SCRIPTA SCIENTIA
ISSN: 3134-5824 | Vol. 1 (2026)

Publicado por
ChauxLab Institute

ARTÍCULO ORIGINAL

# Eficacia de la terapia fotodinámica antimicrobiana en combinación con hipoclorito de sodio y peróxido de hidrógeno en la desinfección de conductos radiculares ex vivo

Francisco Ariel Fernández Ortiz[1], Axel Mathias Galeano Solalinde[1], Myrian Grabow[1]

[1]Carrera de Odontología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Norte, sede Asunción, Asunción, Paraguay

**Recibido:** 6 jun 2026
**Aceptado:** 27 jun 2026
**Publicado:** 30 jun 2026

**DOI:** 10.66201/ss.v1.28

Licencia Creative Commons Atribución Internacional 4.0 (CC-BY)

## RESUMEN

**Introducción:** *Enterococcus faecalis* es el microorganismo más frecuentemente asociado al fracaso endodóntico por su biofilm y penetración en túbulos dentinarios. La terapia fotodinámica antimicrobiana (aPDT) se propone como coadyuvante de la irrigación convencional. El objetivo fue determinar la eficacia antibacteriana de la aPDT combinada con hipoclorito de sodio al 2,5 % o con agua oxigenada al 3 % en conductos palatinos de primeros molares superiores ex vivo contaminados con *E. faecalis*.

**Materiales y métodos:** Estudio experimental ex vivo sobre 30 primeros molares superiores, asignados aleatoriamente a tres grupos (n=10): aPDT tras hipoclorito al 2,5 %; aPDT tras agua oxigenada al 3 %; y control sin tratamiento. Fotosensibilizador: azul de metileno al 0,005 % activado por láser diodo de baja potencia (luz roja, 9 J). Se cuantificaron UFC/ml; comparación con prueba exacta de Fisher.

**Resultados:** Ambos grupos con aPDT alcanzaron eliminación bacteriana completa (0 UFC/ml en todas las muestras). El control presentó recuentos superiores a 100 000 UFC/ml. La diferencia frente al control fue altamente significativa; no hubo diferencia entre los dos protocolos de aPDT.

**Conclusiones:** La aPDT con azul de metileno y láser diodo fue altamente eficaz frente a *E. faecalis* ex vivo, con eficacia equivalente tras irrigación final con hipoclorito o agua oxigenada. El tamaño muestral y el diseño ex vivo limitan la extrapolación clínica.

*Palabras clave:* terapia fotodinámica antimicrobiana, irrigación, hipoclorito de sodio, peróxido de hidrógeno, Enterococcus faecalis, endodoncia.

**Correspondencia:** Myrian Grabow. Carrera de Odontología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad del Norte, sede Asunción, Asunción, Paraguay.
✉ direccion.odontologia@uninorte.edu.py.

**Financiación:** Este estudio no recibió financiamiento específico de agencias públicas, comerciales o sin fines de lucro.
**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con este estudio.

## INTRODUCCIÓN

*Enterococcus faecalis* se identifica de forma reiterada como el microorganismo persistente con mayor prevalencia en los tratamientos endodónticos asociados a fracaso terapéutico, evidenciado por la falta de regeneración de los tejidos periapicales [1]. Su capacidad de penetrar profundamente en los túbulos dentinarios —a distancias de 300 a 400 micrómetros— y de formar biofilm le confiere una notable resistencia frente a las medidas convencionales de desinfección, lo que ha impulsado la búsqueda de protocolos innovadores capaces de alcanzar estas estructuras microscópicas y capilares [2].

El protocolo convencional de desinfección combina la instrumentación mecánica con la irrigación química, habitualmente mediante hipoclorito de sodio. Este agente irrigador combina propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales, y constituye el estándar en los procedimientos endodónticos [3]; sin embargo, su capacidad de penetración en el sistema de conductos es limitada, por lo que se ha explorado la irrigación activada mediante tecnología láser como estrategia complementaria. La energía láser absorbida por los irrigantes genera burbujas de vapor que, al colapsar, producen fuerzas de cizallamiento —fenómeno de cavitación— que potencian significativamente la acción antibacteriana y la capacidad desinfectante en zonas de complejo acceso instrumental, como los conductos accesorios y los túbulos dentinarios [4].

En este contexto, la terapia fotodinámica antimicrobiana (aPDT) incorpora un agente fotosensibilizador que, activado por una fuente de luz de longitud de onda específica, genera especies reactivas de oxígeno y radicales hidroxilo capaces de atacar el material genético y las estructuras celulares bacterianas, alcanzando zonas de difícil acceso como túbulos dentinarios e istmos [5]. Diversas revisiones coinciden en que la aPDT debe implementarse como complemento del desbridamiento mecánico convencional y la irrigación química, y no como sustituto de estos, dado que su eficacia depende de variables como el fotosensibilizador seleccionado, la intensidad del láser, el tiempo de exposición lumínica y el tiempo previo a la irradiación [6]. Ensayos clínicos aleatorizados han documentado que la aPDT suplementaria optimiza la desinfección de bacterias en protocolos de una sola sesión, aunque su efecto es menos consistente en protocolos de dos sesiones con medicación intraconducto de hidróxido de calcio [7].

La resistencia de *E. faecalis* a las medidas convencionales de desinfección se explica, en gran medida, por su capacidad de formar biofilm y de activar vías metabólicas alternativas que le permiten sobrevivir en condiciones ambientales adversas dentro del sistema de conductos radiculares [8]. Ante este escenario, resulta relevante comparar la eficacia antibacteriana de la aPDT cuando se combina con dos protocolos de irrigación final distintos —hipoclorito de sodio y agua oxigenada—, con el objetivo de establecer si la elección del irrigante coadyuvante influye en el resultado desinfectante final. Este estudio se propuso determinar la eficacia antibacteriana de la aPDT en combinación con hipoclorito de sodio al 2,5 % o con agua oxigenada al 3 % en el conducto radicular palatino de primeros molares superiores ex vivo contaminados con *E. faecalis*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental, de enfoque cuantitativo, sobre una muestra de 30 primeros molares superiores permanentes multirradiculares, extraídos por indicación terapéutica y recolectados en la ciudad de Asunción, Paraguay. Se incluyeron raíces palatinas con ápice cerrado y conducto recto; se excluyeron raíces con ápice abierto, conducto calcificado u obturado. Las piezas fueron sometidas a un protocolo riguroso de anonimización inmediatamente después de la exodoncia —limpieza de tejido blando, asignación de un identificador alfanumérico único generado aleatoriamente y registro en una base de datos codificada sin vinculación con datos clínicos o personales del paciente—, por lo que su uso no implicó riesgos adicionales para los pacientes de procedencia.

Las piezas se estandarizaron a una longitud uniforme de 15 mm, se limpiaron con hipoclorito de sodio al 2,5 % durante dos horas, se desprovistas de restos de tejido con cureta periodontal y se esterilizaron en autoclave (103 °C, 1 hora 33 minutos). Los conductos palatinos fueron inoculados con una suspensión de *E. faecalis* (ATCC 29212) [9] ajustada a 0,5 en la escala de McFarland, sellados en su ápice con resina fotoactivada para evitar la filtración bacteriana, e incubados durante 17 días en condición de microaerofilia a 37 °C para permitir la formación de biofilm.

Tras el período de contaminación, las muestras fueron asignadas aleatoriamente a tres grupos (n=10 cada uno). En los grupos 1 y 2 se realizó preparación biomecánica con sistema rotatorio e irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5 % activada por ultrasonido; en el Grupo 2 se añadió una irrigación final con agua oxigenada de 10 volúmenes (3 %). En ambos grupos, tras secar los conductos, se aplicó azul de metileno al 0,005 % como fotosensibilizador durante cinco minutos, seguido de irradiación con láser diodo de baja potencia en modo de luz roja (9 J). El Grupo 3 no

recibió instrumentación ni tratamiento alguno, y sirvió como control de crecimiento bacteriano.

Finalizado cada protocolo, los conductos se irrigaron con solución fisiológica al 0,9 % y se recolectó la muestra con un cono de papel absorbente agitado durante 30 segundos contra las paredes dentinarias. Las muestras se procesaron mediante el método de agotamiento de asa: se sembraron 10 µl con asa calibrada estéril en agar sangre, incubado a 37 °C durante 48 horas, y se realizó el conteo manual de unidades formadoras de colonias (UFC/ml) bajo luz transmitida.

Dado que los datos representan variables categóricas (presencia o ausencia de crecimiento bacteriano), la comparación entre grupos se realizó mediante la prueba exacta de Fisher [10].

Las unidades dentarias se obtuvieron mediante procedimientos de exodoncia indicados por razones terapéuticas, en piezas con destrucción estructural avanzada que imposibilitaba su rehabilitación protésica o restauradora, siguiendo un protocolo de anonimización y manejo bajo condiciones estandarizadas de bioseguridad, en cumplimiento de las normativas éticas vigentes para el manejo de material biológico humano.

## RESULTADOS

En el Grupo 1 (aPDT + hipoclorito de sodio al 2,5 %), la totalidad de las 10 muestras registró 0 UFC/ml, lo que representa una eliminación bacteriana del 100 %. En el Grupo 2 (aPDT + agua oxigenada al 3 %), la totalidad de las 10 muestras registró igualmente 0 UFC/ml, con una eliminación del 100 %. En el Grupo 3 (control, sin tratamiento), las 10 muestras presentaron un crecimiento bacteriano elevado, con recuentos superiores a 100 000 UFC/ml, confirmando la viabilidad de la contaminación inicial.

La prueba exacta de Fisher mostró una diferencia altamente significativa entre cada uno de los grupos tratados con aPDT y el grupo control. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos 1 y 2, lo que indica que el protocolo de irrigación final empleado —hipoclorito de sodio o agua oxigenada— no modificó la eficacia antibacteriana de la aPDT en las condiciones de este estudio.

## DISCUSIÓN

Este estudio evaluó la eficacia antibacteriana de la terapia fotodinámica antimicrobiana en combinación con dos protocolos de irrigación final —hipoclorito de sodio al 2,5 % y agua oxigenada al 3 %— en la desinfección del conducto radicular palatino de primeros molares superiores ex vivo contaminados con *E. faecalis*.

Ambos protocolos de aPDT lograron una eliminación bacteriana completa, sin diferencia significativa entre ellos, lo que sugiere que el mecanismo fotoquímico de la terapia fotodinámica —generación de especies reactivas de oxígeno capaces de dañar irreversiblemente las estructuras celulares bacterianas— opera con eficacia comparable independientemente del irrigante final utilizado como paso previo. Este hallazgo es consistente con revisiones que señalan que la eficacia de la aPDT depende principalmente de variables propias del protocolo fotodinámico —fotosensibilizador, intensidad y tiempo de exposición lumínica— más que del irrigante químico coadyuvante empleado [6].

La elevada eficacia observada concuerda con ensayos clínicos que documentan que la aPDT suplementaria optimiza significativamente la desinfección bacteriana cuando se aplica en un protocolo de una sola sesión, en contraste con protocolos de dos sesiones donde la medicación intraconducto con hidróxido de calcio puede atenuar el beneficio adicional de la terapia fotodinámica [7]. También es coherente con revisiones que concluyen que la aPDT debe emplearse como complemento —y no como sustituto— del desbridamiento mecánico convencional y la irrigación química, dado que la combinación de ambos abordajes maximiza la eliminación de microorganismos residuales en las zonas anatómicamente complejas del sistema de conductos radiculares [11].

La equivalencia observada entre el hipoclorito de sodio y el agua oxigenada como irrigantes coadyuvantes resulta clínicamente relevante, dado que el agua oxigenada posee un mecanismo de acción distinto —liberación de oxígeno naciente con efecto antibacteriano y de arrastre mecánico de detritos—, mientras que el hipoclorito de sodio actúa mediante disolución de tejido orgánico y acción antimicrobiana directa. Estudios que han combinado peróxido de hidrógeno con terapia fotodinámica en otros modelos experimentales han reportado un efecto potenciador sobre la eliminación de biofilm de *E. faecalis*, lo que respalda la plausibilidad biológica de mantener una eficacia elevada con este irrigante alternativo [12]. Esta equivalencia funcional amplía las opciones terapéuticas disponibles para el clínico, particularmente en contextos donde el uso de hipoclorito de sodio esté contraindicado o limitado por razones de biocompatibilidad tisular.

El comportamiento del grupo control, con recuentos bacterianos elevados en ausencia de cualquier intervención, confirma la resistencia de *E. faecalis* dentro

del sistema de conductos radiculares y su capacidad de persistir tras la formación de biofilm en un ambiente sin desinfección activa, en línea con los mecanismos de persistencia descritos para este patógeno en infecciones endodónticas [8]. Estos resultados refuerzan la importancia de incorporar la aPDT como método auxiliar de desinfección, particularmente en casos de retratamiento o infecciones persistentes donde la instrumentación y la irrigación convencional podrían resultar insuficientes por sí solas [13].

Este estudio presenta limitaciones metodológicas relevantes. El tamaño muestral fue reducido (n=10 por grupo) y la condición ex vivo del diseño no reproduce completamente las condiciones clínicas del conducto radicular in vivo. La ausencia de crecimiento bacteriano detectable en el 100 % de las muestras tratadas —un resultado categórico de todo o nada— limitó el análisis estadístico a una prueba de comparación de proporciones, sin posibilidad de establecer un gradiente cuantitativo de eficacia entre ambos protocolos de aPDT. Futuras investigaciones deberían evaluar estas combinaciones en condiciones in vivo, con muestras más amplias, e incorporar modelos de biofilm polimicrobiano más representativos de las infecciones endodónticas reales, en línea con el diseño de ensayos comparativos recientes entre distintas modalidades de láser, terapia fotodinámica e irrigantes químicos frente a *E. faecalis* [14,15,16].

En conclusión, la terapia fotodinámica antimicrobiana con azul de metileno y láser diodo de baja potencia demostró una eficacia elevada y equivalente en la eliminación de *E. faecalis* en conductos radiculares ex vivo, independientemente de si la irrigación final se realizó con hipoclorito de sodio al 2,5 % o con agua oxigenada al 3 %. Esta equivalencia respalda la flexibilidad clínica de la aPDT como coadyuvante de distintos protocolos de irrigación en la práctica endodóntica, sujeto a validación en estudios con mayor tamaño muestral y condiciones in vivo.

## REFERENCIAS


1. Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, Micó-Martínez P, Collado-Castellano N, Manzano-Saiz A. Influence of microbiology on endodontic failure. Literature review. Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2019;24(3):e364-72. https://doi.org/10.4317/medoral.22907
2. Toledo Reyes L, Alfonso Carrazana M, Barreto Fiú E. Evolución del tratamiento endodóntico y factores asociados al fracaso de la terapia. Medicentro. 2016;20(3):202-8. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30432016000300006
3. Marín Botero ML, Gómez Gómez B, Cano Orozco AD, Castañeda Peláez DA, Castillo Castillo EY. Hipoclorito de sodio como irrigante de conductos. Caso clínico y revisión de literatura. Av Odontoestomatol. 2019;35(1):33-43. https://doi.org/10.4321/s0213-12852019000100005
4. Betancourt P, Arnabat-Domínguez J, Viñas M. Irrigación activada por láser en endodoncia. Int J Odontostomat. 2021;15(3):773-81. https://doi.org/10.4067/S0718-381X2021000300773
5. Soukos NS, Chen PS, Morris JT, Ruggiero K, Abernethy AD, Som S, et al. Photodynamic therapy for endodontic disinfection. J Endod. 2006;32(10):979-84. https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.04.007
6. Chiniforush N, Pourhajibagher M, Shahabi S, Kosarieh E, Bahador A. Can antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) enhance the endodontic treatment? J Lasers Med Sci. 2016;7(2):76-85. https://doi.org/10.15171/jlms.2016.14
7. Rabello DGD, Corazza BJM, Ferreira LL, Santamaria MP, Gomes APM, Martinho FC. Does supplemental photodynamic therapy optimize the disinfection of bacteria and endotoxins in one-visit and two-visit root canal therapy? A randomized clinical trial. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2017;19:205-11. https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.06.005
8. Yang S, Meng X, Zhen Y, Baima Q, Wang Y, Jiang X, et al. Strategies and mechanisms targeting Enterococcus faecalis biofilms associated with endodontic infections: a comprehensive review. Front Cell Infect Microbiol. 2024;14:1433313. https://doi.org/10.3389/fcimb.2024.1433313
9. Bush LM. Infecciones por enterococos. Manual MSD versión para profesionales [Internet]. 2025. Disponible en: https://www.msdmanuals.com/es/professional/enfermedades-infecciosas/cocos-grampositivos/infecciones-por-enterococos
10. Hernández Sampieri R, Mendoza Torres CP. Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana; 2018. Disponible en: https://www.mheducation.com.mx/
11. Sapienza Fromigue ME, Lazo SD, Jara Ortiz MJ, Hervith Gerac MS, Amestoy GO, Carosillo AF, et al. En búsqueda de la perfección en la desinfección del conducto radicular. En: XVII Jornada Internacional de Ciencia y Tecnología y XV Jornada de Becarios y Tesistas de la Facultad de Odontología de la UNNE; 2022 oct 6; Corrientes, Argentina. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/149723
12. Afrasiabi S, Chiniforush N. An in vitro study on the efficacy of hydrogen peroxide mediated high-power photodynamic therapy affecting Enterococcus faecalis biofilm formation and dispersal. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2023;41:103310. https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103310
13. Calderón Augusto JCM, Cassana Rojas LR, Villar Zapata JC, Velásquez Huamán Z. Terapia fotodinámica, una nueva tendencia en endodoncia para la eliminación del Enterococcus faecalis. Rev Estomatol Hered. 2024;34(1):77-84.

https://doi.org/10.20453/reh.v34i1.5333
14. Asnaashari M, Veshveshadi O, Aslani F, Hakimiha N. Evaluation of the antibacterial efficacy of sodium hypochlorite in combination with two different photodynamic therapy protocols against Enterococcus faecalis in infected root canals: an in vitro experiment. Photodiagnosis Photodyn Ther. 2023;43:103722. https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2023.103722
15. Dragidella A, Kameri A. Comparative effects of Er:YAG laser, sodium hypochlorite, and QMix on root canals infected with Enterococcus faecalis and Candida albicans. J Lasers Med Sci. 2023;14:e43. https://doi.org/10.34172/jlms.2023.43
16. Tehrani NA, Javadinejad S, Shirani AM. Comparison between three methods of diode laser 810 nm, photodynamic therapy with laser 660 nm, and hypochlorite solution for disinfection of pulp canal of primary teeth. Dent Res J (Isfahan). 2024;21:23. https://doi.org/10.4103/drj.drj_82_23