones, la activación en sí misma puede ser más determinante que el tipo de dispositivo utilizado, siempre que se sigan protocolos estandarizados.

Finalmente, los hallazgos hidrodinámicos de Boutsoukis et al. (2021) complementan la interpretación de nuestros datos: la activación ultrasónica genera un flujo más intenso y continuo dentro del conducto radicular, lo que potencia la circulación del irrigante y su acceso a áreas no instrumentadas. Aunque su estudio no evaluó directamente la carga bacteriana, estos principios

mecánicos sustentan la superioridad observada del PUI en la reducción microbiana, especialmente en el tercio apical.

Conclusión

En este estudio, ambos métodos de activación del irrigante lograron una reducción significativa de la carga bacteriana en comparación con el grupo control, lo que refuerza la importancia de la activación del irrigante en la desinfección de los conductos radiculares. No obstante, la irrigación ultrasónica obtuvo mejores resultados, con menores valores finales de UFC/ml, lo que indica una eficacia superior en la eliminación de microorganismos. Estos hallazgos respaldan el uso de protocolos que integren un irrigante efectivo, como NaOCl, junto con activación ultrasónica y renovación frecuente de la solución, para optimizar la limpieza y desinfección del conducto.

Asimismo, se reconoce que métodos avanzados como la PCR o la espectrofotometría podrían ofrecer evaluaciones más precisas y sensibles de la carga bacteriana, complementando los recuentos por cultivo utilizados en este estudio.

Referencias

- Al-Jadaa, A., Saidi, Z., Mahmoud, M., Al-Taweel, R., & Zehnder, M. (2023). Assessment of Irrigant Agitation Devices in Simulated Closed and Open Root Canal Systems. *Journal of Endodontics*, 49(4), 438-444.e6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.01.002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.06.001>
- Bryce, G., MacBeth, N., Gulabivala, K., & Ng, Y. L. (2018). The efficacy of supplementary sonic irrigation using the EndoActivator® system determined by removal of a collagen film from an ex vivo model. *International Endodontic Journal*, 51(4), 489–497. <https://doi.org/10.1111/iej.12870>
- Datla, V. D. D., Uppalapati, L. V., Prakash Kumari Pilli, H., Mandava, J., Kantheti, S., Komireddy, S. N. K., & Chandolu, V. (2024). Effect of ultrasonic and Er,Cr:YSGG laser-activated irrigation protocol on dual-species root canal biofilm removal: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(6), 613–620. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_126_24
- de Oliveira, H. F., da Silva Júnior, I. F., Teixeira, L. C. G., Camilo, N. G., de Almeida Decurcio, D., Guedes, O. A., & de Araújo Estrela, C. R. (2023). Influence of different agitation techniques on bacterial reduction in curved root canals. *Australian Endodontic Journal*, 49(1), 104–110. <https://doi.org/10.1111/aej.12623>

- Hoedke, D., Kaulika, N., Dommisch, H., Schlafer, S., Shemesh, H., & Bitter, K. (2021). Reduction of dual-species biofilm after sonic- or ultrasonic-activated irrigation protocols: A laboratory study. *International Endodontic Journal*, *54*(12), 2219–2228. <https://doi.org/10.1111/iej.13618>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.06.024>
- Liu, C. H., Li, Q., Zou, X. Y., & Yue, L. (2025). Efficacy of high-frequency sonic irrigation on removing debris from root canal isthmus: an in vitro study based on simulated root canals. *PeerJ*, *13*(5). <https://doi.org/10.7717/peerj.19445>
- Malki, M., Verhaagen, B., Jiang, L. M., Nehme, W., Naaman, A., Versluis, M., Wesselink, P., & Van Der Sluis, L. (2012). Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: Visualization and cleaning efficacy. *Journal of Endodontics*, *38*(5), 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.02.001>
- Mergoni, G., Percudani, D., Lodi, G., Bertani, P., & Manfredi, M. (2018). Prevalence of *Candida* Species in Endodontic Infections: Systematic Review and Meta-analysis. In *Journal of Endodontics* (Vol. 44, Issue 11, pp. 1616-1625.e9). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2018.07.016>
- Nogales, C. G., Cazares, R. X. R., Nardello, L. C. L., Mayer, M. P. A., Gavini, G., Zehnder, M., & Pinheiro, E. T. (2025). Evaluating the Impact of Ultrasonic Irrigation on Bacterial Levels and

Activity Following Chemomechanical Procedures. *Journal of Endodontics*, 51(2), 118–123.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.09.001>

Pacheco-Yanes, J., Provenzano, J. C., Marceliano-Alves, M. F., Gazzaneo, I., Pérez, A. R., Gonçalves, L. S., & Siqueira, J. F. (2020a). Distribution of sodium hypochlorite throughout the mesial root canal system of mandibular molars after adjunctive irrigant activation procedures: a micro-computed tomographic study. *Clinical Oral Investigations*, 24(2), 907–914.

<https://doi.org/10.1007/s00784-019-02970-5>

Pacheco-Yanes, J., Provenzano, J. C., Marceliano-Alves, M. F., Gazzaneo, I., Pérez, A. R., Gonçalves, L. S., & Siqueira, J. F. (2020b). Distribution of sodium hypochlorite throughout the mesial root canal system of mandibular molars after adjunctive irrigant activation procedures: a micro-computed tomographic study. *Clinical Oral Investigations*, 24(2), 907–914.

<https://doi.org/10.1007/s00784-019-02970-5>

Paixão, S., Rodrigues, C., Grenho, L., & Fernandes, M. H. (2022). Efficacy of sonic and ultrasonic activation during endodontic treatment: a Meta-analysis of in vitro studies. In *Acta Odontologica Scandinavica* (Vol. 80, Issue 8, pp. 588–595). Taylor and Francis Ltd.

<https://doi.org/10.1080/00016357.2022.2061591>

Ruksakiet, K., Hanák, L., Farkas, N., Hegyi, P., Sadaeng, W., Czumbel, L. M., Sang-ngoan, T., Garami, A., Mikó, A., Varga, G., & Lohinai, Z. (2020). Antimicrobial Efficacy of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite in Root Canal Disinfection: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. In *Journal of Endodontics* (Vol. 46, Issue 8, pp. 1032-1041.e7). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2020.05.002>

Siqueira, J. F., & Rôças, I. N. (2022). Present status and future directions: Microbiology of endodontic infections. In *International Endodontic Journal* (Vol. 55, Issue S3, pp. 512–530).

John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/iej.13677>

Siqueira Junior, J. F., Rôças, I. das 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, 1–19. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0065>

Susila

, A., & Minu, J. (2019). Activated irrigation vs. Conventional non-activated irrigation in endodontics

– A systematic review. In *European Endodontic Journal* (Vol. 4, Issue 3, pp. 96–110). Kare

Publishing. <https://doi.org/10.14744/ej.2019.80774>

Tan, H. C., Cheung, G. S. P., Chang, J. W. W., Zhang, C., & Lee, A. H. C. (2022). Enterococcus

faecalis Shields Porphyromonas gingivalis in Dual-Species Biofilm in Oxidic Condition.

Microorganisms, 10(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091729>

Tejada, S., Baca, P., Ferrer-Luque, C. M., Ruiz-Linares, M., Valderrama, M. J., & Arias-Moliz, M. T.

(2019). Influence of dentine debris and organic tissue on the properties of sodium hypochlorite

solutions. *International Endodontic Journal*, 52(1), 114–122. <https://doi.org/10.1111/iej.12986>

Xiao, J., Fiscella, K. A., & Gill, S. R. (2020). Oral microbiome: possible harbinger for children's

health. In *International Journal of Oral Science* (Vol. 12, Issue 1). Springer Nature.

<https://doi.org/10.1038/s41368-020-0082-x>

Yang, S., Meng, X., Zhen, Y., Baima, Q., Wang, Y., Jiang, X., & Xu, Z. (2024). Strategies and

mechanisms targeting Enterococcus faecalis biofilms associated with endodontic infections: a

comprehensive review. In *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* (Vol. 14). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1433313>