



TERAPIA FOTODINÁMICA COMO COADYUVANTE DEL IRRIGANTE
HIPOCLORITO DE SODIO EN EL TRATAMIENTO ENDODÓNTICO
CONVENCIONAL: UNA REVISIÓN CRÍTICA DE LA LITERATURA

Trabajo de Investigación
requisito para optar al
Título de Cirujano Dentista

Alumnos: Camila Bravo Lagos
Rayén Castillo Véliz

Docente Guía: Prof. Dra Emma Fuenzalida
Cátedra de Endodoncia

Valparaíso - Chile
2021

Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Emma Fuenzalida, por su excelente disposición y constante apoyo como docente guía durante todo el proceso de realización de nuestra tesis. Muchas gracias por toda la dedicación mostrada a pesar de las dificultades que se presentaron en el camino, gracias por su gran amabilidad, ánimo y buenos deseos.

A nuestra docente tutora de tesis I y II, Dra. Daniela Lorca, muchas gracias por su ayuda incondicional, su gran disposición de enseñarnos, corregirnos y escucharnos cada vez que lo necesitamos, incluso, minutos antes de las presentaciones.

A todos aquellos que hicieron más agradable nuestro paso por la universidad, pacientes, funcionarios, compañeros, al tan querido rifa y especialmente a nuestros Chiquis, sin ellos nada hubiese sido posible. ¡Gracias por todo!

Dedicatoria

A mi familia. Por su apoyo incondicional, por siempre tener una palabras de aliento y estar ahí cuando lo necesito. Gracias

Mi madre, María Bernarda, por siempre darme todo lo que necesito, desde un consejo, palabras de apoyo, hasta llegar a ser mi paciente cuando lo necesité, dejando su trabajo de lado por apoyarme. Gracias

Mi padre, Mario, que siempre tuvo fe en mi y mis capacidades, siempre dándome la seguridad y la confianza para no decaer en este difícil y largo camino. Gracias

A mis hermanas, Catalina y Macarena, por dejarme “practicar en ellas” desde el inicio de la carrera, desde impresiones, en mi primer año; hasta ser mi paciente en operatoria ya llegando al final de esta. Gracias

A todos mis amigos. Por siempre apoyarnos, enseñarnos, alegrarnos y crecer juntos. Su compañía hizo este camino mucho más ameno, las risas en el casino, las juntas de estudio a última hora, el apoyarnos siempre en clínica, el conseguirnos pacientes mutuamente, en fin, por su amistad. Gracias

Camila Bravo Lagos

Dedicatoria

A mis padres, Isabel y Hernán, por todo su amor, apoyo, comprensión y dedicación. Por siempre creer en mí, guiarme y ayudarme en todo lo que necesitaba, dejando de lado muchas cosas por hacerlo. Por siempre escucharme y levantarme en cada momento que sentí tristeza o frustración; incluso cuando sentía que ya no podía. Sin ustedes no sería la persona que hoy soy.

A mi Lela y a toda mi familia por siempre ayudarme en cada cosa que se me ocurría, por darme ánimos, por sus cadenas de oración cada vez que se los pedía. Muchas veces, por la distancia no pude estar en cumpleaños, fiestas o juntas familiares, pero siempre los sentí junto a mí.

A mis abuelos, José y Eliana, que siempre han estado cuidándome desde el cielo. A mi Tata Mario, cuya pérdida fue un duro golpe, me hubiese gustado compartir este logro junto a él, pero sé que estaría orgulloso de mí.

A mis amigos y compañeros de la Universidad, que sin ellos, nada hubiese sido lo mismo. Por todo el apañe, el compañerismo, las risas, penas y conversaciones después de clínica; al final del día siempre estaban ahí.

A Sebastián, mi amigo y pareja, quien estuvo conmigo acompañándome, incluso en mis días de estrés, escuchando mis reclamos aunque no entendiera nada de Odontología, buscaba la forma de apoyarme y sacarme de la rutina. Gracias por tanta paciencia.

A mis amigas de Ovalle, que siempre me daban palabras de aliento y confiaban en mí, verlas cada vez que nos juntábamos me llenaba de su energía.

A todos ustedes, gracias, por acompañarme en este camino y por creer en mí incluso cuando ni yo misma lo hacía. Finalmente puedo decir que soy cirujano dentista.

Rayén Castillo Véliz

Índice

Resumen	1
Introducción.....	2
Marco teórico.....	4
I. Sistema de conductos radiculares	4
I.I Anatomía	5
I.II Calibre	7
I.III Forma	7
I.IV Dirección	8
I.V Ápice radicular.....	8
II. Tratamiento endodóntico convencional	10
II.I Hipoclorito de Sodio.....	12
III. Enterococcus Faecalis.....	14
IV. Terapia fotodinámica	17
Objetivo General.....	21
Objetivos específicos	21
I. Estrategia de Búsqueda	22
II. Criterios de Selección.....	25
Resultados	27
I. Método de Aplicación Terapia fotodinámica	29
II.I Características Fotosensibilizador (FS).....	29
II.II Características de la Fuente de Luz	31
II.III Tiempo de pre-irradiación.....	32
II.IV Tiempo de Irradiación.....	33
II. Resultados Principales	34
III.I Disminución del recuento bacteriano.....	34
III.II Significancia Estadística	35
Discusión	40
Conclusión.....	46
Bibliografía.....	47

Resumen

Recientemente se han propuesto nuevos sistemas para mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares (SCR), ya sea reemplazando los procedimientos quimio-mecánicos convencionales o complementando sus efectos. Entre ellos, la terapia fotodinámica (TFD), definida como "la inactivación inducida por la luz, de células, microorganismos o moléculas"; con el fin de disminuir la tasa de fracasos de la terapia endodóntica asociados a la eliminación inadecuada de microorganismos presentes dentro del SCR.

Objetivo: Comparar la carga microbiana de *Enterococcus faecalis* posterior al uso del irrigante hipoclorito de sodio con la terapia fotodinámica como coadyuvante y el uso de este mismo por sí solo durante el Tratamiento Endodóntico Convencional; según la literatura publicada.

Metodología: Se realizó una búsqueda electrónica de artículos experimentales, en 5 bases de datos, publicados desde el 2015 hasta enero del 2021. Utilizando los términos: "Terapia Fotodinámica", "Tratamiento endodóntico convencional", "Hipoclorito de Sodio" y "Enterococcus Faecalis". De los estudios revisados se seleccionaron 19 artículos.

Resultados: El 95,8% de los grupos tuvo mayor disminución de *Enterococcus Faecalis* al utilizar la TFD luego del NaOCl en comparación al uso de NaOCl por sí sólo. De este resultado, un 41,67% presentó diferencias estadísticamente significativas.

Conclusión: La TFD es un complemento efectivo del tratamiento endodóntico convencional. Sin embargo, se sugiere seguir investigando con el fin de establecer un protocolo definido del uso de la TFD y además, desarrollar investigaciones clínicas que promuevan la evidencia científica necesaria para el uso clínico de esta nueva alternativa de tratamiento para lograr una desinfección más profunda del SCR.

Introducción

Al existir infección microbiana de los conductos radiculares y, en consecuencia, pérdida de la vitalidad del diente, surge la necesidad de realizar un tratamiento endodóntico¹⁻². Cuyo objetivo principal es “la eliminación y posible erradicación del microbioma involucrado, sus subproductos y características de virulencia del sistema de conductos radiculares infectados, su limpieza y desinfección”¹⁻². Este tratamiento implica la perforación de la cámara pulpar del diente, extracción total de la pulpa, la preparación del sistema de conductos, mediante instrumentación mecánica y soluciones químicas, y finalmente, su obturación con materiales termoplásticos³⁻⁴.

Dentro de los distintos productos químicos empleados como soluciones de irrigación, podemos encontrar el hipoclorito de sodio, actualmente el más utilizado debido a su actividad antimicrobiana eficaz y a su capacidad para disolver tejidos orgánicos². Sin embargo, los procedimientos quimio mecánicos pueden ser insuficientes en la desinfección y en consecuencia el tratamiento puede fallar⁵⁻⁶. Este fracaso se podría explicar debido a que existen bacterias facultativas, que tienen más probabilidades de sobrevivir a la instrumentación quimio mecánica y a la medicación del conducto radicular⁷. Este es el caso del *Enterococcus faecalis*, que ha sido identificado y extraído de los conductos radiculares en aquellos casos en los que el tratamiento endodóntico ha fallado⁸.

Recientemente se han propuesto nuevos sistemas para mejorar la desinfección del conducto radicular, ya sea reemplazando los procedimientos quimio-mecánicos convencionales o complementando sus efectos⁹. Entre ellos, la terapia fotodinámica (TFD), definida como "**la inactivación inducida por la luz, de células, microorganismos o moléculas**"¹⁰. La TFD se fundamenta en que una luz es capaz de excitar un tinte no tóxico (fotosensibilizador) en su sitio objetivo con efectos mínimos sobre el tejido circundante¹¹. Esta técnica se desarrolló por primera vez como terapia para tumores y enfermedades premalignas¹¹, pero en los últimos años se han ampliado sus indicaciones, ya que representa una alternativa potencial para superar la resistencia bacteriana a los antibióticos¹¹.

La TFD es actualmente utilizada en cirugía bucales y periodoncia, donde se ha logrado observar una reducción significativa de la carga microbiana¹¹. Además, se ha sugerido su uso como un “complemento eficaz y prometedor de la terapia endodóntica convencional, para el tratamiento clínico de las lesiones periapicales”; esto con el fin de disminuir la tasa de fracasos de la terapia endodóntica asociados a la eliminación inadecuada de microorganismo presentes dentro del sistema de conductos radiculares¹². Múltiples estudios han evaluado los niveles de carga microbiana intraconducto previo y posterior al uso de TFD, pero es importante, además, evaluar esta disminución frente a la presencia de sustancias químicas utilizadas durante el tratamiento endodóntico convencional, como lo es la solución de hipoclorito de sodio (NaOCl).

Según lo anteriormente expuesto, es que mediante esta revisión crítica de la literatura, buscaremos comparar la disminución de la carga microbiana de *Enterococcus faecalis*, entre el uso de hipoclorito de sodio como irrigante y el uso de la terapia fotodinámica como coadyuvante al uso de hipoclorito de sodio en el tratamiento endodóntico convencional, y así, determinar la viabilidad del uso de la TFD como un complemento de este, con el fin de poder ser aplicada durante nuestro quehacer clínico odontológico habitual.

Marco teórico

En condiciones normales, el complejo dentino-pulpar es estéril y se encuentra protegido por el esmalte y el cemento¹³. Cuando se rompe la integridad de estas capas naturales, este complejo queda expuesto a la cavidad oral y a los microorganismos presentes, permitiendo el avance de estos hasta la cámara pulpar y conductos radiculares; pudiendo así, originar infecciones intraradiculares¹³. A causa de esto, es necesario realizar un tratamiento endodóntico, y para lograr un resultado favorable, es esencial el profundo conocimiento de la morfología y anatomía dental, una cuidadosa interpretación de las radiografías y tomografías tipo cone beams, un correcto acceso y una exploración detallada del interior del diente¹⁴. Además de tener conocimientos acerca de la microbiología presente en los conductos y sus características, con el objetivo ideal de erradicarla en su totalidad mediante técnicas químico mecánicas; por medio del uso de agentes desinfectantes como el hipoclorito de sodio y posibles nuevas alternativas antimicrobianas como la Terapia Fotodinámica.

I. Sistema de conductos radiculares

El sistema de conductos radiculares corresponde al ***espacio dentro del diente que contiene el tejido pulpar, y adopta numerosas configuraciones y formas***¹⁴⁻¹⁵. Este se divide en tres partes anatómicas; la cámara pulpar, que se encuentra en la corona anatómica del diente, los conductos radiculares, encapsulados en la o las raíces, y el ápice radicular (Fig. 1¹⁶)¹⁴⁻¹⁶.

La cámara pulpar por su parte es ***“el espacio interno del diente que se encuentra en su zona coronaria y se relaciona únicamente con los conductos radiculares mediante los orificios que constituyen la entrada a los mismos”***¹⁶. A su vez, se entiende como conducto radicular a la ***“comunicación existente entre la cámara pulpar y el periodonto que se dispone a lo largo de la zona media de la raíz”***¹⁶.

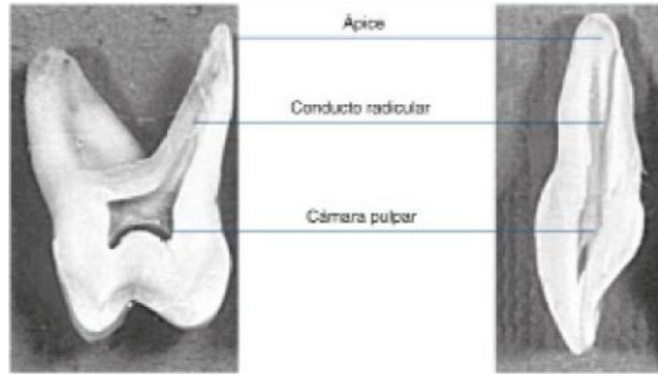


Fig. 1: Partes anatómicas que se distinguen en el sistema de conductos radiculares de un diente: Cámara, conducto radicular y ápice¹⁶.

I.I Anatomía

La anatomía de los sistemas de conductos es altamente compleja¹⁶. Actualmente, la morfología de los conductos es clasificada según la siguiente nomenclatura, a la cual Pucci hizo referencia en 1945:

- a) Conducto principal: Va acorde al eje dentario, alcanza el ápice radicular sin interrupciones y es el que se trabaja mecánicamente durante el tratamiento endodóntico convencional¹⁶ (Fig. 2¹⁷).
- b) Conducto bifurcado o colateral: Recorre paralelamente al conducto principal, es de menor diámetro que este último y puede llegar de forma independiente al ápice radicular¹⁶ (Fig. 2¹⁷).
- c) Conducto adventicio o lateral: Va del conducto principal al periodonto lateral, por encima del tercio apical¹⁶ (Fig. 2¹⁷).
- d) Conducto secundario: Emerge desde el conducto principal, desde el tercio apical hasta el ápice radicular¹⁶ (Fig. 2¹⁷).
- e) Conducto accesorio: Procede de un conducto secundario, para finalizar a nivel del cemento apical¹⁶ (Fig. 2¹⁷).

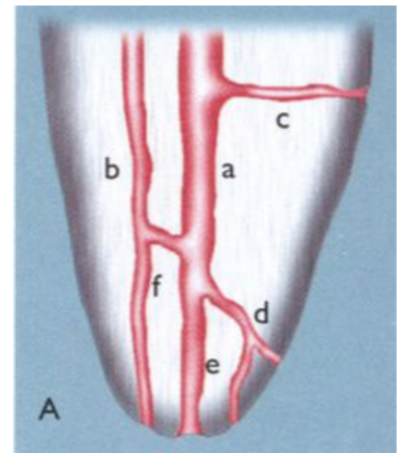


Fig. 2: Denominación de las ramificaciones del sistema de conductos radiculares. a) Conducto principal; b) Colateral; c) Lateral; d) Secundario; e) Accesorio; f) Interconducto¹⁷.

f) Interconductor: Conducto pequeño que une dos o más conductos principales, bifurcados o secundarios¹⁶ (Fig. 2¹⁷).

g) Conducto recurrente: Emerge del conducto principal y luego vuelve a unirse al conducto principal¹⁶ (Fig. 3¹⁷).

h) Delta apical: Corresponden a múltiples derivaciones que emergen desde el conducto principal y terminan en el ápice radicular, dando como origen a múltiples foraminas en sustitución del foramen principal¹⁷ (Fig. 3¹⁷).

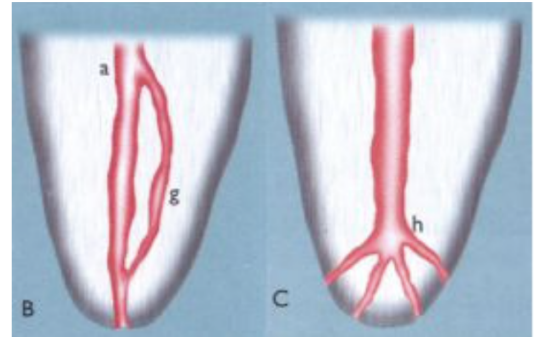


Fig. 3: Denominación de las ramificaciones del sistema de conductos radiculares. g) Recurrente; h) Delta apical¹⁷.

Además, Kuttler agregó otro tipo de ramificación a esta clasificación¹⁷.

i) Conducto cavo - Interradicular: Emerge desde el piso de la cámara pulpar y termina en la bifurcación o trifurcación radicular¹⁷ (Fig. 4¹⁷).

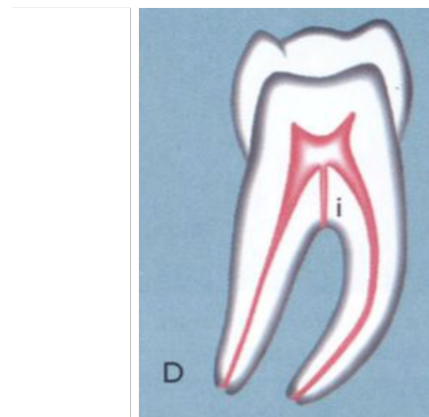


Fig. 4: Denominación de las ramificaciones del sistema de conductos radiculares. i) Cavo-interradicular¹⁷.

I.II Calibre

Al hablar del calibre radicular, se deben considerar 2 aspectos referentes: el calibre *longitudinal* y el *transversal*¹⁶. El calibre longitudinal, se describe como el diámetro mayor del conducto, se observa siempre en el suelo cameral, y a medida que transcurre por la región radicular, se estrecha progresivamente hasta llegar al ápice radicular¹⁶.

En segundo lugar, el calibre transversal, no es constante y se relaciona con la edad del paciente¹⁶. A medida que el diente va envejeciendo, las diferentes aposiciones dentinarias disminuyen la luz de este, pudiendo llegar a encontrar conductos completamente obliterados¹⁶. Estas aposiciones dentinarias explican también los diferentes cambios de volumen que se pudiesen encontrar en un mismo conducto radicular; es decir, que no presente una disminución progresiva de su diámetro a lo largo de la raíz, como se apuntaba en el calibre longitudinal, sino que presente estrecheces esporádicas en determinadas zonas¹⁶.

Asimismo, puede ocurrir el fenómeno inverso, en que en el conducto aparezcan ensanchamientos en vez de estrecheces, lo que en casos extremos puede deberse a reabsorciones dentinarias internas¹⁶.

I.III Forma

La forma del conducto en sección es muy variable, pero por lo general, este sigue la forma de la raíz que lo contiene. Aún así, se han clasificado en: *forma circular*, *forma elíptica* y *forma en C* (Fig. 5¹⁶⁻¹⁷)¹⁶.

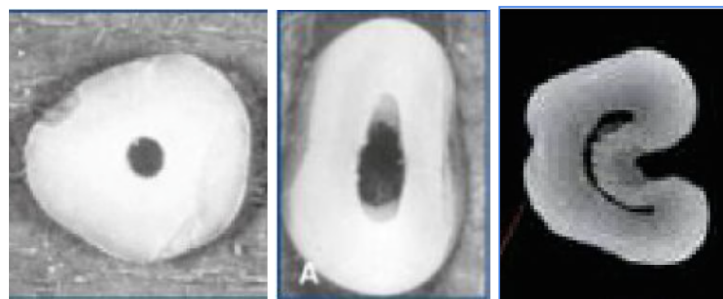


Fig. 5: Corte radicular transversal A) Conducto circular; B) Conducto elíptico; C) Conducto en C¹⁶⁻¹⁸.

I.IV Dirección

En general, el conducto principal transcurre por el centro de cada raíz, siguiendo el eje que ella le traza¹⁶. Por lo que pueden presentarse 3 disposiciones (Fig. 6¹⁷):

- a) Recto: Sigue el eje longitudinal de la raíz, que tiene la misma forma¹⁶.
- b) Arciforme: Sigue también la forma de la raíz, pero presenta una forma curvada sin ningún tipo de angulaciones; es la más frecuente¹⁶.
- c) Acodado: Curvatura en la raíz en forma de ángulo muy marcado y el conducto sigue aproximadamente la misma dirección¹⁶.

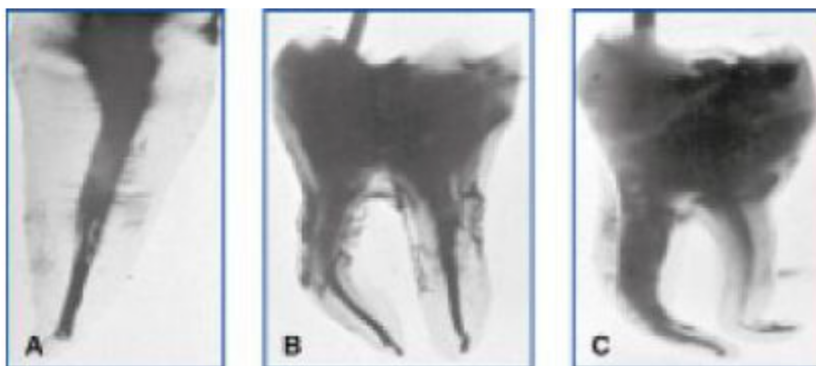


Fig. 6: Conducto A) Recto; B) Arciforme; C) Acodado¹⁶.

I.V Ápice radicular

Se considera que es la porción del conducto radicular con el diámetro más pequeño y corresponde al punto de referencia más utilizado por los dentistas¹⁵. Existen tres hitos anatómicos e histológicos importantes en él; la constricción apical (CA), la unión cemento-dentinaria (UCD) y el foramen apical (FA)¹⁵ (Fig. 7¹⁵). Su anatomía muestra la disminución del conducto radicular desde los orificios del canal, a nivel coronario, hasta la CA, y por lo general se encuentra entre 0,5 y 1,5 mm dentro del FA¹⁵.

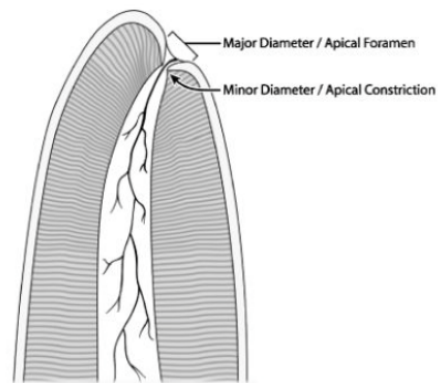


Fig. 7: Morfología ápice radicular¹⁵.

Rara vez se observa la terminación del conducto radicular como un conducto único, sino todo lo contrario; es la zona apical donde el conducto presenta un mayor número

de ramificaciones, y en ocasiones, se forma un delta apical a través de las llamadas foraminas¹⁶. Es posible diferenciar 2 tipos de deltas apicales, el primero, de arborización con desaparición del conducto y el segundo, de arborización sin desaparición del mismo¹⁶ (Fig. 8¹⁶).

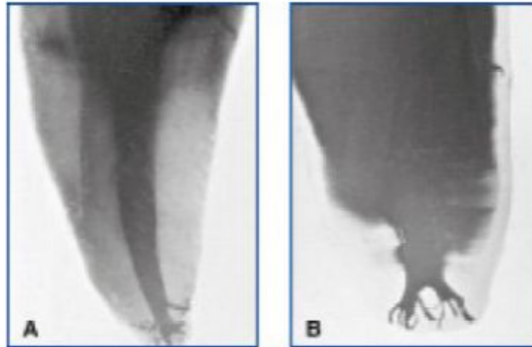


Fig. 8: Delta apical A) Sin desaparición del conducto principal; B) Con desaparición del mismo¹⁶.

En el primer caso, el endodoncista sabe que no ha llegado hasta el periápice y debe planear el tratamiento utilizando otros recursos terapéuticos; en el segundo caso, los instrumentos recorren todo el conducto principal, corriendo el riesgo de ignorar los conductos laterales que parten de él¹⁶.

El principal objetivo del tratamiento endodóntico es la conformación y limpieza de los espacios pulpaes y la posterior obturación completa de estos¹³. En la literatura, se ha reportado una amplia gama de variaciones anatómicas en el sistema de conductos radiculares¹⁹, lo que puede provocar el fracaso de los procedimientos quimio-mecánicos de limpieza y asepsia de áreas remotas de este sistema²⁰⁻²¹.

La presencia de un conducto sin tratar puede ser causa suficiente del fracaso en el tratamiento endodóntico¹⁴. Lo cual, ha llevado a la evaluación de tratamientos complementarios a dichos procedimientos quimio-mecánicos, como lo es la terapia fotodinámica antimicrobiana²².

II. Tratamiento endodóntico convencional

El tratamiento endodóntico de conductos radiculares es un ***“procedimiento dental relativamente complejo que se lleva a cabo, principalmente, en aquellos dientes en los que la pulpitis irreversible ha progresado a una necrosis de la pulpa dental”***²³. Su objetivo principal es optimizar la desinfección del conducto radicular y evitar su reinfeción²¹. Para lograrlo, se debe realizar una limpieza quimio mecánica del sistema de conductos radiculares, realizar una correcta obturación, desde el ápice del diente hasta la corona, respetando la morfología, y por último, conseguir el sellado apical y del resto del conducto. En consecuencia, producir un cierre biológico y por consiguiente, el futuro éxito del tratamiento²⁴.

Los signos y síntomas clínicos que definen su éxito son, ausencia de dolor, desaparición de la inflamación y fístulas, si es que estas existían antes del tratamiento, así como también el mantenimiento del diente funcional y firme en su alvéolo²⁴. Radiográficamente, el éxito se definirá por la cicatrización de la lesión periapical asociada al diente comprometido, si es que había previa presencia de aquella, lo cual ocurre generalmente en un período de 6 a 24 meses posterior al tratamiento²⁴.

La primera etapa del tratamiento es la apertura endodóntica y limpieza de la cámara pulpar¹⁷, en la cual se realiza la extracción de la pulpa cameral y radicular³. Luego procede la localización y preparación de la entrada a los conductos, para lo cual se utilizarán instrumentos endodónticos como limas tipo K o ensanchadores y fresas Gates Glidden¹⁷ (Fig. 9).

Posteriormente, la etapa de preparación biomecánica o quimio mecánica está constituida por una serie de procedimientos mecánicos (instrumentación) realizados en conjunto con la utilización de productos químicos¹⁷ (Fig. 9). La finalidad principal de la instrumentación es el desbridamiento mecánico de los conductos radiculares y la creación de un espacio para el suministro de sustancias antimicrobianas¹⁷. Por ende, en esta etapa se limpiará, conformará y desinfectará el conducto radicular para crear las condiciones necesarias para ser obturado¹⁷, facilitando la “colocación adecuada de un relleno radicular compacto, lo que ayudaría a evitar la recolonización por la microbiota oral”²⁴. En esta etapa se utilizarán limas endodónticas para la conformación

y soluciones irrigantes para la limpieza, desinfección y lubricación de los conductos radiculares, empleados mediante la técnica de irrigación-aspiración¹⁷.

Luego de la preparación biomecánica viene la etapa de obturación de los conductos, su objetivo es el llenado de la porción conformada del conducto con materiales inertes o antisépticos que promuevan un sellado estable y tridimensional; y que además estimulen o al menos no interfieran con el proceso de reparación¹⁷ (Fig. 9). Esta etapa se llevará a cabo con cementos endodónticos y conos de gutapercha¹⁷.

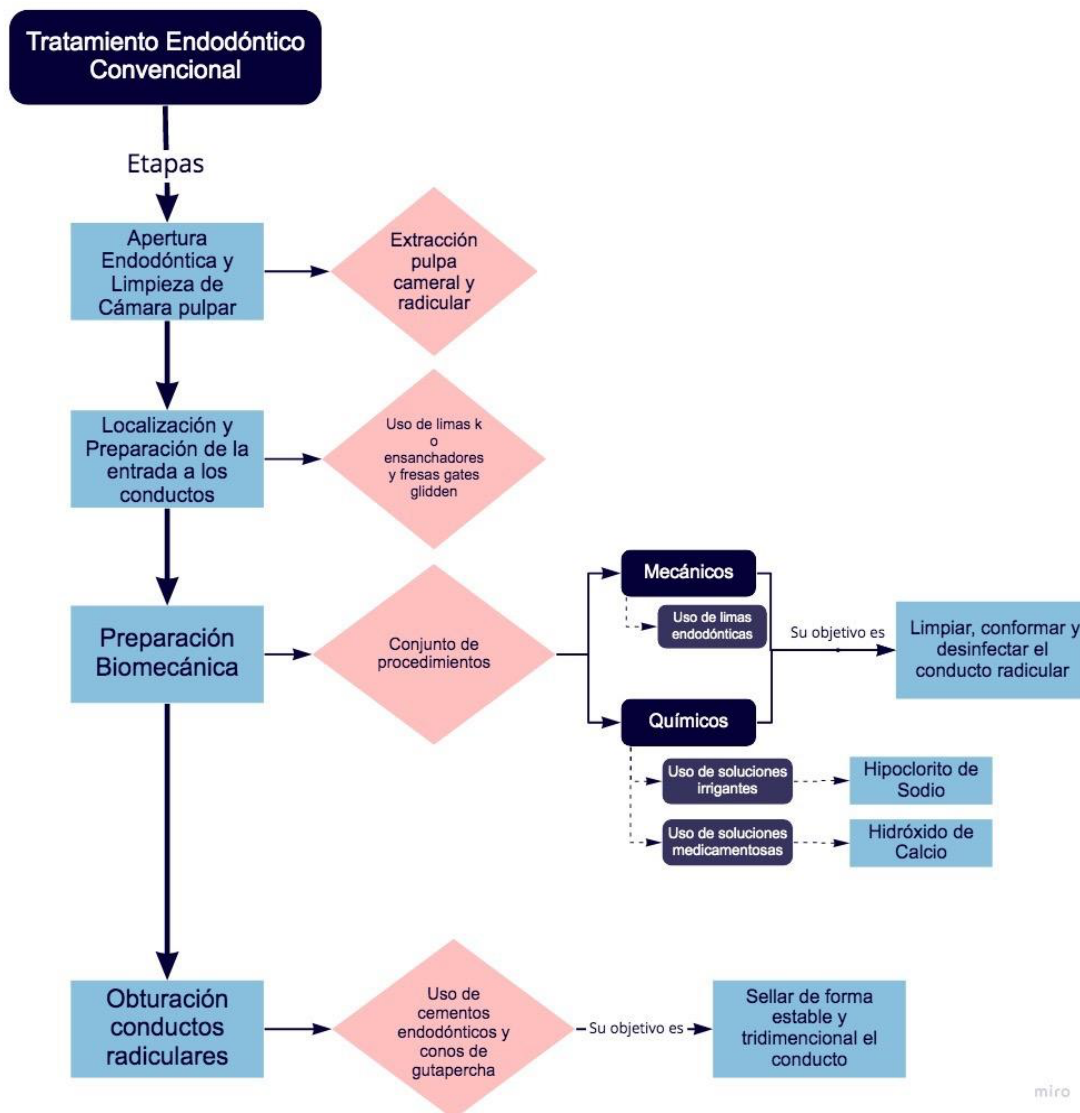


Fig. 9: Etapas Tratamiento Endodóntico Convencional. (Elaboración propia).

Como se mencionó anteriormente la preparación quimio mecánica corresponden a procedimientos mecánicos que se realizan en conjunto al uso de soluciones químicas¹⁷. Esto ocurre debido a que la instrumentación mecánica por sí sola no es capaz de disminuir de forma eficiente la contaminación del conducto radicular, debido a la complejidad de su anatomía. A su vez, la acción mecánica de las limas se limita sólo a los canales principales, necesitando la ayuda de soluciones que tengan una acción antiséptica y disolvente del tejido orgánico para lograr la efectiva limpieza del sistema de conductos¹⁷⁻²¹. Históricamente, se han sugerido innumerables compuestos en solución acuosa como irrigantes de conductos radiculares². Lo ideal es que los irrigantes tengan un amplio espectro antimicrobiano y una gran eficacia contra los microorganismos anaerobios y facultativos organizados en biopelículas, que puedan disolver los restos de tejido de pulpa necrótica, inactivar endotoxinas, evitar la formación de smear layer durante la instrumentación o ser capaz de disolverlo una vez que se haya formado². Además, como los irrigantes endodónticos entran en contacto con tejidos vitales, deben ser sistémicamente no tóxicos, no cáusticos para los tejidos periodontales y tener bajo potencial para causar una reacción anafiláctica².

Dentro de los distintos productos químicos utilizados como soluciones de irrigación podemos encontrar hipoclorito de sodio, clorhexidina, ácido etilendiamino tetraacético (EDTA), ácido cítrico, entre otros¹⁻². Siendo el hipoclorito de sodio (NaOCl) el más utilizado en la actualidad, debido a que cumple con la mayor cantidad de requisitos que debe tener un irrigante endodóntico en comparación a cualquier otro compuesto².

II.1 Hipoclorito de Sodio

El Hipoclorito de Sodio (NaOCl) fue utilizado por primera vez durante la Primera Guerra Mundial para la irrigación de heridas infectadas². Posteriormente, en 1920 comenzó su uso en el área endodóntica como principal irrigante durante el tratamiento de conductos radiculares².

Es conocido por su eficaz actividad antimicrobiana y su capacidad para disolver tejidos orgánicos, pero también por otras propiedades como, por ejemplo, ser neutralizante de productos tóxicos, producir una acción rápida, ser desodorizante y blanqueante²⁻¹⁷. Además, es considerado como una solución de bajo costo, fácil de conseguir en el

mercado y que tiene una buena vida útil²⁵. Una de sus grandes desventajas es la incapacidad de eliminar el smear layer de las paredes de los conductos y a altas concentraciones es citotóxico²¹.

Su mecanismo de acción se basa en la saponificación de los ácidos grasos, reduciendo la tensión superficial de la solución⁵⁻²¹⁻²⁶. Cuando el ácido hipocloroso toma contacto con el tejido orgánico (componente en la solución de NaOCl), se produce una liberación de cloro, el cual se une a los grupos amino liberados de la hidrólisis de aminoácidos, formando cloraminas⁵⁻²¹⁻²⁶. Será el ácido hipocloroso y los iones de hipoclorito que llevarán a la degradación proteica e hidrólisis⁵⁻²¹⁻²⁶. Por su parte, el cloro tiene un gran potencial antimicrobiano pudiendo inhibir las enzimas bacterianas y llevar a la oxidación irreversible de los grupos sulfhidrilos⁵⁻²¹⁻²⁶(Fig. 10). Se ha descrito que para obtener este efecto es necesario utilizar concentraciones que oscilan entre el 0,5% y el 5,25%³⁻²¹.

En un estudio de Radcliffe et al. (2004) probaron la actividad antimicrobiana de diversas concentraciones de NaOCl frente a diferentes patógenos y concluyeron que cuanto más alta es la concentración, mayor es su eficacia²⁷. Así también, en un estudio de Gomes et al se obtuvo resultados similares, mostrando que el NaOCl al 0,5% requería 30 min. para destruir las células bacterianas de *E. faecalis*, mientras que el 5,25% de NaOCl <30 min. para obtener los mismos resultados, por lo que concluyeron que “el 5,25% es la concentración ideal y la más efectiva para la acción antimicrobiana del NaOCl”²⁵. Actualmente, NaOCl al 5% es considerado el “Gold standard como solución de irrigación gracias a su conocido efecto bactericida, su eficacia en la disolución de la materia orgánica y la ayuda que otorga al lavado mecánico de los desechos”²¹.

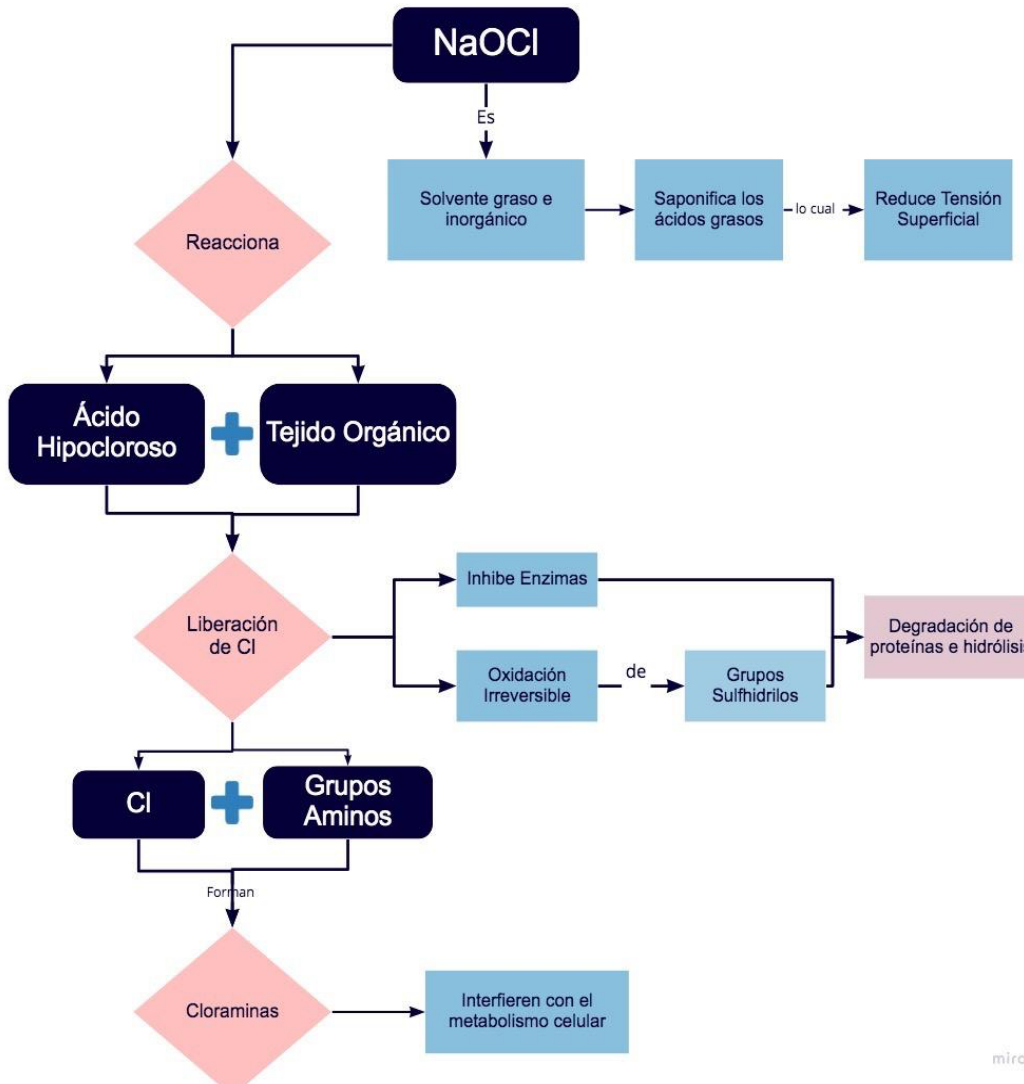


Fig. 10: Mecanismo de acción de NaOCl. (Elaboración propia).

III. Enterococcus Faecalis

La colonización de los conductos radiculares se caracteriza por ser polimicrobiana, en donde existe prevalencia, en un inicio, de bacterias anaerobias Gram negativas, cocos anaerobios Gram positivos, cocos Gram positivos, varillas anaeróbicas y facultativas, especies de *Lactobacillus* y especies de Gram positivos facultativos de *Streptococcus*¹³⁻²⁸. En una etapa posterior, los conductos son colonizados por bacterias facultativas como los estreptococos no mutantes, lactobacilos y enterococos; y se caracterizan por tener más probabilidades de sobrevivir a la instrumentación quimio mecánica y a la medicación del conducto radicular⁹. Entre las bacterias más

destacadas, y a la cual se le asocia el fracaso del tratamiento endodóntico, encontramos al *Enterococcus faecalis*⁸.

Enterococcus faecalis es una “**bacteria anaeróbica facultativa comensal Grampositiva**” que habita comúnmente en la microbiota intestinal, específicamente, en el tracto gastrointestinal, siendo capaz de alcanzar y colonizar la superficie interna de los conductos radiculares⁸⁻²⁹⁻³⁰. Se ha demostrado que es capaz de sobrevivir en condiciones desfavorables, por ejemplo, ambientes con poco oxígeno, con un pH alcalino que incluso puede alcanzar los 11.5, en un amplio rango de temperaturas que pueden ir desde los 10° hasta los 60°, en alta salinidad y en un ambiente con pocos nutrientes, entre otras³¹.

Su patogenicidad puede atribuirse a diversos factores de virulencia detectados en cepas clínicas estudiadas, entre estos, el factor principal y que le otorga su mayor resistencia es su capacidad de formación de biofilms²⁹.

Aún no se sabe con claridad la base genética de la capacidad de *E. faecalis* en la formación de la biopelícula. Sin embargo, esto le otorga mayor resistencia y protección frente a la mayoría de los agentes antimicrobianos, ya que no logran penetrar en las capas bacterianas más profundas del biofilm²⁹. Dichos agentes sólo alcanzan a matar aquellas más periféricas, y una vez que el efecto de estos disminuye, las bacterias supervivientes tienen la posibilidad de formar nuevas capas de biofilm²⁹.

En odontología, la explicación biológica más común de las infecciones de los conductos radiculares es justamente el biofilm endodóntico, el cual está formado en gran medida por *E. faecalis*²⁹. A pesar de que las infecciones endodónticas son de naturaleza polimicrobiana, el entorno del conducto radicular puede favorecer y apoyar la supervivencia de esta especie, ya que puede subsistir en condiciones ambientales desfavorables como las que se encuentran en el diente tratado endodónticamente⁸⁻²⁹. Incluso, se ha estudiado que poseen la capacidad de utilizar el líquido del ligamento periodontal y el suero de la dentina como fuente de nutrición, además de penetrar en los túbulos dentinarios y adherirse al colágeno de estos³⁸. En contraste con “las bacterias comensales de la cavidad oral, encuentra un ambiente de desarrollo ideal en el diente necrótico”⁸.

De hecho, es una de las principales bacterias encontradas en tratamientos de conducto fallidos en los que se desarrolló periodontitis apical crónica, lo anterior se observaba tanto en aquellos casos en los que el tratamiento realizado estaba aparentemente correcto como en los que se observaba una obturación radicular incompleta⁸⁻²⁹. De igual forma, se ha informado que la prevalencia de *E. faecalis* en infecciones periapicales, incluidas las infecciones endodónticas secundarias, era del 33% y del 24 al 77% en aquellas infecciones persistentes²⁹.

Se ha descrito que la capacidad de formación de biofilm por parte del *E. faecalis* le otorga mayor grado de resistencia a soluciones irrigantes tradicionales como la clorhexidina o el hipoclorito de sodio⁸⁻²⁹. Numerosos autores han demostrado que esta especie bacteriana resiste la acción del hipoclorito de sodio en concentraciones superiores al 5%, y que además tienen capacidad de adaptación y crecimiento en presencia de hidróxido de calcio⁸⁻²⁹. Por su parte, la eliminación mecánica de la biopelícula mediante instrumentos endodónticos es parcialmente eficaz, ya que “el biofilm puede ocultarse en zonas inalcanzables por esos instrumentos”²⁹.

Así también, se ha descrito su potencial desarrollo de resistencia a los antibióticos, especialmente a la eritromicina y la azitromicina³⁰⁻³¹. Ya que se estima que los elementos adquiridos, incluyendo los genes de resistencia a los antibióticos, representan más del 25% de su genoma³⁰⁻³¹. En general, se ha comprobado que la resistencia del biofilm a los antibióticos puede incluso aumentar hasta 1.001.000 veces²⁹.

Por lo que, a diferencia de otras especies microbianas, la capacidad de *E. faecalis* para crecer como biopelícula en las paredes de los conductos radiculares, su alta resistencia a los agentes antimicrobianos y su potencial resistencia los antibióticos, lo convierten en un patógeno muy resistente al tratamiento endodóntico convencional, y unas de las principales causas de la falla de este⁸⁻³⁰⁻³¹.

IV. Terapia fotodinámica

La terapia fotodinámica (TFD) clásica, es una terapia que se realiza en una secuencia de pasos que involucran la aplicación del compuesto fotosensibilizante (FS), la retención selectiva de este en los tejidos diana y la posterior irradiación con una longitud de onda que coincide con el espectro de absorción del FS; la que se aplica a través de un dispositivo de luz, que puede dirigirse directamente al objetivo o a sitios internos³². Esta irradiación, da como resultado una transición del fotosensibilizador desde el nivel de singlete de baja energía "Estado fundamental" a un "estado triplete" de mayor energía, que es la forma terapéutica adecuada del compuesto³².

Este estado triplete puede sufrir dos tipos de reacciones; en una *reacción de tipo I*, el fotosensibilizador activado reacciona directamente con una molécula de sustrato, como una membrana celular, y se conduce a la formación de radicales libres por transferencia de hidrógeno o electrones³³. Luego, los radicales reaccionan con el oxígeno y producen especies de oxígeno altamente reactivas: superóxido, radicales hidroxilo y oxígeno singlete³³. Estas reacciones, podrían causar daño celular directo por la acción de los radicales libres³⁴.

En las *reacciones de tipo II*, el fotosensibilizador excitado interactúa directamente con el oxígeno formando productos oxigenados³⁵. Se libera un estado de oxígeno altamente reactivo y excitado electrónicamente, que se denomina oxígeno singlete, esta reacción de tipo II se acepta como la vía principal en la destrucción de células microbianas³³. Estos dos mecanismos de reacción dependen estrictamente de la tensión de oxígeno y la concentración del FS³⁵.

En cuanto al fotosensibilizador, idealmente debe ser fácil de administrar, tener una buena relación precio-calidad, capacidad de alta absorción de longitud de onda, baja toxicidad, selectividad hacia las células diana y eliminación rápida³⁶. Aunque actualmente no existe ninguno que se adhiera a todos los criterios antes mencionados, estos han servido como guía al momento de estudiar los PS³⁶. Los fotosensibilizadores más estudiados pertenecen a los grupos de xantenos halogenados, fenotiazinas, acridinas y clorinas conjugadas¹¹. Dentro de los más empleados en TFD, están las fenotiazinas (compuestos sintéticos sin porfirina), que incluyen azul de metileno (AM),

y azul de toluidina O (ATO) en varias concentraciones³⁷. Ambos fotosensibilizadores tienen efectos bactericidas similares y son capaces de inactivar bacterias Gram positivas y Gram negativas, como el *Enterococcus faecalis*³⁷. Teniendo en cuenta que las infecciones endodónticas son de una mezcla de bacterias Gram positivas y Gram negativas, AM y ATO (tanto hidrófobos como hidrófilos), parecen ser los más apropiados para la TFD en endodoncia¹¹.

La elección de los fotosensibilizadores utilizados en odontología también depende de la fuente de luz utilizada³⁸. El requisito básico para las fuentes de luz en TFD es que coincidan con el espectro de absorción electrónica del FS (generalmente el pick de longitud de onda más largo) y que generen una potencia de luz adecuada en esta longitud de onda³⁸. Se describen tres clases principales de fuentes de luz utilizadas, LÁSER, diodos emisores de luz (LED) y lámparas halógenas³⁷. Los láseres de diodo son fáciles de manejar y pueden dirigirse a través de una fibra óptica para entregar la cantidad adecuada de luz, sin embargo, tienen un costo elevado³⁷. Por otro lado, las fuentes LED se han utilizado particularmente para la irradiación de superficies de tejidos de fácil acceso¹⁰. Mientras que las lámparas halógenas tienen la ventaja de que pueden filtrarse espectralmente para adaptarse a cualquier FS, pero no pueden acoplarse eficazmente en haces de fibra óptica o guías de luz líquida y provocan calentamiento³⁷.

En base a lo nombrado anteriormente, desde el punto de vista de la interacción entre bacterias y FS, la eficacia de la TFD se relaciona principalmente con tres aspectos principales: (i) la capacidad del FS de interactuar con la membrana bacteriana; (ii) la capacidad de penetración y acción dentro de la celda del FS; y (iii) la formación de oxígeno singlete reactivo alrededor de la célula bacteriana mediante la iluminación del FS³². Cabe destacar, que clínicamente esta reacción es citotóxica y vasculotóxica¹¹, y su acción bactericida se atribuye a dos vías principales: daño de la membrana plasmática celular y / o daño del ADN celular¹⁰.

El resultado biológico de la TFD a nivel celular depende del tipo de reacción que se produzca; las reacciones de tipo I generalmente resultan en necrosis, causada por la formación de especies citotóxicas del oxígeno reactivo, mientras que las reacciones de tipo II darán lugar a apoptosis o autofagia, provocando cambios morfológicos a nivel de las membranas plasmáticas y el ADN, y posteriormente la muerte celular³⁶⁻³⁹. Además, el daño a la membrana citoplasmática bacteriana puede provocar eventos como inactivación del sistema de transporte de membrana, inhibición de actividades enzimáticas de la membrana plasmática, peroxidación de lípidos, entre otros⁴⁰ (Fig. 11).

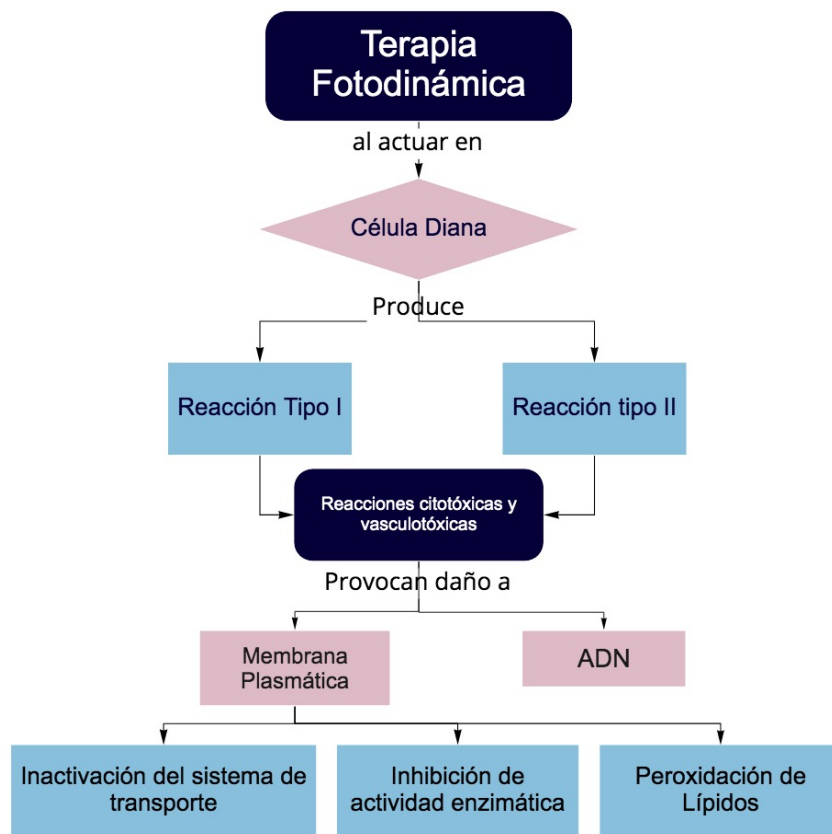


Fig. 11: Mecanismo de acción Terapia Fotodinámica. (Elaboración propia)

Cabe destacar, que existen reportes de inactivación de bacterias, en las que el FS no tiene que penetrar o encontrarse con las células para ser efectivo¹¹. Destacando así,

la importancia de poder llegar a áreas de difícil acceso, ya que el éxito se puede lograr incluso sin contacto directo entre el FS y las bacterias¹¹.

En odontología, la TFD ha sido utilizada en áreas como cirugía oral, y periodoncia, siendo una alternativa de tratamiento para osteítis alveolar, dolor post extracción, periimplantitis e infecciones periodontales microbianas localizadas³⁶⁻⁴¹. Actualmente, múltiples estudios han sugerido el potencial de la TFD como complemento del tratamiento endodóntico convencional, esta se ha probado en términos de reducción de la carga bacteriana in vivo, así como in vitro y ex vivo, mostrando resultados prometedores¹¹⁻¹².

Pregunta de investigación

Según lo revisado en la literatura, durante el Tratamiento Endodóntico Convencional ¿Es inferior la carga microbiana cuando se utiliza la Terapia Fotodinámica como coadyuvante del irrigante Hipoclorito de Sodio, respecto del uso de este mismo por sí sólo?

Objetivo General

Comparar la carga microbiana de *Enterococcus faecalis* posterior al uso del irrigante hipoclorito de sodio con la terapia fotodinámica como coadyuvante y el uso de este mismo por sí solo durante Tratamiento Endodóntico Convencional; según la literatura publicada.

Objetivos específicos

1. Identificar en la literatura, artículos que indiquen el método de aplicación utilizado en la terapia fotodinámica como coadyuvante al Tratamiento Endodóntico Convencional.
2. Analizar según la literatura, artículos que comparen la carga microbiana de *Enterococcus faecalis*, previo y posterior al uso del irrigante hipoclorito de sodio en el Tratamiento Endodóntico Convencional.
3. Analizar según la literatura, artículos que comparen la carga microbiana de *Enterococcus faecalis*, previo y posterior al uso de la terapia fotodinámica como coadyuvante al uso del irrigante hipoclorito de sodio en el Tratamiento Endodóntico Convencional.

Materiales y Métodos

I. Estrategia de Búsqueda

Se realizó una revisión crítica de la literatura mediante la aplicación de una estrategia de búsqueda electrónica, que fue adaptada según la base de datos utilizada. La búsqueda se llevó a cabo entre los meses octubre del 2020 y abril del 2021, por 2 investigadores de manera conjunta. Se seleccionaron 5 bases de datos: PubMed (MEDLINE), Scopus, Lilacs, Scielo y Web of Science (WoS). En esta se incluye literatura publicada hasta enero del año 2021 con los términos o llaves relacionados con la Terapia Fotodinámica, Tratamiento endodóntico convencional, Hipoclorito de Sodio y *Enterococcus Faecalis*. Además, se realizó una búsqueda manual de artículos que cumplieran con los criterios para ser incluidos, que mantuviesen un tema atinente a la búsqueda y que no aparecieran en los resultados de las bases de datos. Los resultados de los artículos para cada término, así como su asociación para cada base de datos, se pueden observar en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

	Términos de Búsqueda	Resultados
#1	"Photodynamic Therapy"	29.555
#2	"Photodynamic Inactivation"	1.573
#3	"Photoactivated Desinfection"	126
#4	"Light Activated Desinfection"	1577
#5	"Endodontic Treatment"	30.761
#6	"Root Canal Treatment"	24.320
#7	"Enterococcus Faecalis"	16.993
#8	"Sodium Hypochlorite"	8010
	#1 OR #2 OR #3 OR #4 AND #5 OR #6 AND #7 AND #8	320

Tabla I: Estrategia de búsqueda para los términos de búsqueda utilizados en la base de datos PubMed.

	Términos de Búsqueda	Resultados
#1	"Photodynamic Therapy"	40.575
#2	"Photodynamic Inactivation"	2.054
#3	"Photoactivated Desinfection"	2
#4	"Light Activated Desinfection"	40
#5	"Endodontic Treatment"	40.959
#6	"Root Canal Treatment"	45.171
#7	"Enterococcus Faecalis"	61.802
#8	"Sodium Hypochlorite"	37.455
	#1 OR #2 OR #3 OR #4 AND #5 OR #6 AND #7 AND #8	42

Tabla II: Estrategia de búsqueda para los términos de búsqueda utilizados en la base de datos Scopus.

	Términos de Búsqueda	Resultados
#1	"Photodynamic Therapy"	369
#2	"Endodontic Treatment"	1.293
	#1 AND #2	13

Tabla III: Estrategia de búsqueda para los términos de búsqueda utilizados en la base de datos Lilacs.

	Términos de Búsqueda	Resultados
#1	“Photodynamic Therapy”	197
#2	“Endodontic Treatment”	437
	#1 AND #2	7

Tabla IV: Estrategia de búsqueda para los términos de búsqueda utilizados en la base de datos Scielo.

	Términos de Búsqueda	Resultados
#1	“Photodynamic Therapy”	495
#2	“Photodynamic Inactivation”	50
#3	“Photoactivated Desinfection”	0
#4	“Light Activated Desinfection”	0
#5	“Endodontic Treatment”	5.212
#6	“Root Canal Treatment”	4.715
#7	“Enterococcus Faecalis”	1.324
#8	“Sodium Hypochlorite”	2.307
	#1 OR #2 OR #3 OR #4 AND #5 OR #6 AND #7 AND #8	269

Tabla V: Estrategia de búsqueda para los términos de búsqueda utilizados en la base de datos Web of Science (WoS).

Luego, se evaluaron los títulos y resúmenes de los artículos encontrados para eliminar aquellos que no correspondían al área de interés.

II. Criterios de Selección

Finalmente se establecieron criterios de inclusión y exclusión para filtrar los artículos según los requerimientos (tabla VI).

Criterios de Inclusión
<ul style="list-style-type: none">- Estudios que determinen la carga microbiana del <i>Enterococcus faecalis</i> previo al tratamiento endodóntico primario en dientes humanos permanentes.- Estudios que evidencien la utilización de hipoclorito de Sodio (NaOCl) como irrigante durante el tratamiento endodóntico primario en dientes humanos permanentes.- Estudios que determinen la carga microbiana de <i>Enterococcus faecalis</i> posterior al uso de NaOCl.- Estudios que determinen la carga microbiana de <i>Enterococcus faecalis</i> posterior a la terapia fotodinámica como coadyuvante del NaOCl.- Artículos escritos en el idioma español, portugués o inglés.
Criterios de Exclusión
<ul style="list-style-type: none">- Estudios realizados en dientes temporales.- Estudios realizados en dientes con necesidad de retratamiento endodóntico.- Artículos publicados antes del año 2015.- Revisiones sistemáticas de la literatura y metaanálisis.

Tabla VI: Criterios de inclusión y Exclusión.

Las variables por extraer de los artículos incluidos, que serán analizadas posteriormente son:

- Método de aplicación de Hipoclorito de Sodio (concentración y tiempo de uso).
- Métodos de aplicación de la Terapia Fotodinámica (fotosensibilizador, fuente de luz y tiempos).
- Disminución del recuento bacteriano de *Enterococcus Faecalis* posterior al uso de NaOCl por sí sólo.

- Disminución del recuento bacteriano de *Enterococcus Faecalis* posterior al uso de TDF como coadyuvante del NaOCl.
- Resultados principales.

Resultados

El número de artículos encontrados en los buscadores fue de 651, del cual se removieron 45 duplicados, quedando 606 artículos. Seguido a esto se realizó un screening por título y abstract de los estudios eliminando un total de 527 artículos. A este resultado, se le agregaron 4 artículos, seleccionados mediante una búsqueda manual, obteniendo 83 artículos. Finalmente, se realizó la lectura completa de los textos, excluyéndose 64 artículos que no cumplían los criterios de inclusión/exclusión lo que determinó un total de 19 artículos incluidos para la revisión (Figura 12).

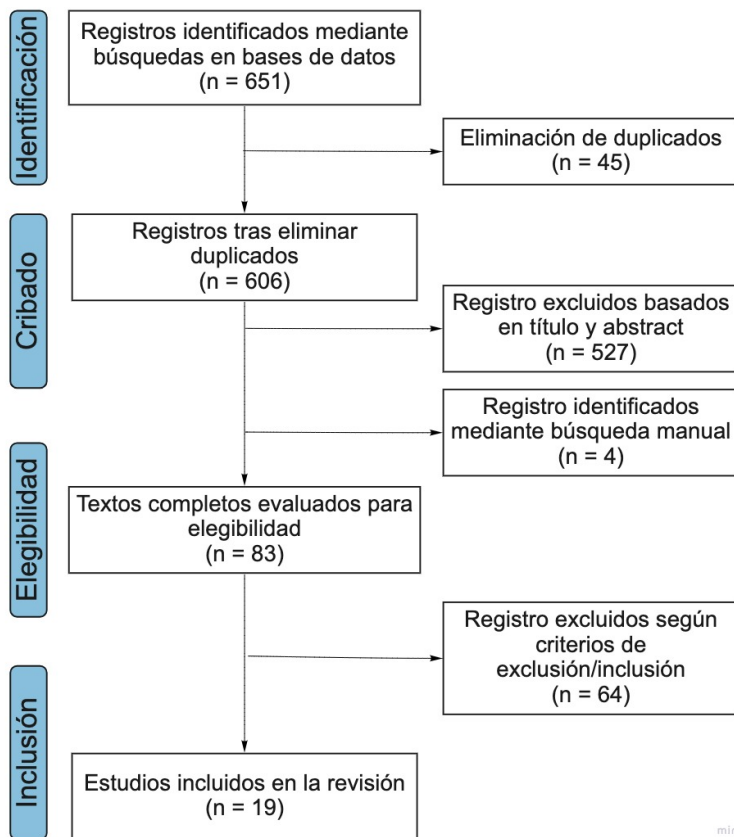


Fig. 12. Diagrama de búsqueda, adaptado de formato PRISMA. Ilustra el proceso de selección de artículos para la revisión crítica de la literatura.

En la tabla XI se exponen todas las variables analizadas dentro de los 19 estudios. Ordenados por Autor, se muestran las principales características de cada uno de estos, dentro las cuales podemos encontrar método de aplicación de Hipoclorito de

Sodio, método de aplicación de la Terapia fotodinámica como coadyuvante del NaOCl y resultados principales.

Del total de artículos revisados, 3 de ellos utilizaron diferentes concentraciones de NaOCl, además, un artículo empleó 2 tiempos de pre-irradiación distintos y otro, 2 tiempos de irradiación distintos, durante la terapia fotodinámica. Obteniendo una muestra total de 24 grupos a analizar.

I. Método Aplicación NaOCl

Las variables estudiadas, fueron la concentración de NaOCl y el tiempo de aplicación de este. En la Tabla I se presenta la frecuencia de grupos que utilizaron las diferentes concentraciones de NaOCl presentadas. Se puede observar que la concentración más utilizada fue de 2.5%, mientras que la menos aplicada fue de 2.25%.

Concentración (%)	Frecuencia	%
1	4	16,67%
3	2	8,33%
5	3	12,50%
2.25	1	4,17%
2.5	10	41,67%
5.25	4	16,67%
Total	24	100,00%

Tabla I. Concentraciones de NaOCl utilizadas, su frecuencia y porcentaje

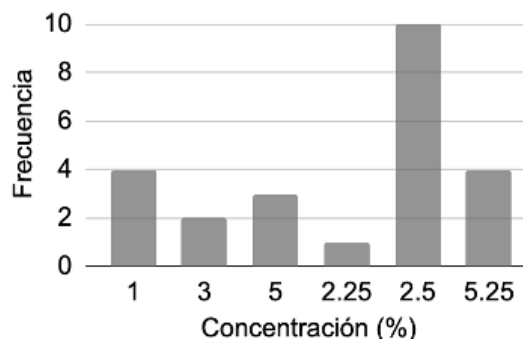


Fig. 13. Gráfico de Barras. Concentraciones de NaOCl utilizadas y su frecuencia

En la tabla II se presenta la frecuencia de los tiempos en que fue aplicado el NaOCl. Se puede observar que el tiempo más utilizado fue de 1 min, en un 25% de los grupos, en la misma cantidad de grupos, no se especificó el tiempo aplicado. Por su parte, los tiempos menos utilizados fueron de 2.5 y 1 minuto, ambos, en un 4,17% de los grupos.

Tiempo (min)	Frecuencia	%
0.5	2	8,33%
1	6	25,00%
1.5	2	8,33%
2	2	8,33%
2.5	1	4,17%
5	4	16,67%
10	1	4,17%
No especifica	6	25,00%
Total	24	100,00%

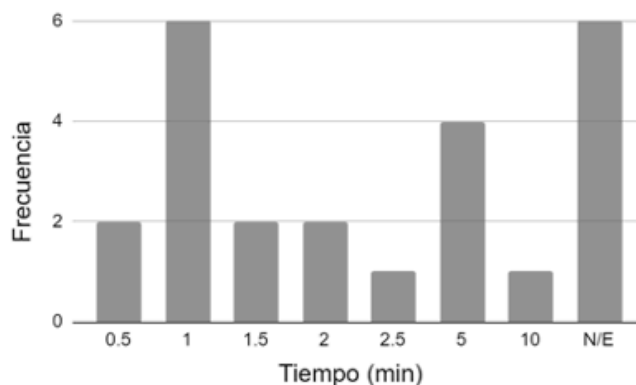


Tabla II. Distintos tiempos de uso de NaOCl, su frecuencia y porcentajes

Fig. 14. Gráfico de Barras. Tiempos de uso de NaOCl y su frecuencia. **N/E:** No especifica

I. Método de Aplicación Terapia fotodinámica

Durante la aplicación de la TFP, en el 100% de los grupos se utilizó una fibra óptica intraconducto al momento de la irradiación con la fuente de luz. Las variables estudiadas fueron las características del fotosensibilizador, características de la fuente de luz y los tiempos de pre-irradiación e irradiación empleados.

II.1 Características Fotosensibilizador (FS)

En la Figura 15 se muestran los tipos de fotosensibilizadores y la frecuencia en que fueron utilizados. El azul de metileno fue el más usado, en un 50% de los grupos, seguido por el azul de toluidina, utilizado en un 20.83% de estos (tabla III).

Tipo de FS	Frecuencia	%
Azul de metileno	12	50,00%
Azul de toluidina	5	20,83%
Verde de indocianina	3	12,50%
Cloruro de fenotiazina	2	8,33%
Clorina p6	2	8,33%
Total	24	100,00%

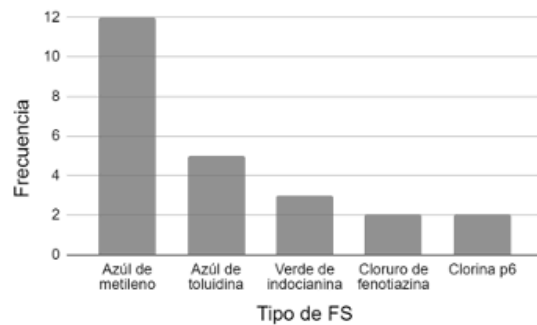


Tabla III. Tipos de Fotosensibilizadores utilizados, su frecuencia y porcentaje

Fig.15. Gráfico de barras. Fotosensibilizadores utilizados y su frecuencia

La tabla IV presenta la frecuencia y porcentaje de las distintas concentraciones del fotosensibilizador. Las concentraciones más utilizadas fueron 100 ug/ml y 15 ug/ml, de estas, como se puede observar en la figura 16, la concentración más utilizada fue de 100 ug/ml.

Concentración (ug/ml)	Frecuencia	%
10	2	8,33%
15	4	16,67%
25	2	8,33%
50	2	8,33%
100	10	41,67%
10.000	2	8,33%
No especifica	2	8,33%
Total	24	100,00%

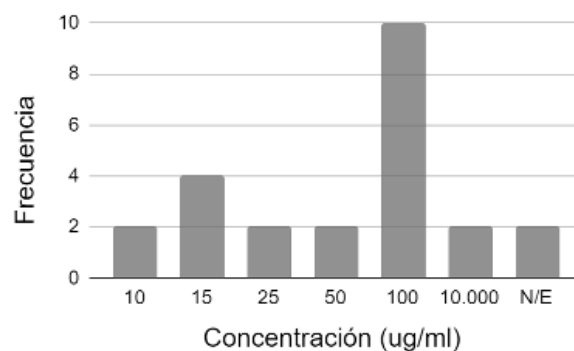


Tabla IV. Diferentes concentraciones de FS utilizadas, su frecuencia y porcentaje

Fig.16. Gráfico de Barras. Concentraciones de FS utilizadas y su frecuencia. **N/E:** No especificado

II.II Características de la Fuente de Luz

En la tabla V se observa la frecuencia del tipo de luz utilizada durante la terapia fotodinámica. Se utilizaron dos tipos de luz, siendo mayormente utilizado el láser de diodo en un 79,17% de los grupos.

Tipo de luz	Frecuencia	%
Láser de diodo	19	79,17%
Láser rojo e infrarrojo	5	20,83%
Total	24	100,00%

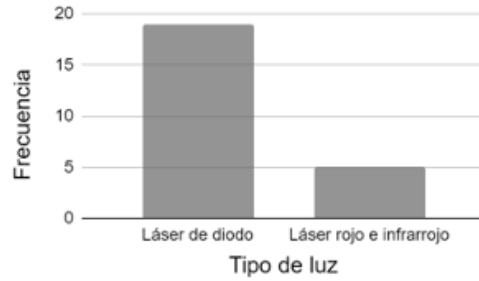


Tabla V. Diferentes Fuentes de Luz utilizadas, su frecuencia y porcentaje

Fig.17. Gráfico de barras. Fuentes de luz y su frecuencia.

La tabla VI muestra la frecuencia y porcentaje de las diferentes potencias de luz empleadas. En la figura 18, se gráfica que en 14 grupos emplearon una potencia de luz de 100 mW, siendo la más empleada.

Potencia (mW)	Frecuencia	%
40	1	4,17%
65	2	8,33%
100	14	58,33%
300	1	4,17%
400	1	4,17%
2000	2	8,33%
5000	2	8,33%
No especifica	1	4,17%
Total	24	100,00%



Tabla VI. Diferentes potencias de luz utilizadas, su frecuencia y porcentaje

Fig.18. Gráfico de barras. Potencias de luz utilizadas y su frecuencia. **N/E:** no especificado

La figura 19 especifica la frecuencia de las distintas longitudes de onda de luz empleadas en los grupos de estudio. De estas, destaca principalmente una longitud de 660 nm seguida de 675 nm, en un 33,33% y 16,67%, respectivamente (Tabla VII).

Longitud de onda (nm)	Frecuencia	%
630	1	4,17%
635	3	12,50%
650	1	4,17%
660	8	33,33%
665	1	4,17%
670	2	8,33%
675	4	16,67%
810	3	12,50%
980	1	4,17%
Total	24	100,00%

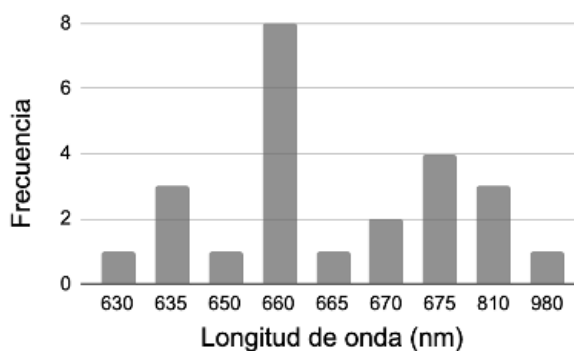


Tabla VII. Diferentes longitudes de onda utilizadas, su frecuencia y porcentaje.

Fig.19. Gráfico de barras. Longitudes de onda y su frecuencia.

II.III Tiempo de pre-irradiación

La figura 20 muestra la frecuencia de los tiempos de pre-irradiación utilizados, que fueron de 30 segundos a 15 minutos. Siendo los 5 min el tiempo de pre-irradiación más utilizado, en un 41,67% de los grupos, seguido de 2 min en un menor porcentaje (16,67%) (Tabla VII).

Tiempo Pre-irradiación (min)	Frecuencia	%
0.5	1	4,17%
1	3	12,50%
1.25	1	4,17%
2	4	16,67%
5	10	41,67%
10	2	8,33%
15	2	8,33%
No especifica	1	4,17%
Total	24	100,00%

Tabla VIII. Diferentes Tiempo de Pre-irradiación, su frecuencia y porcentaje

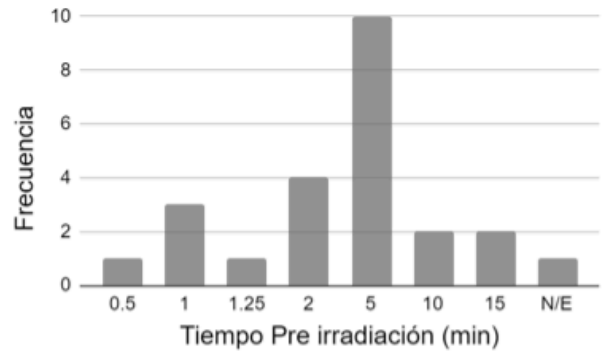


Fig. 20. Gráfico de barras. Tiempo de Pre-irradiación y su frecuencia. **N/E:** No especificado

II.IV Tiempo de Irradiación

El tiempo de irradiación empleado durante la TFD varió desde los 18 seg hasta los 4 min, como se observa en la figura 21. Los tiempos más empleados fueron 1 y 1.5 min, ambos utilizados en un 33,33% de los grupos, evidenciado en la tabla IX.

Tiempo Irradiación (min)	Frecuencia	%
0.3	1	4,17%
0.5	3	12,50%
0.67	1	4,17%
1	8	33,33%
1.5	8	33,33%
2	2	8,33%
4	1	4,17%
Total	24	100,00%

Tabla IX. Diferentes Tiempos de Irradiación, su frecuencia y porcentaje

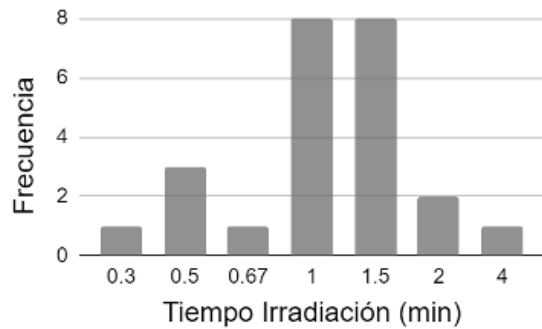


Fig. 21. Gráfico de barras. Tiempo de irradiación y su frecuencia

II. Resultados Principales

III.I Disminución del recuento bacteriano

Para comparar la efectividad del uso de la TFD como coadyuvante al tratamiento convencional con NaOCl y el uso de este mismo irrigante por sí solo; se determinó para cada grupo, el porcentaje de disminución del recuento bacteriano mediante Unidades formadoras de colonias. Mientras que, en un solo grupo, se determinó mediante la posición del microorganismo dentro del conducto radicular (tercio cervical, medio o apical), visto con microscopio electrónico de barrido.

En la figura 13 se puede observar los porcentajes de disminución del recuento bacteriano para cada grupo. En la mayoría de los grupos, el porcentaje de disminución bacteriana se encuentra en el rango del 80 al 100%, tanto al utilizar NaOCl por sí solo, como al aplicarlo con la TFD. Sin embargo, este rango de disminución se da en 9 grupos al emplear sólo NaOCl y en 16 grupos al complementar este con TFD.

Al comparar los porcentajes de disminución bacteriana de cada grupo, se observa que en 23 de estos existe un porcentaje mayor de disminución cuando es usada la TFD

como coadyuvante del NaOCl en el tratamiento endodóntico. En el grupo restante, la disminución frente a ambos procedimientos fue idéntica.

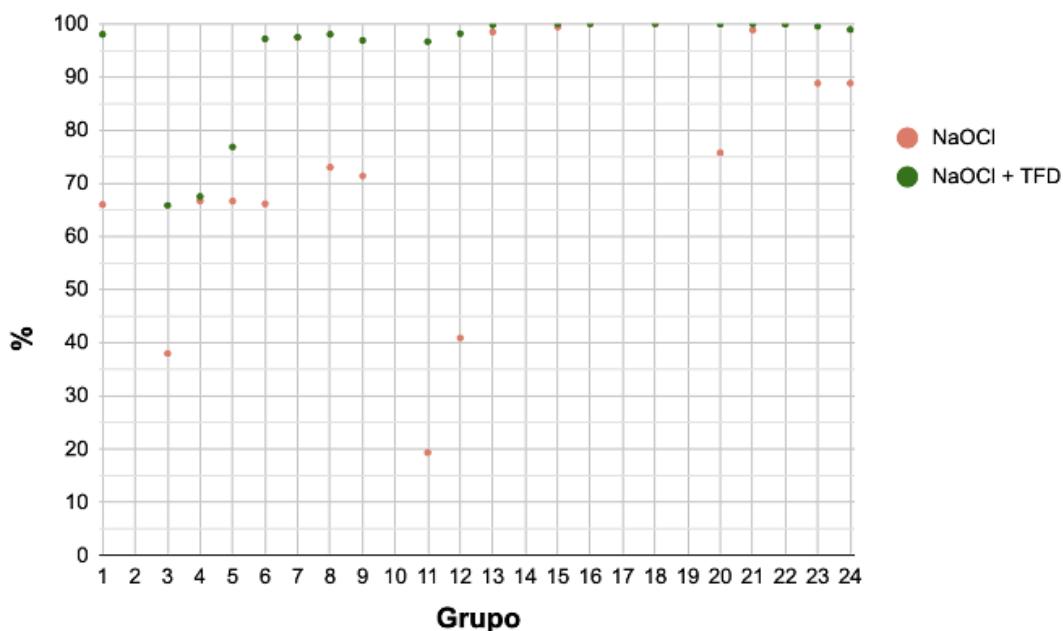


Fig. 22. Gráfico de dispersión. Porcentaje de disminución del recuento bacteriano, por grupo, de NaOCl y de NaOCl + TFD.

III.II Significancia Estadística

Se determinó en cada grupo la significancia estadística respecto del porcentaje de la disminución del recuento bacteriano, tanto al usar solamente NaOCl como al emplearlo junto con la TFD. En el 100% de los grupos se observó significancia estadística en las situaciones anteriormente mencionadas. Sin embargo, al comparar la disminución bacteriana entre estas variables, en un 41,67% de los grupos existieron diferencias estadísticamente significativas (tabla X).

Significancia Estadística ($p < 0.05$)	↓ NaOCl v/s NaOCl + TFD Sí		↓ NaOCl v/s NaOCl + TFD No	
	<i>Sí</i>	10	41,67%	0
<i>No</i>	9	37,50%	0	0,00%
<i>No especifica</i>	5	20,83%	0	0,00%
Nº total Grupos	24	100,00%	0	0,00%

Tabla X. Significancia estadística de la disminución del recuento bacteriano.

Publicación	Nº Grupo	Método de aplicación NaOCl			Características Fotosensibilizador		Características Fuente de Luz			Método de aplicación TFD			Método de Recuento bacteriano	Resultados Principales (Disminución Recuento Bacteriano)			Variables significativas/ no significativas		
		[NaOCl] %	Cantidad (ml)	T° NaOCl (min)	FS utilizado	[FS] (µg/ml)	Tipo de luz	Potencia (mW)	Longitud de onda (nm)	T° pre-irradiación (min)	T° irradiación (min)	Uso Fibra óptica		↓ % post NaOCl	↓ % post NaOCl + TFD %	Mayor ↓ post NaOCl+TFD	Uso NaOCl	Uso NaOCl + TFD	NaOCl v/s NaOCl + TFD
Olivi M, et al. 2021 ⁴²	1	5	5	0.5	Azul de toluidina	N/E	Láser de diodo	400	635	5	1	Sí	UFC	66	98	Sí	Sí	Sí	Sí
Ghorbanzadeh A, et al. 2020 ⁴³	2	5.25	3	5	Verde de indocianina	N/E	Láser de diodo	300	810	N/E	0.67	Sí	UFC	N/E	N/E	Sí	Sí	Sí	Sí
Neves G. de V, et al. 2020 ⁴⁴	3	2.5	1.5	1	Azul de metileno	50	Láser de diodo	100	660	5	1.5	Sí	UFC	38	65.85	Sí	Sí	Sí	Sí
Tenore G, et al. 2020 ⁴⁵	4	5	N/E	1	Azul de toluidina	15	Láser de diodo	100	635	0.5	0.5	Sí	UFC	66.67	67.5	Sí	Sí	Sí	No
Tenore G, et al. 2020 ⁴⁵	5	5	N/E	1	Azul de toluidina	15	Láser de diodo	100	635	2	0.5	Sí	UFC	66.67	76.84	Sí	Sí	Sí	No
Souza MA, et al. 2020 ⁴⁶	6	1	5	5	Azul de metileno	100	Láser rojo e infrarrojo	100	675	5	1.5	Sí	UFC	66.14	97.16	Sí	N/E	N/E	N/E
Souza MA, et al. 2020 ⁴⁶	7	5.25	5	5	Azul de metileno	100	Láser rojo e infrarrojo	100	675	5	1.5	Sí	UFC	97.37	97.49	Sí	N/E	N/E	No
Sarda RA, et al. 2019 ⁴⁷	8	3	3	10	Azul de metileno	25	Láser de diodo	2000	660	5	0.3	Sí	UFC	73	98	Sí	Sí	Sí	Sí
Zorita-García M, et al. 2019 ⁴⁸	9	5.25	5	N/E	Azul de toluidina	100	Láser de diodo	2000	630	2	1	Sí	UFC	71.39	96.86	Sí	Sí	Sí	Sí
Santa Rosa SS, et al. 2019 ⁴⁹	10	2.5	2	1	Azul de metileno	50	Láser rojo e infrarrojo	40	660	5	1	Sí	UFC	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E	N/E

Souza MA, et al. 2018 ⁵⁰	11	1	5	N/E	Azul de metileno	100	Láser rojo e infrarrojo	100	675	5	1.5	Sí	UFC	19.36%	96.64	Sí	Sí	Sí	Sí
Souza MA, et al. 2018 ⁵⁰	12	2.5	5	N/E	Azul de metileno	100	Láser rojo e infrarrojo	100	675	5	1.5	Sí	UFC	40.91	98.14	Sí	Sí	Sí	Sí
Batinić M, et al. 2018 ⁵¹	13	2.5	2	0.5	Cloruro de fenotiazina	10.000	Láser de diodo	100	660	1	1	Sí	UFC	98.43	99.76	Sí	Sí	Sí	No
Hoedke D, et al. 2018 ⁵²	14	1	2	N/E	Cloruro de fenotiazina	10.000	Láser de diodo	100	660	1	1	Sí	UFC	N/E	N/E	Sí	Sí	Sí	No
da Rosa RA, et al. 2017 ⁵³	15	2.5	5	5	Azul de metileno	100	Láser de diodo	100	650	1	1	Si	UFC	99.4	100	Sí	Sí	N/E	No
Beltes C, et al. 2017 ⁵⁴	16	2.5	10	2	Verde de indocianina	100	Láser de diodo	5000	810	15	1	Sí	UFC	99.99	99.99	Sí	Sí	Sí	Sí
Balakrishna N, et al. 2017 ⁵⁵	17	2.25	20	2	Azul de toluidina	100	Láser de diodo	100	980	1.25	2	Sí	UFC	N/E	N/E	Sí	Sí	Sí	Sí
Beltes C, et al. 2016 ⁵⁶	18	2.5	N/E	1	Verde de indocianina	100	Láser de diodo	5000	810	15	1	Sí	UFC	100	100	Sí	N/E	N/E	N/E
Souza MA, et al. 2016 ⁵⁷	19	2.5	2	1	Azul de metileno	100	Láser de diodo	100	660	5	1.5	Si	SEM	N/E	N/E	Sí	Si	Sí	No
Susila AV, et al. 2015 ⁵⁸	20	3	2.5	2.5	Azul de metileno	25	Láser de diodo	N/E	665	5	0.5	Si	UFC	75.74	99.92	Sí	Si	Sí	Sí
Oliveira BP, et al. 2015 ⁵⁹	21	1	10	1.5	Azul de metileno	15	Láser de diodo	100	660	2	1.5	Si	UFC	98.81	99.97	Sí	Sí	Sí	No
Oliveira BP, et al. 2015 ⁵⁹	22	5.25	10	1.5	Azul de metileno	15	Láser de diodo	100	660	2	1.5	Si	UFC	99.96	99.9	Sí	Sí	Sí	No

Mohan D, et al. 2015 ⁶⁰	23	2.5	10	N/E	Clorina p6	10	Láser de diodo	65	670	10	4	Si	UFC	88.80	99.50	Sí	Sí	Sí	N/E
Mohan D, et al. 2015 ⁶⁰	24	2.5	10	N/E	Clorina p6	10	Láser de diodo	65	670	10	2	Si	UFC	88.80	98.89	Sí	Sí	Sí	N/E

Tabla XI: Resumen de las variables de cada investigación incluida. **UFC:** Unidad Formadora de Colonias, **N/E:** No especificado

Discusión

En el tratamiento endodóntico convencional, la irrigación es un procedimiento esencial que debe estar presente durante toda la terapia endodóntica. Actualmente, el irrigante más utilizado y considerado el “Gold standard” es el Hipoclorito de sodio²¹⁻⁴³, el cual junto a la limpieza mecánica de los conductos, es fundamental en la eliminación de los microorganismos²⁻¹⁷. Sin embargo, se ha demostrado que existen bacterias que pueden ser resistentes a estos mecanismos de limpieza, como es el caso del *Enterococcus Faecalis*⁸⁻²⁹⁻³¹ el cual ha sido ampliamente aislado y localizado en Tratamientos Endodónticos Fallidos⁴³⁻⁴⁴⁻⁴⁵.

Con el fin de buscar alternativas que disminuyan las tasas de fracasos endodónticos, diversos artículos han estudiado la efectividad de la Terapia Fotodinámica en la desinfección intraconducto durante el tratamiento endodóntico, los cuales han concluido que su uso logra una reducción significativa de la carga bacteriana⁶¹⁻⁶²⁻⁶³.

En base a esto, y a la literatura publicada, el objetivo de esta revisión fue comparar la carga microbiana de *Enterococcus faecalis* posterior al uso de la TFD como coadyuvante del NaOCl y el uso de este mismo por sí solo, durante el tratamiento endodóntico convencional.

Al analizar el método de aplicación del NaOCl, un 41,67% de los estudios utilizó una concentración de NaOCl al 2.5%, seguido por una concentración al 5.25%. Una mayor utilización de NaOCl de baja concentración, puede explicarse gracias al resultado de estudios in-vitro que han demostrado que la exposición a largo plazo de la dentina a una alta concentración de NaOCl puede tener un efecto perjudicial sobre la elasticidad y la resistencia flexural de la dentina⁶⁴. Por su parte, un estudio de Berber et al que evaluaba la eficacia de estas distintas concentraciones, demostró que si bien ambas lograban una significativa reducción de la carga bacteriana, existía una mayor reducción al utilizar una mayor concentración de la solución⁶⁵. Sin embargo, Suer et al⁶⁶ demostró que al utilizar ambas concentraciones en complemento a una terapia de láser, ambas presentaron la

misma disminución de carga bacteriana, por esta razón los autores sugieren realizar una irrigación más segura con una concentración más baja de NaOCl.

Respecto al tiempo de irrigación, un 25% de los artículos no especificaba el tiempo que utilizaba el NaOCl, mientras que los restantes presentaban una gran variabilidad, yendo desde los 30 segundos hasta los 10 minutos. Un estudio in-vitro de Retamozo et al demostró que el tiempo necesario para eliminar completamente el *E. Faecalis* de los conductos radiculares es de 40 minutos, empleando NaOCl al 5.25%. Con esto concluyó que tanto el tiempo como la concentración de NaOCl son directamente proporcionales a la eficacia antimicrobiana del irrigante⁶⁷.

Existen además otros factores que influyen en la eficacia anteriormente mencionada, como la periodicidad de la irrigación y la instrumentación mecánica de los conductos en el Tratamiento Endodóntico Convencional, asimismo afirma Rosa R.A.D. et al., la TFD debe realizarse después de la preparación completa del conducto radicular y no por sí sola⁵³. Otro factor es el uso de otras soluciones irrigantes complementarias, como el Ácido Etilendiamino Tetraacético, también conocido como EDTA, el cual es necesario para remover el smear layer y así conseguir una mejor limpieza y desinfección del sistema de conductos⁶⁴.

Para llevar a cabo la Terapia Fotodinámica, es necesario la aplicación de un compuesto fotosensibilizante, el cual debe ser posteriormente activado³². De los artículos revisados, el 50% de ellos utilizó el azul de metileno, según demuestra Garcez et al, existe un consenso sobre el uso de esta fenotiazina en endodoncia debido a su estado de aprobación regulatoria mundial y sus propiedades no tóxicas⁶⁸. El azul de metileno, según Jiang et al, juega un papel importante en la inducción a la apoptosis, la forma más común de muerte celular causada por la TFD⁶⁹. Si bien, aún faltan investigaciones que estudien la TFD y sus componentes en endodoncia, Derikvand et al, indica que la aplicación de azul metileno como FS al tratar cuadros de periodontitis muestra resultados estadísticamente significativos de mejoría luego de aplicar esta terapia como coadyuvante del tratamiento periodontal convencional⁷⁰.

Por su parte, un 20.83% de los artículos utilizaron azul de toluidina. En un estudio realizado por Mozayeni et al, el cual comparó la aplicación de azul de toluidina, azul de metileno y curcumina en la TFD como coadyuvante del tratamiento endodóntico convencional, el azul de toluidina como fotosensibilizante mejoró la eficacia del NaOCl para reducir las UFC de *E. faecalis*⁷¹. Aunque los usos más otorgados para esta molécula, según lo indica Vidal et al, son como tinción en el ámbito de la investigación biológica⁷².

Para activar el fotosensibilizador, se debe aplicar una fuente de luz sobre el; de los artículos revisados, un 100% utilizó algún tipo de láser para lograrlo. De este 100%, un 79,17% empleó láser de diodo y el resto, láser rojo e infrarrojo. Esto puede deberse a las características propias de esta fuente de luz, como su monocromaticidad, alta potencia óptica y una longitud de onda que puede controlarse para que corresponda a un fotosensibilizador específico¹¹⁻⁷³⁻⁷⁴. Sumado a lo anterior, la luz láser en la porción roja media del espectro visible, presenta longitudes de onda que proporcionan la mayor penetración en la dentina y también pueden penetrar en la sangre que pueda estar presente⁷⁵. Además, pueden acoplarse fácilmente a una fibra óptica y montarse en diferentes dispositivos de entrega de luz¹¹⁻⁷³⁻⁷⁴, lo cual facilita la conducción de la luz a lo largo del conducto radicular; sin embargo, tiene un costo elevado¹¹.

Por otro lado, el tiempo de pre-irradiación, que corresponde al tiempo transcurrido entre la entrega del FS en el sistema de conductos radiculares y la fotoactivación, es un factor clave en la TFD, ya que permite que el FS penetre a través de la dentina y ejerza su efecto antibacteriano, además de ayudar a mantener el FS dentro de los microorganismos, permitiendo una mayor absorción de la luz¹¹⁻⁷⁶. En los artículos revisados existía una gran variabilidad de tiempos empleados, los cuales iban desde 30 seg. hasta 15 minutos. En un estudio de Silva et al, en el cual evaluó la efectividad de la TFD con tres tiempos de pre-irradiación distintos (1, 2 y 5 min) para la eliminación de *S. mutans* y *C. albicans*; se observó que no había diferencias estadísticamente significativas en la reducción del número de microorganismos entre los distintos tiempos aplicados⁷⁷. Resultados similares obtuvo un estudio de Fumes A et al, donde no se observaron diferencias en los tiempos

de pre irradiación sobre la biopelícula de *C. albicans* y concluyó que durante este tipo de tratamiento, un tiempo de pre irradiación de 1 minuto puede ser suficiente para reducir el número de unidades formadoras de colonias de *S. mutans*⁷⁶.

Con respecto al tiempo de irradiación, también existe una variación dentro de los artículos analizados, la cual iba desde los 18 seg hasta los 4 min, siendo 1 min y 1 min con 30 seg, los mayormente empleados. Esta variabilidad puede deberse a que actualmente no existen estudios y menos aún un protocolo de aplicación de la TFD y sus componentes en endodoncia. Es importante que este protocolo pueda establecerse y también así los tiempos de irradiación, ya que como indica Trindade et al, la energía total aplicada al FS puede interferir con las reacciones químicas y la liberación de ROS, cambiando incluso el resultado de la TFD⁷⁸. Es importante además lograr este consenso, ya que como Plotino et al. plantea; la dosis de energía y el tiempo de irradiación de la luz son los factores más importantes para eliminar los microorganismos mediante la TFD¹¹.

Para determinar el porcentaje de disminución del recuento bacteriano, se utilizó el recuento de UFC en todos los artículos menos en 1, el cual optó por medir esta variable a través de la ubicación de los microorganismos en el conducto radicular, mediante el microscopio electrónico de barrido. El recuento de UFC, se ha considerado como el Gold Standard para la evaluación de la eficacia antimicrobiana de diversos métodos y ha sido aplicado en numerosos estudios in vitro e in vivo⁵¹⁻⁵²⁻⁷⁹⁻⁸⁰⁻⁸¹; sin embargo, debido a la baja sensibilidad del método, la ausencia de crecimiento bacteriano no significa necesariamente la esterilidad de la muestra, sino que puede deberse a un número insuficiente de bacterias⁵¹. Por su parte, Souza et al explica que la técnica de recuento bacteriano con microscopio electrónico de barrido permite una mejor visualización de los microorganismos en áreas anatómicas complejas, además, la evaluación en la pared del canal y en el área de los túbulos expuestos permite una demostración real del efecto de los tratamientos, ya que una descontaminación eficiente debe cubrir también los microorganismos que penetran en la profundidad de los túbulos dentinarios⁵⁷. Por esta razón, sería importante evaluar la utilización del microscopio electrónico de barrido para ver la efectividad de los tratamientos en futuros estudios que se puedan realizar.

En la mayoría de los grupos analizados, el porcentaje de disminución bacteriana se encuentra en el rango del 80 al 100%, tanto al utilizar NaOCl por sí solo, como al aplicar la TFD como coadyuvante. Este rango de disminución se da en 9 grupos al emplear NaOCl por sí sólo, y en 16 grupos al complementar este con TFD. Cabe destacar que en 23 de los grupos hubo un porcentaje de disminución bacteriana mayor cuando se utilizó la TFD como adyuvante en comparación al uso de NaOCl por sí sólo, y en 1 grupo este porcentaje no tuvo diferencias. De este resultado, en un 41,67% de los grupos hubo diferencias estadísticamente significativas, al comparar la disminución bacteriana entre estas variables.

Estudios In-vitro, como el de Souza et al, plantean que la efectividad de la aplicación de TFD como coadyuvante del tratamiento endodóntico convencional puede deberse al hecho de que la instrumentación químico mecánica promueve la ruptura de la biopelícula, desestructurando y volviéndola más susceptible a la TFD⁴⁶.

Por su parte, este mismo autor, atribuye este porcentaje de disminución con la TFD, al potencial de la TFD de neutralizar patógenos endodónticos cuando se asocia con procedimientos de desinfección convencionales⁵⁰. Asimismo, Oliveira et al, manifiesta la mayor susceptibilidad de *E. Faecalis* a la acción de la TFD en comparación con bacterias Gram negativas⁵⁹; a diferencia de lo que ocurre al utilizar NaOCl; ya que se ha descrito un mayor grado de resistencia a este, incluso a concentraciones superiores al 5%⁸⁻²⁹. La mayor susceptibilidad a la TFD ocurre debido a las diferencias estructurales y de composición que existen entre estos microorganismos, ya que las bacterias Gram positivas poseen una membrana externa relativamente más porosa que las Gram negativas, lo que permite una mayor difusión del fotosensibilizador al interior de la célula⁵⁹.

Así también, Sarda R.A. et al, afirman que la TFD en combinación con hipoclorito de sodio ofrece muchas ventajas, como la rápida penetración del FS en el conducto radicular lo que conduce a una completa penetración de este en la biopelícula y los túbulos dentinarios; sumado a una baja penetración y citotoxicidad del FS y a la ausencia de efectos térmicos secundarios de la luz en el hueso y ligamento periodontal adyacentes⁴⁷.

No obstante, para obtener los mejores resultados, el fotosensibilizador debe ser excitado eficazmente por la fuente de luz, y tanto el FS como la luz deben alcanzar toda la zona del conducto radicular por completo⁵⁷⁻⁵⁹. Ghinzelli et al., en un estudio In-Vitro, comparó el método habitual de entrega del FS con la entrega de este a través de la activación ultrasónica, concluyendo que en efecto este último método logra mejores resultados, ya que se obtiene una mejor neutralización del *Enterococcus faecalis*⁵³⁻⁵⁷⁻⁸². Esto se sustenta gracias a la capacidad del dispositivo ultrasónico para crear ondas lo cual proporciona una mejor entrega del fotosensibilizador a lo largo de todas las áreas del espacio del conducto radicular, y si es que este dispositivo es utilizado además al momento de depositar las soluciones de irrigación, podría ayudar a la posterior adherencia del FS a la pared celular bacteriana⁵⁷.

Resultados similares a los de esta revisión se encontraron en un estudio clínico controlado aleatorizado (ECCA) de García de Miranda R et al, en el cual compararon los efectos clínicos (cicatrización periapical) y microbiológicos (reducción y/o eliminación de microorganismos) de ambas terapias en dientes necróticos con periodontitis apical durante un periodo de 6 meses de seguimiento post-tratamiento. Concluyendo que, la terapia endodóntica convencional con o sin TFD condujo a una disminución significativa de microorganismos y ambas terapias promovieron un aumento de la cicatrización periapical a lo largo del tiempo, pero la TFD dio lugar a una mejor cicatrización a los 6 meses de seguimiento en comparación con el tratamiento endodóntico convencional por sí sólo⁸³.

Conclusión

Los estudios de esta revisión demuestran cómo la Terapia fotodinámica es cada vez más estudiada en el campo de la Odontología, específicamente la Endodoncia. Al analizar la disminución de la carga bacteriana de *E. Faecalis*, esta fue significativa, tanto al aplicar el Tratamiento endodóntico convencional por sí sólo, como al utilizar la TFD luego de la irrigación con NaOCl. Así mismo, luego de comparar la disminución en ambos tratamientos, un 95.8% de los grupos tuvo mayor reducción luego de aplicar la TFD como coadyuvante. Por lo tanto, esta revisión demuestra que la TFD es un complemento efectivo del tratamiento endodóntico convencional.

La TFD fue efectiva independiente del tipo de aplicación de los elementos que la componen, es decir, del tipo de fotosensibilizador, tipo de luz o tiempos empleados, así como también de la concentración y tiempo de utilización del NaOCl. Sin embargo, se pudo identificar que el FS más utilizado corresponde al Azul de Metileno y la fuente de luz, al láser de Diodo. La diversidad en los métodos de aplicación de la TFD, se debe a que aún no existen parámetros definidos en cuanto a la fuente de luz y al agente fotosensibilizador. Se sugiere que en base a esta revisión se establezca un protocolo claro, bien definido y replicable del uso de la TFD, para alcanzar así, la mayor eficacia posible.

Por otro lado, esta revisión evidencia que si bien se están realizando cada vez más estudios que evalúan la TFD como coadyuvante del tratamiento endodóntico convencional, estos en su mayoría son estudios in-vitro, en este caso específicamente, un 94.7% de los artículos incluidos. Es por esta razón, que los resultados de esta revisión no pueden ser extrapolados a un ámbito clínico y se sugiere el desarrollo de investigaciones clínicas que promuevan la evidencia científica necesaria para la aplicación de esta nueva alternativa de tratamiento para lograr una desinfección más profunda del SCR.

Bibliografía

1. Chugal N, Mallya SM, Kahler B, Lin LM. Endodontic treatment outcomes. *Dent Clin North Am.* 2017 Ene;61(1):59-80.
2. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006 May; 32(5):389-98.
3. Fedorowicz Z, Nasser M, Sequeira-Byron P, de Souza RF, Carter B, Heft M. Irrigants for non-surgical root canal treatment in mature permanent teeth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012 Sep 12;(9):CD008948.
4. Dioguardi M, Di Gioia G, Illuzzi G, Laneve E, Cocco A, Troiano A. Endodontic irrigants: different methods to improve efficacy and related problems. *Eur J Dent.* Jul-Sep 2018;12(3):459-466.
5. Fransson H, Larsson KM, Wolf E. Efficacy of lasers as an adjunct to chemo-mechanical disinfection of infected root canals: a systematic review. *Int Endod J.* 2013 Abr;46(4):296-307.
6. Paqué F, Boessler c, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J.* 2011 Feb; 44(2):148-53.
7. Chavez De Paz LE, Dahlén G, Molander A, Möller A, Bergenholtz G. Bacteria recovered from teeth with apical periodontitis after antimicrobial endodontic treatment. *Int Endod J.* 2003 Jul;36(7):500-8.
8. Dioguardi M, Di Gioia G, Illuzzi G, Arena C, Caponio VCA, Caloro GA, et al. Inspection of the Microbiota in Endodontic Lesions. *Dent J (Basel).* 2019 May 1;7(2):47.
9. Siqueira JrJF, Rocas IN. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: a quest for predictability. *Aust Endod J.* 2011 Dic;37(3):92-8.
10. Gursoy H, Ozcakil-Tomruk C, Tanalp J, Yilmaz S. Photodynamic therapy in dentistry: a literature review. *Clin Oral Investig.* 2013 May;17(4):1113-25.
11. Plotino G, Grande NM, Mercade M. Photodynamic therapy in endodontics. *Int Endod J.* 2019 Jun;52(6):760-774.

12. Garcez AS, Arantes-Neto JG, Sellera DP, Fregnani ER. Effects of antimicrobial photodynamic therapy and surgical endodontic treatment on the bacterial load reduction and periapical lesion healing. Three years follow up. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2015 Dec;12(4):575-80.
13. Hargreaves KM, Cohen S, Berman LH. *Cohen Vías de la Pulpa.* 10a edición, Barcelona: Elsevier; 2011.
14. Ahmed HMA, Versiani MA, De-Deus G, Dummer PMH. A new system for classifying root and root canal morphology. *Int Endod J.* 2017 Aug;50(8):761-770.
15. Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endod Topics.* 2005 Aug; 10(1):3-29.
16. Canalda C; Brau E. *Endodoncia, Técnicas clínicas y Bases científicas.* 3º Edición. Barcelona, España: Elsevier Masson; 2014.
17. Soares IJ, Goldberg F. *Endodoncia, Técnica y fundamentos.* 3º Edición. Buenos Aires, Argentina: Editorial Panamericana; 2003.
18. Cardona-Castro JA, Fernández-Grisaies R. Anatomía radicular, una mirada desde la microcirugía endodóntica: Revisión. *CES odontol.* 2015 Dec;28(2): 70-99.
19. Oporto V, Gonzalo H, Fuentes F, Ramón E, Soto P, Camila C. Variaciones Anatómicas Radiculares y Sistemas de Canales. *Int. J. Morphol.* 2010 Sep; 28(3): 945-950.
20. Fransson H, Larsson KM, Wolf E. Efficacy of lasers as an adjunct to chemo-mechanical disinfection of infected root canals: a systematic review. *Int Endod J.* 2013 Apr;46(4):296-307.
21. Paqué F, Boessler C, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J.* 2011 Feb;44(2):148-53.

22. Kawashima N, Wadachi R, Suda H, Yeng T, Parashos P. Root canal medicaments. *Int Dent J.* 2009 Feb;59(1):5-11.
23. Fedorowicz Z, Keenan JV, Farman AG, Newton T. Antibiotic use for irreversible pulpitis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2005 Apr 18; (2):CD004969.
24. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *Eur J Dent.* 2016; 10:144-7.
25. Iandolo A, Dagna A, Poggio C, Capar I, Amato A, Abdellatif D. Evaluation of the actual chlorine concentration and the required time for pulp dissolution using different sodium hypochlorite irrigating solutions. *J Conserv Dent.* 2019 Mar-Apr;22(2):108-113.
26. Kandaswamy D, Venkateshbabu N. Root canal irrigants. *J Conserv Dent* 2010 Nov;13(4):256-64.
27. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Habahbeh N, Qualtrough A, Worthington H, et al. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J.* 2004 Jul;37(7): 8-46.
28. Abusrewil S, Alshanta OA, Albashaireh K, Alqahtani S, Nile CJ, Scott JA, McLean W. Detection, treatment and prevention of endodontic biofilm infections: what's new in 2020? *Crit Rev Microbiol.* 2020 Mar;46(2):194-21
29. Khalifa L, Shlezinger M, Beyth S, Houry-Haddad Y, Copenhagen-Glazer S, Beyth N, et al. Phage therapy against *Enterococcus faecalis* in dental root canals. *J Oral Microbiol.* 2016 Sep 16; 8:32157.
30. Ali L, Goraya MU, Arafat Y, Ajmal M, Chen JL, Yu D. Molecular Mechanism of Quorum-Sensing in *Enterococcus faecalis*: Its Role in Virulence and Therapeutic Approaches. *Int J Mol Sci.* 2017 May 3;18(5):960
31. Alghamdi F, Shakir M. The Influence of *Enterococcus faecalis* as a Dental Root Canal Pathogen on Endodontic Treatment: A Systematic Review. *Cureus.* 2020 Mar 13;12(3):e7257.
32. Kwiatkowski S, Knap B, Przystupski D, Saczko J, Kędzierska E, Knap-Czop K, Kotlińska J, Michel O, Kotowski K, Kulbacka J. Photodynamic therapy -

- mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother.* 2018 oct; 106:1098-1107
33. Konopka K, Goslinski T. Photodynamic therapy in dentistry. *J Dent Res.* 2007 Aug;86(8):694-707.
34. Lyon JP, Moreira LM, de Moraes PC, dos Santos FV, de Resende MA. Photodynamic therapy for pathogenic fungi. *Mycoses.* 2011 Sep;54(5):e265-71.
35. Nagata JY, Hioka N, Kimura E, Batistela VR, Terada RS, Graciano AX, et al. Antibacterial photodynamic therapy for dental caries: evaluation of the photosensitizers used and light source properties. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2012 Jun;9(2):122-31.
36. Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang CY, Koshy G, Romanos G, Ishikawa I, Izumi Y. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. *Periodontol 2000.* 2009; 51:109-40.
37. Nagata JY, Hioka N, Kimura E, Batistela VR, Terada RS, Graciano AX, et al. Antibacterial photodynamic therapy for dental caries: evaluation of the photosensitizers used and light source properties. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2012 Jun;9(2):122-31.
38. Wilson BC, Patterson MS. The physics, biophysics and technology of photodynamic therapy. *Phys Med Biol.* 2008 May 7;53(9):R61-109.
39. Stájer A, Kajári S, Gajdács M, Musah-Eroje A, Baráth Z. Utility of Photodynamic Therapy in Dentistry: Current Concepts. *Dent J (Basel).* 2020 May 7;8(2):43
40. Takasaki AA, Aoki A, Mizutani K, Schwarz F, Sculean A, Wang CY, Koshy G, Romanos G, Ishikawa I, Izumi Y. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and peri-implant diseases. *Periodontol 2000.* 2009;51:109-40.
41. Schneider M, Kirfel G, Berthold M, Frentzen M, Krause F, Braun A. The impact of antimicrobial photodynamic therapy in an artificial biofilm model. *Lasers Med Sci.* 2012 May;27(3):615-20.
42. Olivi M, Raponi G, Palaia G, Berlutti F, Olivi G, Valentini E, et al. Disinfection of Root Canals with Laser-Activated Irrigation, Photoactivated Disinfection, and

- Combined Laser Techniques: An Ex Vivo Preliminary Study. *Photobiomodul Photomed Laser Surg.* 2021 Jan;39(1):62-69.
43. Ghorbanzadeh A, Bahador A, Sarraf P, Ayar R, Fekrazad R, Asefi S. Ex vivo comparison of antibacterial efficacy of conventional chemomechanical debridement alone and in combination with light-activated disinfection and laser irradiation against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Mar; 29:101648.
44. Neves G de V, Santos KSA dos, Rocha EAL de SS, Moura RQ de, Barros DGM, Gominho LF, et al. Antibacterial Effect of Photodynamic Therapy on Root Canal Disinfection Combined with Different Irrigation Protocols. *Iranian Endodontic Journal.* 15, 2 (May 2020), 90-95.
45. Tenore G, Palaia G, Migliau G, Mohsen A, Rocchetti F, Gaimari G, et al. Evaluation of Photodynamic Therapy Using a Diode Laser 635 nm as an Adjunct to Conventional Chemo-Mechanical Endodontic Procedures against *Enterococcus faecalis* Biofilm: Ex-Vivo Study. *Applied Sciences.* 2020; 10(8):2925.
46. Souza MA, Lago BLT, Pletsch A, Binotto A, Poletti A, Rodrigues FT, et al. Association of calcium hypochlorite, reciprocating instrumentation and photodynamic therapy: Antimicrobial analysis and effects on root dentin structure. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Mar; 29:101625.
47. Sarda RA, Shetty RM, Tamrakar A, Shetty SY. Antimicrobial efficacy of photodynamic therapy, diode laser, and sodium hypochlorite and their combinations on endodontic pathogens. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2019 Dec; 28:265-272.
48. Zorita-García M, Alonso-Ezpeleta LÓ, Cobo M, Del Campo R, Rico-Romano C, Mena-Álvarez J, Zubizarreta-Macho Á. Photodynamic therapy in endodontic root canal treatment significantly increases bacterial clearance, preventing apical periodontitis. *Quintessence Int.* 2019;50(10):782-789.
49. Santa-Rosa C, Araújo C, Figueiredo de Carvalho M, Valente P. Estudo piloto da análise comparativa da atividade antimicrobiana da PDT e agentes irrigantes em canais radiculares inoculados com *Enterococcus faecalis* "in vitro". *Arq. odontol;* 55: 1-8, jan.-dez. 2019.

50. Souza MA, Tumelero Dias C, Zandoná J, Paim Hoffmann I, Sanches Menchik VH, Palhano HS, Bertol CD, Rossato-Grando LG, Cecchin D, de Figueiredo JAP. Antimicrobial activity of hypochlorite solutions and reciprocating instrumentation associated with photodynamic therapy on root canals infected with *Enterococcus faecalis* - An in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2018 Sep;23:347-352.
51. Batinić M, Ročan M, Budimir A, Anić I, Bago I. Comparison of final disinfection protocols using antimicrobial photodynamic therapy and different irrigants after single-file reciprocating instrumentation against intracanal bacterial biofilm - An in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2018 Dec; 24:153-157.
52. Hoedke D, Enseleit C, Gruner D, Dommisch H, Schlafer S, Dige I, Bitter K. Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo. *Int Endod J*. 2018 Jan;51 Suppl 1: e23-e34.
53. Rosa RAD, Santini MF, Figueiredo JAP, Visioli F, Pereira JR, Vivan RR, Montagner F, Só MVR. Effectiveness of photodynamic therapy associated with irrigants over two biofilm models. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2017 Dec; 20:169-174.
54. Beltes C, Economides N, Sakkas H, Papadopoulou C, Lambrianidis T. Evaluation of Antimicrobial Photodynamic Therapy Using Indocyanine Green and Near-Infrared Diode Laser Against *Enterococcus faecalis* in Infected Human Root Canals. *Photomed Laser Surg*. 2017 May;35(5):264-269.
55. Balakrishna N, Moogi P, Kumar GV, Prashanth BR, Shetty NK, Rao KR. Effect of conventional irrigation and photoactivated disinfection on *Enterococcus faecalis* in root canals: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2017 Mar-Apr;20(2):125-128.
56. Beltes C, Sakkas H, Economides N, Papadopoulou C. Antimicrobial photodynamic therapy using Indocyanine green and near-infrared diode laser in reducing *Enterococcus faecalis*. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2017 Mar; 17:5-8.
57. Souza M, Steier L, Rossi-Fedele G, Barth Jr V, de Oliveira S, de Figueiredo JA.. Effectiveness of photodynamic therapy and sodium hypochlorite on root canal system infected with *Enterococcus faecalis* – An in vitro study. *Revista Odonto Ciência*. 2016;31(3):114-119.

58. Susila AV, Sugumar R, Chandana CS, Subbarao CV. Combined effects of photodynamic therapy and irrigants in disinfection of root canals. *J Biophotonics*. 2016 Jun;9(6):603-9.
59. de Oliveira BP, Aguiar CM, Câmara AC, de Albuquerque MM, Correia AC, Soares MF. The efficacy of photodynamic therapy and sodium hypochlorite in root canal disinfection by a single-file instrumentation technique. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2015 Sep;12(3):436-43.
60. Mohan D, Maruthingal S, Indira R, Divakar DD, Al Kheraif AA, Ramakrishnaiah R, et al. Photoactivated disinfection (PAD) of dental root canal system - An ex-vivo study. *Saudi J Biol Sci*. 2016 Jan;23(1):122-7
61. Asnaashari M, Ashraf H, Rahmati A, Amini N. A comparison between effect of photodynamic therapy by LED and calcium hydroxide therapy for root canal disinfection against *Enterococcus faecalis*: A randomized controlled trial. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2017 Mar;17:226-232.
62. Pourhajibagher M, Chiniforush N, Shahabi S, Palizvani M, Bahador A. Antibacterial and Antibiofilm Efficacy of Antimicrobial Photodynamic Therapy Against Intracanal *Enterococcus faecalis*: An In Vitro Comparative Study with Traditional Endodontic Irrigation Solutions. *J Dent (Tehran)*. 2018 Jul;15(4):197-204.
63. Pinheiro SL, Azenha GR, Democh YM, Nunes DC, Provasi S, Fontanetti GM, et al. Antimicrobial Activity of Photodynamic Therapy Against *Enterococcus faecalis* Before and After Reciprocating Instrumentation in Permanent Molars. *Photomed Laser Surg*. 2016 Dec;34(12):646-651.
64. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010 Apr;54(2):291-312.
65. Berber VB, Gomes BP, Sena NT, Vianna ME, Ferraz CC, Zaia AA, Souza-Filho FJ. Efficacy of various concentrations of NaOCl and instrumentation techniques in reducing *Enterococcus faecalis* within root canals and dentinal tubules. *Int Endod J*. 2006 Jan;39(1):10-7.
66. Suer K, Ozkan L, Guvenir M. Antimicrobial effects of sodium hypochlorite and Er,Cr:YSGG laser against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Niger J Clin Pract*. 2020 Sep;23(9):1188-1193.

67. Retamozo B, Shabahang S, Johnson N, Aprecio RM, Torabinejad M. Minimum contact time and concentration of sodium hypochlorite required to eliminate *Enterococcus faecalis*. *J Endod*. 2010 Mar;36(3):520-3.
68. Garcez AS, Hamblin MR. Methylene Blue and Hydrogen Peroxide for Photodynamic Inactivation in Root Canal - A New Protocol for Use in Endodontics. *Eur Endod J*. 2017;2(1):29.
69. Jiang C, Yang W, Wang C, Qin W, Ming J, Zhang M, et al. Methylene Blue-Mediated Photodynamic Therapy Induces Macrophage Apoptosis via ROS and Reduces Bone Resorption in Periodontitis. *Oxid Med Cell Longev*. 2019 Aug 14;2019:1529520.
70. Derikvand N, Ghasemi SS, Safiaghdam H, Piriaei H, Chiniforush N. Antimicrobial Photodynamic Therapy with Diode laser and Methylene blue as an adjunct to scaling and root planning: A clinical trial. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2020 Sep;31:101818.
71. Mozayeni MA, Vatandoost F, Asnaashari M, Shokri M, Azari-Marhabi S, Asnaashari N. Comparing the Efficacy of Toluidine Blue, Methylene Blue and Curcumin in Photodynamic Therapy Against *Enterococcus faecalis*. *J Lasers Med Sci*. 2020 Fall;11(Suppl 1):S49-S54.
72. Vidal BC, Mello MLS. Toluidine blue staining for cell and tissue biology applications. *Acta Histochem*. 2019 Feb;121(2):101-112.
73. Cieplik F, Deng D, Crielaard W, Buchalla W, Hellwig E, Al-Ahmad A, et al. Antimicrobial photodynamic therapy - what we know and what we don't. *Crit Rev Microbiol*. 2018 Sep;44(5):571-589.
74. Kim MM, Darafsheh A. Light Sources and Dosimetry Techniques for Photodynamic Therapy. *Photochem Photobiol*. 2020 Mar;96(2):280-294.
75. Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. *Aust Endod J*. 2004 Dec;30(3):93-8.
76. Fumes AC, Romualdo PC, Monteiro RM, Watanabe E, Corona SAM, Borsatto MC. Influence of pre-irradiation time employed in antimicrobial photodynamic therapy with diode laser. *Lasers Med Sci*. 2018 Jan;33(1):67-73.

77. Furtado GS, Paschoal MAB, Santos Grenho LDC, Lago ADN. Does pre-irradiation time influence the efficacy of antimicrobial photodynamic therapy? *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2020 Sep;31:101884.
78. Trindade AC, De Figueiredo JA, Steier L, Weber JB. Photodynamic therapy in endodontics: a literature review. *Photomed Laser Surg.* 2015 Mar;33(3):175-82.
79. 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 Sep;19:205-211.
80. Prażmo EJ, Godlewska RA, Mielczarek AB. Effectiveness of repeated photodynamic therapy in the elimination of intracanal *Enterococcus faecalis* biofilm: an in vitro study. *Lasers Med Sci.* 2017 Apr;32(3):655-661.
81. Da Silva CC, Chaves Júnior SP, Pereira GLD, Fontes KBFDC, Antunes LAA, Póvoa HCC, Antunes LS, Iorio NLPP. Antimicrobial Photodynamic Therapy Associated with Conventional Endodontic Treatment: A Clinical and Molecular Microbiological Study. *Photochem Photobiol.* 2018 Mar;94(2):351-356.
82. Ghinzelli GC, Souza MA, Cecchin D, Farina AP, de Figueiredo JA. Influence of ultrasonic activation on photodynamic therapy over root canal system infected with *Enterococcus faecalis*--an in vitro study. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2014 Dec;11(4):472-8.
83. Miranda RG, Colombo APV. Clinical and microbiological effectiveness of photodynamic therapy on primary endodontic infections: a 6-month randomized clinical trial. *Clin Oral Investig* 2017;22:1751–1761.