

Eficacia de diferentes sistemas de irrigación en conductos radiculares instrumentados con una lima reciprocante.

Paula Varela Domínguez

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



TESIS DOCTORAL

EFICACIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGACIÓN EN CONDUCTOS RADICULARES INSTRUMENTADOS CON UNA LIMA RECIPROCANTE.

Paula Varela Domínguez

DIRECTORES:

Dra. Montserrat Mercadé Bellido

Dr. Fernando Durán-Sindreu Terol

Barcelona, 2016

Agradecimientos

En primer lugar, a mis directores, Montse Mercadé y Fernando Durán, sin vosotros este trabajo no hubiese sido posible. Es un privilegio contar con vosotros desde mis inicios en el mundo de la endodoncia y la investigación.

Gracias Montse, por tu apoyo, tiempo y dedicación. Siempre dispuesta a ayudar. Soy muy afortunada de tenerte.

A mi familia, en especial a mi padre, por guiarme. Siento tu fuerza desde el cielo. A mi madre, por entregarte sin esperar nada a cambio y por enseñarme a levantarme siempre, pase lo que pase. Sois mi ejemplo a seguir. A mis hermanos, juntos es mejor.

A mi marido, Javi, por estar a mi lado. Lo eres todo para mi.

A mis amigos y compañeros, en especial a los Endofridays.

Gracias a todos por ayudarme incondicionalmente.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
1. JUSTIFICACIÓN.....	15
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	21
2.1. Definición de endodoncia.....	24
2.2. Indicaciones del tratamiento endodóntico.....	24
2.3. Implicaciones de la anatomía en la limpieza y conformación de los conductos...	25
2.4. Causas del fracaso endodóntico.....	28
2.5. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares	30
2.6. Importancia de la irrigación.....	35
2.7. Acciones deseadas de los irrigantes.....	37
2.8. Concentración del hipoclorito de sodio para el uso endodóntico.....	44
2.9. Sistemas de Irrigación.....	47
3. HIPÓTESIS.....	63
3.1. Hipótesis nula.....	65
3.2. Hipótesis alternativa.....	65

4. OBJETIVOS.....	67
4.1. Objetivo General.....	69
4.2. Objetivos específicos.....	69
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	71
5.1. Cálculo número de muestra.....	73
5.2. Selección de la muestra.....	73
5.3. Preparación de la muestra.....	75
5.4. Instrumentación de los conductos radiculares.....	76
5.5. Proceso histológico de las muestras.....	82
5.6. Evaluación de la forma de los dientes estudiados.....	86
5.7. Análisis estadístico.....	87
6. RESULTADOS.....	89
6.1. Evaluación de la cantidad de remoción de tejido pulpar remanente según la técnica de activación del irrigante.....	91
6.2. Efectividad de la técnica de remoción de tejido pulpar remanente según la técnica de activación del irrigante en conductos ovales y redondos.....	93

7. DISCUSIÓN.....	97
7.1. Discusión de la metodología.....	100
7.1.1. Selección de la muestra	100
7.1.2. Estandarización de la longitud radicular.....	101
7.1.3. Sistema cerrado de irrigación.....	101
7.1.4. Concentración del hipoclorito de sodio.....	102
7.1.5. Justificación del control positivo.....	103
7.1.6. Sistemas de activación del hipoclorito de sodio.....	104
7.1.7. Métodos de evaluación del tejido pulpar remanente.....	108
7.1.8. Sistema Reciproc.....	110
7.1.9. Conductos ovaes vs conductos redondos.....	111
7.2. Discusión de los resultados.....	112
7.2.1. Evaluación cantidad tejido pulpar remanente.....	112
8. CONCLUSIONES.....	121
9. PERSPECTIVAS DE FUTURO.....	125
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

ANEXOS

I. Carta de aprobación del proyecto de tesis...	163
II. Carta de aprobación del comité ético.....	164
III. Consentimiento informado.....	165
IV. Resumen.....	167

Índice de figuras

Figura 1. Representación de un modelo 3D que representa la compleja anatomía interna y externa de un premolar mandibular con 3 raíces	28
Figura 2. Corte transversal de un conducto oval.....	32
Figura 3. Sistema Reciproc y sección transversal.....	35
Figura 4. Cuadro sistemas de irrigación	51
Figura 5. Jeringas de irrigación con salida lateral	53
Figura 6. Limas ultrasónicas.....	61
Figura 7. Endoactivator.....	62
Figura 8. Radiografías periapicales iniciales de 3 dientes de la muestra analizada.....	74
Figura 9. Lima R25	79
Figura 10. G1 Jeringa de irrigación.....	79
Figura 11. G2 Ultrasónica pasiva.....	80
Figura 12. G3 Dinámico manual.....	80
Figura 13. G4 Endoactivator.....	81
Figura 14. Proceso histológico muestras.....	84
Figura 15. Muestras en el portaobjetos.....	84
Figura 16. Imágenes microscopio Leica	85

Figura 17. Fotografías de las muestras evaluadas.....	86
Figura 18. Análisis del tejido pulpar remanente evaluado con el software Autocad.....	86
Figura 19. Imagen del control positivo.....	92
Figura 20. Porcentaje de tejido pulpar remanente conductos ovales y redondos.....	95
Figura 21. Imágenes tomadas con el CLSM.....	110
Figura 22. Corte histológico de una muestra del estudio piloto instrumentada con la R40.....	111
Figura 23. Cortes transversales de conductos ovales.....	144

Índice de tablas

Tabla 1. Grupos experimentales del estudio.....	78
Tabla 2. Porcentaje de tejido pulpar remanente en cada grupo de tratamiento.....	92
Tabla 3. Porcentaje de tejido pulpar remanente en conductos ovals y redondos.....	94
Tabla 4. Porcentaje de tejido pulpar por grupo de tratamiento y forma.....	94

1. Justificación

El principal objetivo de la terapia endodóntica es prevenir y tratar la periodontitis apical eliminando las bacterias del interior de los conductos radiculares y evitando la reinfeción de éstos (1). Conseguir una completa desinfección del sistema de conductos radiculares es complicado debido a la presencia de istmos, conductos accesorios y deltas apicales que pueden albergar remanentes bacterianos y proveer un ambiente para la colonización de microorganismos y causar infección (2-4). Las técnicas de instrumentación por si solas son ineficaces en la limpieza de las superficies e irregularidades de los conductos (5). Durante el tratamiento endodóntico, los irrigantes son llevados al área apical de los conductos para conseguir la remoción de los detritus, la disolución del tejido orgánico y la remoción del barrillo dentinario (6). Aunque la instrumentación mecánica y el uso de irrigantes han demostrado eficacia en la terapia endodóntica, es difícil conseguir una completa limpieza de estas áreas inaccesibles (7, 8).

La literatura ha demostrado que una incompleta limpieza de los conductos puede llevar a la disminución del éxito del tratamiento endodóntico (3). Una completa

limpieza y conformación del sistema de conductos es considerada como un desafío, particularmente en conductos curvos, estrechos y ovals (9).

Recientemente, se ha introducido en el mercado el sistema de limas Reciproc[®], el cual permite la instrumentación de todo el conducto con una sola lima e introduce un nuevo movimiento de la misma, el movimiento reciprocante. El concepto de utilizar una sola lima para conformar todo el conducto presenta entre sus ventajas, una reducción de la curva de aprendizaje, debido a la simplificación de la técnica, y un menor gasto económico, al reducir el número de limas. Por otro lado, De-Deus (10) observó que, utilizando la lima F2 para instrumentar todo el conducto no se conseguía una limpieza óptima en conductos ovals. Sin embargo, en este estudio, no se especificó la profundidad de entrada de la aguja de irrigación en el interior del conducto antes de liberar el irrigante, ni el tiempo en que permaneció el irrigante dentro del conducto, siendo ambos factores fundamentales en el efecto del NaOCl en el interior del sistema de conductos. Asimismo, en ese estudio, no se utilizaron técnicas de activación del irrigante, las cuales se ha demostrado que potencian el efecto de los irrigantes.

En el momento de la realización del protocolo del siguiente trabajo de investigación, no se encontraban disponibles en la literatura investigaciones realizadas con el sistema Reciproc® combinados con técnicas de activación del irrigante para evaluar la limpieza de los conductos radiculares.

2. Estado de la cuestión

La principal causa de fracaso endodóntico es la persistencia de microorganismos en el interior del sistema de conductos radiculares. La periodontitis apical es un desorden inflamatorio de los tejidos periradiculares ocasionado por la persistencia de microorganismos en el interior del diente afectado (11, 12). El tratamiento de la periodontitis apical consiste en erradicar o reducir la carga microbiana presente en los conductos radiculares mediante una adecuada preparación químico-mecánica y la prevención de la reinfección mediante el sellado del conducto radicular (2). Para alcanzar el éxito del tratamiento es esencial la remoción del tejido pulpar vital y necrótico, sus endotoxinas y el barrillo dentinario que se produce tras la instrumentación de los conductos (13, 14). La instrumentación endodóntica es llevada a cabo mediante técnicas tanto manuales y/o rotatorias (15). Su objetivo es conformar el conducto, eliminar la dentina infectada y facilitar la llegada de los irrigantes a la zona apical, manteniendo la permeabilidad del conducto radicular y la integridad del diente (16, 17). Sin embargo, la instrumentación debe ser combinada con una irrigación adecuada para completar el proceso de limpieza y disminuir la carga microbiana dentro del sistema de conductos.

2.1. Definición de endodoncia

De acuerdo con el glosario de terminología endodóntica de la Asociación Americana de Endodoncia, la endodoncia es la rama de la odontología que trata la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental y de los tejidos perirradiculares (18).

2.2. Indicaciones del tratamiento endodóntico

De acuerdo con la Asociación Americana de Endodoncia, el tratamiento del conducto radicular está indicado en las siguientes condiciones clínicas:

1. Pulpitis irreversible sintomática o asintomática, con o sin evidencia de enfermedad periapical.
2. Necrosis pulpar con o sin evidencia de enfermedad periapical.
3. Dientes en los que la pulpa puede estar comprometida durante la realización de procedimientos dentales, incluyendo la remoción de caries dentales, tallados, dientes malposicionados y resección radicular.

4. Restauración con poste radicular.
5. Dientes fracturados con patología pulpar (con o sin sintomatología).
6. Dientes con hipersensibilidad que interfiere con la función normal, cuando los métodos alternativos han fracasado en la eliminación de la hipersensibilidad.

2.3. Implicaciones de la anatomía en la limpieza y conformación de los conductos.

Anatomía

El conocimiento de la anatomía del sistema de conductos radiculares es un prerrequisito para el éxito del tratamiento endodóntico (19) ya que la presencia de conductos accesorios o desviaciones del conducto principal puede dar lugar a una instrumentación incompleta, haciendo perdurar los factores etiológicos relacionados con la periodontitis apical (20). Por lo tanto, factores anatómicos como la forma del conducto en su sección transversal nos pueden influir en el éxito de la remoción del tejido pulpar. La sección transversal varía de un tipo de diente a otro, por una parte, hay dientes con secciones transversales

redondas, como los premolares maxilares con dos raíces (21) y por otra parte existen secciones ovals, aplanadas o irregulares en raíces distales de molares inferiores y premolares de una sola raíz (22).

La anatomía de los conductos debe ser analizada en una perspectiva tridimensional, sin embargo, la radiografía convencional sólo permite una visualización del diente en dos dimensiones. Las variaciones anatómicas son más evidentes cuando estudiamos el sistema de conductos en visión vestibulo-lingual o mesio-distal (23). En una visión mesio-distal pueden aumentar el número de conductos (24) y su diámetro (25) y el grosor de dentina en el tercio apical (23). La configuración del sistema de conductos y el ángulo de curvatura antes y después de la instrumentación también difiere cuándo comparamos la visión vestibulo-lingual y mesio-distal (26).

Debido a la complejidad de la anatomía interna del sistema de conductos es imposible alcanzar una completa limpieza a expensas de la instrumentación. Por ello, es esencial para el éxito endodóntico, la acción de diferentes irrigantes que consigan una completa remoción de los detritus pulpares vitales y necróticos, los microorganismos y sus toxinas (27, 28).

La eficacia en la conformación del sistema de conductos depende de factores anatómicos, tales como la variabilidad anatómica que pueden tener los dientes en el número de raíces y de conductos (19). En la literatura endodóntica se han reportado variaciones en el sistema de conductos de premolares inferiores que nos pueden dificultar el éxito del tratamiento (24, 29-31).

Normalmente, los dientes con una sola raíz presentan un solo conducto como en el caso de caninos y dientes anteriores maxilares (19). Sin embargo, los premolares y los incisivos inferiores pueden presentar una raíz con 2 conductos (19).

Existe una gran variación morfológica en el sistema de conductos de los primeros premolares mandibulares (32, 33). Frecuentemente presentan un conducto más ancho en el sentido vestibulo-lingual que mesio-distal (34), sin embargo, en la literatura se ha reportado casos con 2 (30), 3 (32), 4 (35) e incluso 5 conductos (36).

En los premolares mandibulares, la presencia de un surco radicular en las caras proximales (mesial o distal) está relacionado con la existencia de conductos adicionales (37, 38). En la literatura las complejidades del sistema de

conductos radiculares han sido analizadas mediante el desarrollo de modelos a partir de imágenes obtenidas mediante micro-CT (figura de abajo) (39).

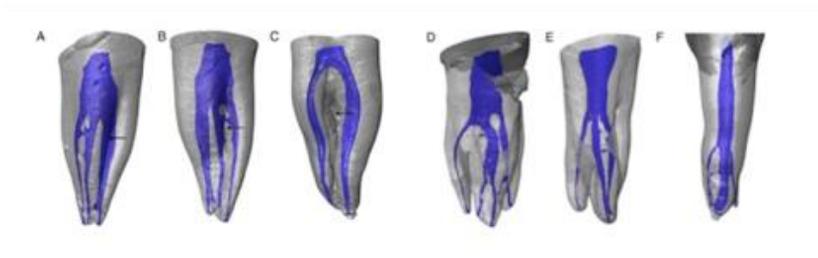


Figura 1. Ordinola zapata (39) Representación de un modelo 3D que representa la compleja anatomía interna y externa de un premolar mandibular con 3 raíces.

2.4. Causas del fracaso endodóntico

La prevención o tratamiento de la periodontitis apical es el último objetivo de la terapia endodóntica (40, 41)

El objetivo de la instrumentación es conformar el conducto, remover la dentina infectada, y facilitar la llegada de los irrigantes a la zona apical. Además, debe mantener la permeabilidad del sistema del conductos y preservar la integridad del diente afectado (16). Sin embargo, la instrumentación debe ser combinada con una adecuada

irrigación para completar la limpieza y disminuir la carga microbiana dentro del sistema de conductos.

Una limpieza completa del sistema de conductos es complicada debido a la presencia de istmos, conductos accesorios, y deltas apicales que puede establecerse como reservorio para los detritus 1984 (19). Los detritus residuales dentro del sistema de conductos pueden estar compuestos por bacterias, así como microorganismos y sus sub-productos, tejido pulpar vital y necrótico, barrillo dentinario y biofilms.

A pesar de que la instrumentación mecánica y el uso de irrigantes dentro del sistema de conductos han demostrado efectividad, la completa limpieza de estas áreas es difícil de conseguir (40, 42-44). Los estudios han demostrado que la limpieza incompleta del sistema de conductos puede llevar a una disminución el éxito endodóntico (40, 45, 46).

Para conseguir la remoción de detritus y la desinfección del sistema de conductos, se han propuesto el uso de diferentes irrigantes y técnicas intraconducto (47). No se ha encontrado ninguna única técnica o irrigante que consiga la completa limpieza del sistema de conductos,

pero el uso de la técnica ultrasónica pasiva como adición a la limpieza y conformación ha mejorado la capacidad de limpieza del irrigante.

2.5. Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares

Los objetivos del tratamiento endodóntico son eliminar los microorganismos, remover el tejido pulpar y conformar el sistema de conductos para facilitar la irrigación y la colocación de un medicamento y/o material de obturación (46). Al mismo tiempo, este procedimiento debe evitar iatrogenias, como fractura de instrumentos, transporte del conducto, formación de escalones o perforaciones.

Tradicionalmente, la conformación del sistema de conductos se llevaba a cabo con limas manuales de acero inoxidable. Sin embargo, la introducción del níquel-titanio (Ni-Ti) propuesta por Walia en 1988, (48) ha proporcionado un avance importante en la preparación del sistema de conductos respecto a los instrumentos tradicionales de acero inoxidable (49-51). Las principales características de esta aleación son la superelasticidad, la elevada flexibilidad (52), y una mayor capacidad de corte (53).

Estas propiedades han permitido el desarrollo de instrumentos rotatorios con distintas conicidades, permitiendo una preparación biomecánica más rápida que las limas manuales (54).

Además, los instrumentos de Ni-Ti mantienen la forma original del conducto durante la instrumentación y han reducido la tendencia hacia el transporte apical (55-57). Sin embargo, tienden a preparar el conducto principal de manera circular, dejando sin instrumentar las extensiones vestibulares y linguales, permitiendo la retención de tejido y remanentes bacterianos, sobretodo en conductos ovales (figura 2) (9, 10, 50, 51, 54, 58).



Figura 2. Fotografía de un conducto oval instrumentado. Las flechas indican la presencia de tejido pulpar remanente en las zonas vestibulares y linguales de un premolar inferior De Deus (10).

El movimiento recíprocante es una evolución de la técnica de fuerzas balanceadas descrita por Roane en 1985 (59). El uso del movimiento recíprocante se considera como una reciente innovación en la instrumentación de los conductos, su cinemática se describe como un movimiento oscilatorio, en el que el instrumento gira a favor y en contra de las agujas del reloj, hasta completar un giro de rotación de 360° (60). Gracias al movimiento recíprocante, el estrés producido sobre el instrumento se minimiza reduciendo el riesgo de fractura (61). En la técnica recíproca, el instrumento es impulsado en primer lugar en una dirección de corte y luego se produce un giro en sentido inverso para liberar el instrumento en cuestión. El ángulo de rotación en la dirección de corte es mayor al giro inverso, lo que permite que el instrumento progrese continuamente a través del conducto hacia el foramen apical.

En el año 2008 se lanzó al mercado el sistema de limas recíprocantes de níquel-titanio (NiTi) Reciproc® (VDW, Munich, Alemania). El fabricante aboga que este sistema prepara y limpia completamente el sistema de conductos con una única lima.

Los instrumentos Reciproc[®] se fabrican con una aleación de níquel-titanio llamada M-Wire[®] (Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, EEUU), que según el fabricante genera una mayor resistencia a la fatiga cíclica y aumenta la flexibilidad de los instrumentos en comparación con el níquel-titanio tradicional (62). Estas limas son utilizadas en movimiento recíprocante con determinados dispositivos que están programados para realizar este tipo de movimiento. El movimiento recíprocante reduce el estrés del instrumento así como disminuye el riesgo de fatiga cíclica causada por tensión y compresión (63, 64).

Se trata de un sistema de instrumentación de lima única, que permite la conformación de todo el conducto mediante el empleo de una lima de las tres disponibles del sistema: R 25 (25.08), R 40 (40.06) y R 50 (50.05), las cuales se seleccionan según el tamaño inicial del conducto. Presenta una sección transversal en forma de S, conicidad regresiva y punta no cortante (Figura 3).



Figura 3. Sistema Reciproc[®]. Sección transversal en forma de S (Foto Dr. David Sonntag, www.es.vdw-dental.com)

En el estudio de Bürklein et al. (65) se concluyó que la limpieza del conducto es aceptable cuándo se utilizan sistemas de lima única, pero no existen diferencias significativas comparado con los resultados obtenidos al instrumentar con la secuencia entera de sistemas de limas rotatorias de Ni-Ti. En otros estudios publicados, De-Deus et al. (10) observaron que con la lima F2 de Protaper[®] (utilizada como lima única) se eliminaba la misma cantidad de tejido pulpar que con la secuencia entera del sistema Protaper[®] en conductos redondos. Sin embargo, la calidad de la limpieza de la técnica de una sola lima F2 Protaper[®] fue menor en conductos ovales. Los conductos ovales representan un desafío clínico para cualquier protocolo de instrumentación ya que los sistemas de limas Ni-Ti preparan el conducto principal con una forma circular,

dejando sin tratar las extensiones del conducto vestibulares y linguales (9, 10, 66). La configuración de los conductos ovales se observa fácilmente cuando realizamos cortes histológicos, ya que no puede observarse en una radiografía en dos dimensiones que represente la proyección vestíbulo-lingual.

2.6. Importancia de la irrigación

Objetivo de la irrigación

El objetivo de la irrigación es la remoción del tejido pulpar y/o los microorganismos, tanto en forma planctónica como agrupados en biofilms, del sistema de conductos (67). La irrigación también debe remover el barrillo dentinario y los detritus de dentina que se forman después de la instrumentación de los conductos (68).

Está ampliamente descrito en la literatura que la instrumentación mecánica no es suficiente para conseguir la completa eliminación de los restos del interior de los conductos radiculares, por lo tanto, se precisa de la ayuda de un irrigante que sea capaz de disolver los restos y eliminar las bacterias y sus endotoxinas (12, 69). Peters et al. (70) compararon microtomografías computerizadas

antes y después de la instrumentación mecánica, y encontraron que independientemente de la técnica de instrumentación utilizada, el 35% o más de las superficies radiculares permanecieron sin instrumentar. Las limas tienden a crear preparaciones redondas incluso en conductos ovalados, dejando sin preparar las extensiones vestibulares y linguales.

La complejidad de la anatomía del sistema de conductos dificulta la completa limpieza del conducto radicular mediante las técnicas de instrumentación manuales y rotatorias (8). Los conductos radiculares tienen áreas prácticamente inaccesibles para la preparación mecánica, tales como conductos laterales, istmos, y otras irregularidades que permanecen sin instrumentar y promueven un ambiente ideal para que los microorganismos colonicen y causen enfermedad periapical (9, 10, 19, 69, 71). Además, éstas irregularidades anatómicas sirven de reservorio de tejido, microbios y detritus tras la instrumentación (72).

Con el fin de alcanzar el éxito del tratamiento, los irrigantes son llevados a las áreas apicales para facilitar la remoción de detritus, la disolución de tejido pulpar orgánico, vital como necrótico, la eliminación de bacterias y sus toxinas y la remoción del barrillo dentinario (6, 27, 69, 73, 74).

Existen dos factores relacionados directamente con la eficacia de la irrigación: el irrigante y el método de dispensación o activación del irrigante utilizado.

El volumen del irrigante llevado al conducto durante el tratamiento endodóntico es un factor clave en la remoción de detritus y en la desinfección del sistema de conductos (75, 76).

2.7. Acciones deseadas de los irrigantes

Históricamente, se han sugerido incontables compuestos en solución acuosa como irrigantes del conducto radicular, incluyendo sustancias inertes como el cloruro de sodio (solución salina) o biocidas altamente tóxicas y alérgicas como el formaldehído (77).

El irrigante ideal debería tener la siguientes propiedades para alcanzar el éxito endodóntico (78).

- Amplio espectro antimicrobiano y alta eficacia contra los microorganismos anaerobios y facultativos organizados en biofilms.
- Eliminación de restos de tejido pulpar necrótico.
- Inactivación de endotoxinas.
- Prevención de formación del barrillo dentinario durante la instrumentación o disolución una vez formado.
- No tóxico
- No caústico para los tejidos periodontales.
- Bajo potencial para causar una reacción anafiláctica.

Sin embargo, no existe un único irrigante que cumpla con todas esas propiedades, incluso con el uso de métodos para aumentar su eficacia tales como disminución del pH (79), aumento de la temperatura (80), así como la adición de surfactantes (81, 82).

Elección del irrigante principal

El yodo, y los compuestos de amonio cuaternario son menos citotóxicos e irritantes para los tejido vitales en comparación con el hipoclorito de sodio y la clorhexidina (78, 83-85) pero tienen mayor riesgo de causar una reacción alérgica (86). En la literatura se han descrito reacciones alérgicas al hipoclorito y a la clorhexidina pero

su incidencia es rara (87, 88).

De todas las sustancias que se emplean en la actualidad, el hipoclorito de sodio resulta ser el más idóneo, ya que cumple con mayor cantidad de requisitos para la irrigación que otros compuestos. El hipoclorito de sodio tiene la capacidad de disolver tejido necrótico (89-91) y los componentes orgánicos de la capa del barrillo dentinario (73, 92-94). Es capaz de eliminar las bacterias patógenas endodónticas organizadas en biofilms y en los túbulos dentinarios (95-97).

También se ha demostrado que es capaz de inactivar las endotoxinas, (98, 99) sin embargo, su efecto es menor en comparación con el hidróxido de calcio (100).

En conclusión, la evidencia científica disponible está a favor del uso del hipoclorito de sodio como el principal irrigante endodóntico, sin embargo, debe usarse con otros irrigantes para alcanzar mayores beneficios.

Aunque el hipoclorito de sodio sea el “gold standard” debido a su efecto antimicrobiano y su capacidad para disolver tejido, no disuelve la porción inorgánica del barrillo dentinario.

Por lo que, en la terapia endodóntica, se utiliza la combinación de varios irrigantes para intentar cubrir todos los objetivos de la irrigación de los conductos radiculares (101).

Irrigantes utilizados en la terapia endodóntica

Dentro de los irrigantes más utilizados se encuentran hipoclorito de sodio (NaOCl), el ácido etilendiaminotetracético (EDTA), el ácido cítrico, la Clorhexidina (CHX), el MTAD y el alcohol.

A lo largo de la historia se han empleado los siguientes irrigantes:

Compuestos Halogenados

- Solución de hipoclorito de sodio al 0,5%, 1% (Solución de Milton), 2,5% (Solución de Labarraque) y al 4-6%.

Quelantes

- EDTA al 17% (ácido etilendiaminotetraacético).
- Ácido cítrico entre el 10-50%.

Otras soluciones

- Agua destilada estéril.

- Peróxido de hidrógeno.
- Suero fisiológico.
- Alcohol.
- Clorhexidina al 2%.
- MTAD (Tetraciclina y ácido cítrico).
- Cloroformo.

Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio fue el primer producto químico acuoso de cloro en solución, desarrollado en Francia por Berthollet (1748-1822). En base a los estudios del laboratorio controlado por Koch y Pasteur, el hipoclorito ganó una amplia aceptación como desinfectante al final del siglo XIX. En la primera guerra mundial, el químico Henry Drysdale Dakin y el cirujano Alexis Carrel extendieron el uso de una solución tampón de 0,5% de hipoclorito de sodio para la irrigación de las heridas infectadas, basándose en un estudio de Dakin sobre la eficacia de diferentes soluciones en el tejido necrótico infectado (102). Entre sus ventajas encontramos que presenta un amplio espectro antimicrobiano, es esporicida y virucida (89).

Estas características llevan a que se haya usado como irrigante principal en endodoncia desde 1920 (89).

Se han propuesto otros componentes que liberan cloro, como la cloramina-T, sin embargo, nunca han ganado gran aceptación en endodoncia, y parecen ser menos eficaces que el hipoclorito a una concentración similar (91).

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un irrigante ampliamente utilizado como desinfectante en endodoncia debido a su efectividad para disolver tejido orgánico, eliminar microorganismos y actuar como lubricante (103). Sin embargo, la clorina, que es la responsable de la disolución y la capacidad antibacteriana del NaOCl, es inestable y se consume rápidamente durante la primera fase de la disolución del tejido, probablemente en 2 minutos (6), por lo que se tiene que reemplazar continuamente.

Mecanismo de acción

El hipoclorito de sodio es una base fuerte, y disuelve tejido debido a su elevado pH (mayor a 11). El pH disminuye cuando se pone en contacto con los aminoácidos liberando iones hidroxilo, formando agua y sal. La solución acuosa del hipoclorito de sodio es un balance

dinámico entre el hidróxido de sodio y el ácido hipocloroso, el cual, actúa como solvente en contacto con los tejidos orgánicos. Cuando el hipoclorito de sodio está en contacto con tejido orgánico, el hidróxido de sodio, reacciona con los ácidos grasos creando sales (jabón) y glicerol (alcohol), reduciendo la tensión superficial de la solución (reacción de saponificación).

Los iones hidróxido y el ácido hipocloroso son los responsables de la degradación e hidrólisis de los aminoácidos (104). Los efectos antibacterianos del hipoclorito se deben al ácido hipocloroso, que contiene clorina activa que puede interactuar con los componentes citoplasmáticos oxidando de manera irreversible enzimas esenciales de las bacterias, interrumpiendo sus funciones metabólicas (105). Estas reacciones ocurren habitualmente en la superficie, llevando a cabo la licuefacción del tejido orgánico (104). Al mismo tiempo, las moléculas del hipoclorito de sodio que reaccionan se consumen, disminuyendo su actividad. Por eso es tan importante el recambio de hipoclorito y eliminar los restos del tejido ya disuelto.

En la literatura se ha demostrado que tiene mayor capacidad de disolver tejido necrótico comparado con tejido

pulpar sano (106). Por otra parte, es prácticamente ineficaz eliminando las endotoxinas (107) y no remueve o previene la formación del barrillo dentinario (108).

En la literatura se ha demostrado que la capacidad de disolución de tejido del hipoclorito de sodio depende de su concentración, tiempo, volumen, pH, temperatura, y del tipo, cantidad y superficie de contacto del tejido. Sin embargo, las variaciones en estos factores, dificultan las comparaciones entre diferentes estudios (109).

2.8. Concentración del hipoclorito de sodio para el uso endodóntico

Existe mucha controversia sobre la concentración de hipoclorito de sodio para su uso en endodoncia. La eficacia antibacteriana, la capacidad de disolución de tejido y la toxicidad varían en función de su concentración (83).

Una solución de hipoclorito al 5.25% disminuye significativamente el módulo elástico de la dentina cuando es comparado con la solución fisiológica salina; algo que ocurre en una solución de 0.5% de hipoclorito (110). La causa más probable es la acción proteolítica del hipoclorito de sodio concentrado sobre la matriz de colágeno de la dentina.

Por otro lado, observaciones hechas in vitro muestran que el 1% de hipoclorito de sodio debería ser suficiente para disolver completamente el tejido pulpar durante su tratamiento, aunque sería necesario ampliar el tiempo de irrigación (111).

Una alternativa para mejorar la eficacia del hipoclorito a bajas concentraciones es aumentar la temperatura, mejorando así su capacidad de disolución de tejido orgánico (80, 89, 112). Además, el hipoclorito a mayor temperatura es más eficaz eliminando detritus orgánicos de las virutas de dentina en comparación con hipoclorito no calentado (113).

Clínicamente es aceptable la utilización de concentraciones de entre 2,5-6% a temperatura ambiente. Sin embargo, si queremos disminuir la concentración del hipoclorito de sodio es necesario activar la solución con ultrasonidos o aumentar su temperatura (80, 111).

Entre sus desventajas, se han reportado en la literatura numerosos incidentes usando hipoclorito de sodio, que incluyen síntomas clínicos como dolor severo, edema, sangrado y equimosis (114). Por tanto, se tiene que tener en cuenta la toxicidad y el potencial de la

complicaciones clínicas si es extruído a los tejidos perirradiculares (83, 112).

Por otro lado, Harrison demostró en sus estudios sobre la toxicidad clínica de los irrigantes, que el uso de hipoclorito de sodio al 5.25% no supone más dolor para los pacientes entre visitas (77, 115). También afirmó que concentraciones de hipoclorito de sodio por debajo de 5,25% presentan menos capacidad en disolver tejido necrótico (115).

Soluciones quelantes

Aunque el hipoclorito de sodio se ha descrito como el irrigante principal en la terapia endodóntica, es incapaz de disolver las partículas inorgánicas de la dentina así como prevenir la formación del barrillo dentinario durante la instrumentación (116). En la terapia endodóntica se recomiendan agentes desmineralizantes como el ácido etildiaminotetraacético al 17% (EDTA) (117) y el ácido cítrico (las concentraciones varían entre el 10 y el 50% en función de la literatura) (118). Estas soluciones quelantes son biocompatibles y son comúnmente utilizadas en productos de cuidado personal (119). Aunque el ácido cítrico es ligeramente más potente que el EDTA a la misma

concentración, ambos son altamente efectivos en la remoción del barrillo dentinario (120). Con el fin de incrementar la capacidad antimicrobiana del EDTA o el ácido cítrico se han propuesto combinaciones de antisépticos como el amonio cuaternario (EDTAC) (117) o antibióticos como las tetraciclinas (MTAD) (121). Sin embargo, los resultados clínicos son cuestionables. EDTAC es tan eficaz en la remoción del barrillo dentinario como el EDTA, pero es más cáustico (122).

Otro aspecto importante respecto al EDTA y al cítrico, es que interactúan fuertemente con el hipoclorito de sodio (112) reduciendo directamente la clorina disponible en la solución, convirtiendo al hipoclorito de sodio ineficaz contra las bacterias y el tejido necrótico (120). Por lo tanto, no se deberán usar NaOCl y EDTA/ácido cítrico a la vez dentro del conducto radicular.

2.9. Sistemas de irrigación

A lo largo de los años se han propuesto diversos métodos, como el uso de instrumentos rotatorios de níquel-titanio (123), la lima de permeabilidad apical (124), y diferentes dispositivos para la activación de la solución intraconducto, con el objetivo de mejorar la acción

mecánica del irrigante (125). Así mismo, para potenciar los efectos del hipoclorito de sodio como su capacidad antibacteriana o disolución de tejido se ha propuesto aumentar la temperatura de la solución del hipoclorito de sodio utilizando distintos dispositivos para dispensar el irrigante al interior de los conductos y activarlo (Figura 4) (13).

Los sistemas de irrigación para los conductos radiculares pueden dividirse en 2 categorías principales, técnicas manuales y técnicas de agitación del irrigante mediante dispositivos (13). Dentro de las técnicas de agitación manual se encuentran: la irrigación con presión positiva (PPI), que es llevada a cabo con una jeringa y una aguja de irrigación endodóntica, los cepillos y la agitación manual mediante un cono de gutapercha adaptado al conducto radicular. Por otro lado, las técnicas de activación del irrigante mediante dispositivos son: los métodos sónicos y ultrasónicos y además, los sistemas más novedosos como la irrigación con presión apical negativa (75) y las limas rotatorias plásticas (126).

Se deben considerar dos factores importantes durante la irrigación: 1) si el sistema de irrigación es capaz de llevar el irrigante al sistema de conductos en su totalidad, sobre

todo al tercio apical y 2) si es capaz de alcanzar áreas que no han sido instrumentadas previamente por los sistemas de instrumentación mecánicas, como conductos laterales e istmos (16, 126, 127). Por lo tanto, es muy importante investigar la capacidad de los irrigantes de alcanzar el tercio apical y los conductos laterales.

La penetración del irrigante hacia las irregularidades del conducto no sólo depende de factores como la anatomía interna, sino también el método de liberación del irrigante (128) el volumen de la solución, sus propiedades físicas y químicas, y la presencia de burbujas (129). Se ha demostrado en la literatura que el volumen de irrigante utilizado es directamente proporcional al éxito en la limpieza de los conductos radiculares (127).

La penetración de un líquido dentro de una cavidad, depende de varios factores tales como, la superficie y el ángulo de contacto, las fuerzas capilares, la viscosidad, el tamaño de la cavidad y de si es un sistema abierto o cerrado. Una vez que el líquido penetra, el irrigante puede fluir directamente hacia la totalidad de la cavidad o atrapar el gas o vapor presente en él (130). También el grado de inclinación del sistema cerrado juega un papel importante en la dinámica de los fluidos y en el movimiento de las

burbujas de gas que se forman dentro de él (131). Debido a que los dientes están rodeados por el ligamento periodontal, se forma este túnel, o sistema cerrado/tubo, produciendo un efecto “vapor lock”, que se define como aire atrapado en el tercio apical del conducto y que evita en la mayoría de los casos que el irrigante fluya hacia el tercio apical, impidiendo una adecuada limpieza del sistema de conductos (69, 129, 132).

La permeabilidad apical la podemos conseguir cuando la porción apical del conducto se mantiene libre de detritus introduciendo una lima manual de pequeño calibre a través del foramen apical (133, 134). Por lo que cualquier burbuja que permanezca en el tercio apical puede ser eliminada mediante la lima de permeabilidad apical o la activación ultrasónica del irrigante (135).

Sin embargo, se ha observado la presencia de burbujas dentro del tercio apical de los conductos, incluso cuando el irrigante ha llegado al tercio apical, que puede deberse a la falta de contacto de los irrigantes con las paredes del conducto.

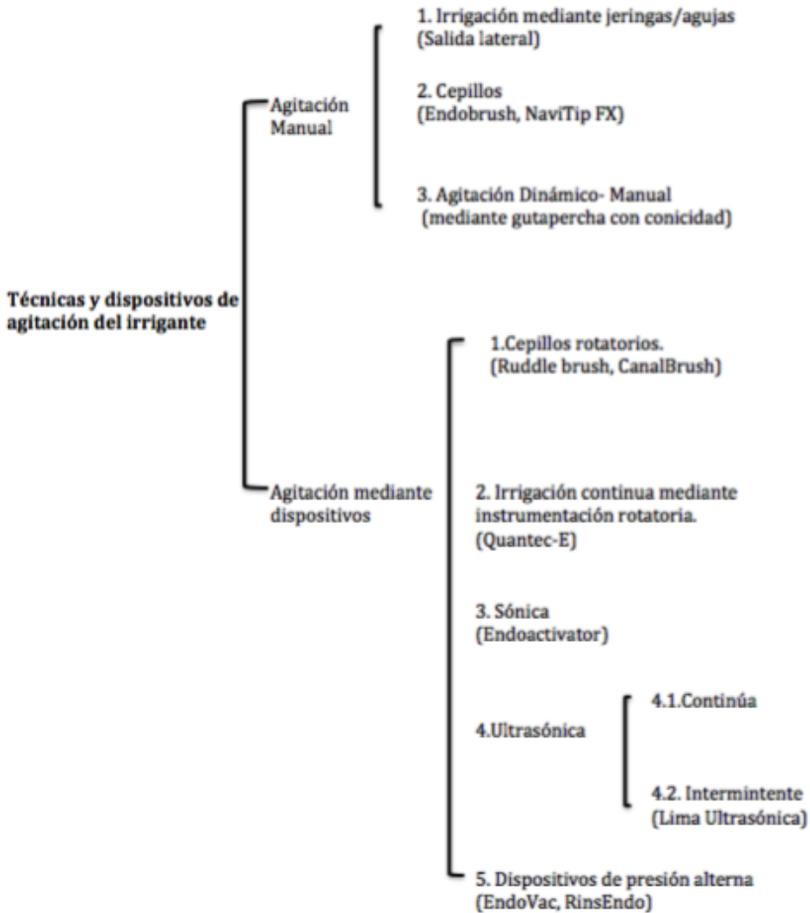


Figura 4. Cuadro sistemas irrigación adaptado del estudio de GU (13)

2.9.1. Técnicas de Irrigación Manual

2.9.1.1. Jeringa Convencional

La irrigación con jeringa se ha aceptado como un método de liberación del irrigante eficiente hasta la llegada de la irrigación ultrasónica pasiva (125). Esta técnica es el sistema de irrigación más usado, y es ampliamente aceptada tanto por los generalistas como por los endodoncistas. Consiste en la liberación del irrigante dentro del conducto a través de agujas/cánulas de distintos calibres, pasivas o con activación.

La activación se consigue mediante movimientos de entrada y salida de la aguja dentro del conducto radicular. Algunas de estas agujas están diseñadas para liberar el irrigante a través de su extremo más distal, mientras otras lo liberan lateralmente en un sistema cerrado, o a través de ventanas laterales (136).

El sistema de salida lateral, ha sido creado para mejorar la activación hidrodinámica del irrigante y reducir la posibilidad de extrusión apical (Figura 5) (137). Es crucial que la aguja permanezca dentro del sistema de conductos durante la irrigación. Esto permite que el irrigante refluya y cause más detritus que se desplacen coronalmente,

evitando la extrusión de irrigante a los tejidos periapicales. Una de las ventajas de la jeringa de irrigación es que permite un control fácil de la penetración de la aguja y también del volumen del irrigante dentro del conducto (138). Entre sus desventajas, nos encontramos que esta técnica produce un intercambio de irrigante que no va más allá de 1 mm de la punta de la jeringa (74, 136) y es inefectiva en retirar detritus desde el tercio apical del conducto sin la ayuda de otros métodos de agitación (139).



Figura 5. Jeringas de irrigación convencional con salida lateral 23 G y 30G.

Sin embargo, la acción mecánica creada por la jeringa convencional es relativamente débil. Tras la irrigación con la jeringa convencional, las irregularidades y extensiones inaccesibles del conducto actúan como reservorio de detritus y bacterias, comprometiendo la limpieza del

sistema de conductos (136, 140).

Ram (141) demostró que con la aguja convencional el irrigante sólo llega 1 mm más allá de la punta de irrigación. Éste es un tema preocupante ya que la aguja se sitúa en los tercios coronales en conductos estrechos, o en tercio medio en conductos más amplios (142). Por lo tanto, la penetración de la aguja del irrigante y su habilidad para desinfectar los túbulos se encuentra limitada. Su eficacia en estos conductos es un desafío (143, 144).

Wu (145) demostró que la jeringa convencional es menos efectiva cuándo los conductos radiculares se instrumentan por debajo del calibre 40. Por lo que los clínicos, deben equilibrar la eficacia del método de irrigación con las consecuencias negativas de reducir el grosor de dentina y el consecuente debilitamiento de la estructura radicular (146).

Existen diversos factores que aumentan la eficacia de la jeringa de irrigación, entre ellos, la proximidad de la aguja al ápice (142), utilizar mayor volumen de irrigante (147) y agujas de menor calibre (142, 147).

La agujas de menor calibre, permiten alcanzar más profundidad de penetración y un mayor desbridamiento y

reemplazo de irrigante (142). Sin embargo, a mayor profundidad de la aguja mayor posibilidad de extrusión a los tejidos periapicales. Una liberación lenta del irrigante así como los movimientos de entrada y salida de la aguja reducen los accidentes relacionados con el NaOCl (142). La velocidad de flujo así como el intercambio del irrigante, son factores que están influenciados directamente por la aguja de irrigación (148). Sin embargo, es difícil estandarizar y controlar la velocidad de flujo de la jeringa durante la irrigación. Esto asegura un correcto desbridamiento de los conductos radiculares, minimizando la extrusión apical con el fin de eliminar los efectos citotóxicos del NaOCl en los tejidos periapicales (149, 150).

Esta técnica establece un buen control de la penetración de la aguja de irrigación (151) es inefectiva a la hora de eliminar detritus pulpares en la porción apical del conducto (152). En el sistema de irrigación con jeringa convencional, el recambio del irrigante en la zona apical y la efectividad del desbridamiento mecánico dependen de la profundidad de penetración de la aguja. Boutsoukis et al. (153), demostraron con un modelo dinámico fluido que el intercambio de irrigante sólo ocurre a 1-1,5 mm de la ventana de salida de la aguja de irrigación, y el irrigante

pasado este punto permanece estancando. Chow et al. (69, 142) y Siu et al. (69) también encontraron que el intercambio de irritante no se extiende más allá de la punta de la jeringa de irrigación.

2.9.1.2. Irrigación dinámico-manual

La literatura demuestra que realizando movimientos de agitación de 2 a 3 mm con una gutapercha de conicidad adaptada a las paredes del conducto instrumentado, puede producir un movimiento efectivo hidrodinámico y aumentar el desplazamiento y recambio del irrigante (154, 155). El irrigante debe contactar directamente con las paredes para tener una acción efectiva. Sin embargo, es difícil que el irrigante alcance la porción apical debido al efecto “vapor-lock” (156).

Mc Gill et al. (157) y Huang et al. (158) han demostrado que la irrigación dinámico-manual es significativamente más efectiva que el sistema de irrigación automático (RinsEndo[®], Dürr dental Co, Bietgheim-Bissingen, Alemania) y la irrigación estática.

Varios factores han contribuido a los positivos resultados de la irrigación dinámico-manual:

1. Los movimientos de entrada y salida de la gutapercha con conicidad dentro del conducto, genera mayores cambios de presión durante los movimientos de entrada, produciendo una mayor eficacia en la liberación del irrigante contra la paredes del conducto no tratadas.
2. La frecuencia de los movimientos de entrada y salida de la gutapercha, 3.3 Hz, 100 movimientos en 30 segundos, es mayor que la frecuencia (1.6 Hz) de la presión hidrodinámica producida por el RinsEndo[®], generando más turbulencias en el conducto.
3. El movimiento de entrada y salida de la punta de la gutapercha actúa probablemente por desplazamiento físico, permitiendo mejor mezcla del irrigante.

2.9.2. Técnicas de irrigación mediante agitación del irrigante

2.9.2.1. Irrigación Ultrasónica pasiva:

El concepto de ultrasonidos (US) en endodoncia fue introducido inicialmente por Richman en 1957.

Sin embargo, Martin demostró la habilidad de las limas K activadas ultrasónicamente para cortar dentina (159). El término endosónico fue aportado por Martin y Cunningham, y se ha definido como el sistema sinérgico y ultrasónico para la instrumentación y la desinfección del sistema de conductos (160).

Comparado con la energía sónica, la ultrasónica produce mayores frecuencias pero menos amplitudes (161). Estas limas están diseñadas para oscilar con una frecuencias entre 25 -30 kHz, por debajo de la percepción del oído humano (20 kHz).

En la literatura se han descrito dos tipos de irrigación ultrasónica. La primera es una combinación de instrumentación ultrasónica e irrigación (UI). El segundo tipo es irrigación ultrasónica pasiva (PUI) sin instrumentación simultánea. La técnica UI no se realiza clínicamente ya que puede llevar a cabo una deformación del conducto.

El término PUI fue usado inicialmente por Weller en 1980 (162).

Una de sus aplicaciones en endodoncia es el aumento de la eficacia de los irrigantes. La eficacia de la irrigación

se basa en la acción mecánica de penetración "flushing" y en la capacidad de los irrigantes en disolver tejido pulpar (163, 164).

Además la capacidad de penetración de los irrigantes ayuda a remover el tejido orgánico y los detritus de las paredes del conducto (127). La penetración de la aguja de irrigación es relativamente débil y no sólo depende de la anatomía del conducto sino también de la posición y del diámetro de la aguja (128). Se ha demostrado que los irrigantes sólo van 1 mm más allá de la punta de la aguja de irrigación (141). Un incremento en el volumen del irrigante no mejora significativamente la remoción de los detritus (160). Aumentando el calibre de la preparación, se mejora la limpieza y desinfección del conducto (128). Sin embargo, la limpieza del tercio apical es difícil (136). La única manera de limpiar las anastomosis es agitando el irrigante (165) ya que no pueden ser limpiadas mecánicamente (8). Los US son una herramienta útil en la limpieza de anatomías complejas. Se ha demostrado que el irrigante junto con la vibración ultrasónica, la cuál genera un movimiento continuo del irrigante, está directamente asociada con la eficacia en la limpieza del sistema de conductos (166).

El “streaming” acústico, descrito por Ahmad en 1987, ha demostrado que el ruido es capaz de romper detritus en los conductos instrumentados. Cuando las limas son activadas ultrasónicamente de manera pasiva, el “streaming” acústico es mejor en la limpieza de los conductos comparado con la técnica manual. De la misma manera, Jensen et al. (167) recomiendan la activación de una lima manual de pequeño calibre mediante un sistema de alta potencia.

La acción penetrante del irrigante puede ser mejorada con el uso de los US (Figura 6). Éstos parece que mejoran la eficacia de los irrigantes en la remoción del tejido orgánico e inorgánico de las paredes del conducto (167). Una posible explicación de esta mejoría es que se produce una mayor velocidad de penetración y volumen del irrigante (164). La capacidad de disolver tejido de los irrigantes en presencia de humedad puede ser mejorada por los US si los remanentes de tejido pulpar y el barrillo dentinario son humedecidos por completo por el irrigante y sujetos a la agitación ultrasónica (168).



Figura 6. Limas ultrasónicas Satelec® e Irrisafe®.

2.9.2.2. Endoactivator®

Recientemente el sistema Endoactivator® (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, EEUU) fue introducido para mejorar la fase de la irrigación. El Endoactivator® usa la energía sónica para irrigar el sistema de conductos. Este sistema de irrigación sónico está formado por 2 componentes, una pieza de mano y 3 puntas de polímero con diferentes calibres que no cortan la dentina (Figura 7). Las puntas se diferencian por colores según la conicidad y el calibre (color amarillo 15/02, roja 25/04, Azul 35/04). La pieza de mano vibra entre 2000-10000 ciclos/min. Y su diseño permite una agitación segura del irrigante y produce una agitación vigorosa y fluida intraconducto. El fabricante recomienda llenar la cámara pulpar del irrigante e introducir

pasivamente las puntas que vibran a 10000 ciclos/min durante 30-60 segundos, una vez se ha finalizado la limpieza y conformación del sistema de conductos. En la literatura se ha demostrado que la irrigación sónica es capaz de ayudar a la limpieza del sistema de conductos (167, 169).



Figura 7. Sistema de activación Endoactivator.

Hasta nuestro conocimiento, no existen estudios en la literatura que evalúen la eficacia del desbridamiento de los conductos ovales usando una única lima R25 del sistema Reciproc® y activando el irrigante con diferentes sistemas de agitación.

3. *Hipótesis*

3.1. HIPÓTESIS NULA:

H0: No habrá diferencias entre las cuatro técnicas utilizadas en la remoción del tejido pulpar.

3.2. HIPÓTESIS ALTERNATIVA:

H1: Habrá diferencias entre las cuatro técnicas utilizadas en la remoción del tejido pulpar.

4. *Objetivos*

4.1. Objetivo General

Evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente de los conductos radiculares de premolares humanos maxilares y mandibulares recién extraídos después de la instrumentación e irrigación de los conductos.

4.2. Objetivo Específicos

1. Evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras el uso de la jeringa convencional de irrigación.
2. Evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica ultrasónica pasiva.
3. Evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica dinámico-manual.

4. Evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica Endoactivator[®].

5. Comparar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica de jeringa convencional de irrigación, ultrasonidos, dinámico-manual y Endoactivator[®].

6. Comparar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica de jeringa convencional de irrigación, ultrasonidos, dinámico-manual y Endoactivator[®] en conductos y ovals y redondos.

5. *Materiales y Métodos*

5.1. Cálculo del número de muestra:

El cálculo del número de muestra se calculó con el software GrandMo (www.imim.cat), la diferencia mínima que se consideró significativa fue aceptando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.2 en un contraste bilateral. Por tanto la muestra necesaria fue de 15 dientes por grupo.

5.2. Selección de la muestra

El procedimiento en su totalidad fue realizado por un sólo operador. Tras la extracción, los dientes fueron inmediatamente sumergidos en una solución de 10ml de formalina al 10% y se repartieron aleatoriamente en uno de los 4 grupos experimentales y en el grupo control. Se tomaron radiografías digitales periapicales (Kodak 6100 Radiography Digital System, Rochester, EEUU) en dirección vestíbulo-lingual y mesio-distal para confirmar la presencia de un solo conducto y que el ápice estuviese completamente formado (Figura 8).

Dividimos aleatoriamente los dientes para que hubiese el mismo número en cada grupo.

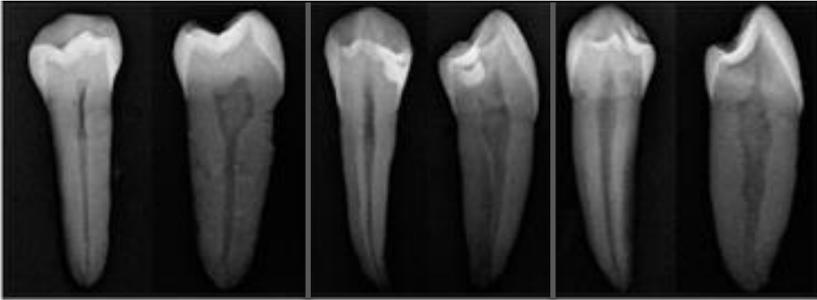


Figura 8. Radiografías periapicales iniciales de 3 dientes de la muestra analizada en sentido vestibulo-lingual y mesio-distal.

5.2.1 Criterios de inclusión/exclusión:

Los criterios de inclusión fueron:

- Premolares maxilares y mandibulares vitales recién extraídos.
- Premolares con una sola raíz.
- Presencia de un conducto.
- Desarrollo radicular completo.

Los criterios de exclusión que se siguieron fueron:

- Premolares con periodontitis severa o caries extensas.

- Presencia de dos conductos.
- Premolares con desarrollo radicular incompleto.
- Premolares con tratamientos endodónticos previos.
- Presencia de calcificaciones.

5.3. Preparación de la muestra

Para simular la presión que ejercen los tejidos periapicales sobre el diente se tomó una impresión de silicona de cada muestra, desde el tercio cervical al tercio apical. Se decoronaron los dientes con el fin de estandarizarlos a una longitud de 18 mm usando un disco de diamante. Posteriormente, se realizó el acceso coronal con una fresa de diamante (Komet, Gerb Brasseler, Lemgo, Alemania) y se confirmó la permeabilidad apical del conducto introduciendo una lima manual K de tamaño 10 (Dentply Maillefer, Ballaigues, Suiza). Para la determinación de la longitud de trabajo (LT), se introdujo una lima K 10 pasivamente en el interior del conducto hasta que la punta de la lima salió a través del foramen apical. Se midió esa longitud y la longitud de trabajo fue establecida restando un milímetro a esa medición. Dicha

ubicación fue confirmada examinando el tercio apical del conducto con microscopio (x5 de magnificación). Para simular la situación clínica, se creó un sistema cerrado, colocando silicona alrededor de cada raíz.

5.4. Instrumentación de los conductos radiculares

5.4.1 Selección de la lima:

Al verificar que una lima K de calibre 10 se introducía en el conducto pasivamente hasta la longitud de trabajo, se seleccionó la lima Reciproc[®] 25 (VDW GmbH, Munich, Alemania) para la posterior instrumentación de los conductos (Figura 9).



Figura 9. Lima R25 del sistema Reciproc[®]

Antes de la instrumentación, todos los conductos fueron irrigados con 2 ml de hipoclorito de sodio (NaOCl) (Farmacia Sánchez-Sabaté, Barcelona, España) al 5,25% usando jeringa de irrigación con salida lateral de calibre 30G (Hawe Max-I-Probe; Dentsply Rinn, York, Pensilvania, EEUU), introduciéndola en el conducto lo

más apical posible, haciendo movimientos de entrada y salida, sin hacer mucha resistencia en las paredes.

Durante toda la instrumentación los conductos se irrigaron con NaOCl al 5,25%, cuya concentración fue verificada iodométricamente antes de cada utilización (Hanna instruments S.R.L., Jud Sala, Rumania).

Para la instrumentación de los conductos se utilizó la lima R25[®] (25.08), que fue activada con un movimiento recíprocante mediante el motor eléctrico “Silver[®]” (VDW GmbH, Munich, Alemania). De acuerdo con las instrucciones del fabricante, la lima fue introducida gradualmente dentro del conducto mediante movimientos de entrada y salida de 3 mm de amplitud aproximadamente y con movimientos de cepillado. Tras 3 movimientos de picoteo, la lima se retiró del conducto y se limpió, y el conducto se irrigó con 2 ml de NaOCl al 5,25%. La instrumentación del conducto finalizó cuando la R25 llegó a LT y se comprobó con una lima k#10 su permeabilidad. Debido a que la lima Reciproc[®] es de un solo uso, se usó un nuevo instrumento para cada diente.

Una vez instrumentado el conducto, la capa de barrillo dentinario se removió con 2 ml de EDTA al 17% (Dentaflux, Madrid, España) durante 2 minutos.

La irrigación final se realizó con 2 ml de agua destilada.

Se estandarizó el volumen total final de irrigante por conducto a 10 ml de NaOCl al 5,25% durante 5 minutos.

La muestra se dividió aleatoriamente en 4 grupos experimentales (n=15) (Tabla 1) en función de la técnica de irrigación final y en un grupo control (n=4).

Grupo	Muestras	Sistema Instrumentación	Sistema Irrigación
G1	15	Reciproc 25	Jeringa Convencional
G2	15	Reciproc 25	Ultrasónica Pasiva
G3	15	Reciproc 25	Dinámico Manual
G4	15	Reciproc 25	Endoactivator

Tabla 1. Grupos experimentales del estudio.

Jeringa Convencional (Grupo experimental 1) (n=15)

En el grupo experimental número 1 se realizó la irrigación con NaOCl mediante jeringa Max-i-probe de calibre 30G (Hawe Max-I-probe; Dentsply Rinn, York,

Pensilvania, EEUU) llevándola a 2mm de la longitud de trabajo (figura 10). El NaOCl se dejó dentro del conducto durante 5 minutos.

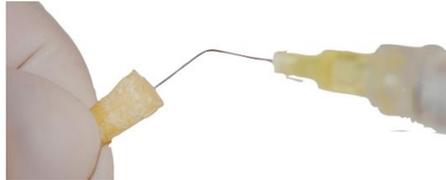


Figura 10. G1. Irrigación mediante jeringa convencional

Ultrasonica pasiva (Grupo experimental 2) (n=15)

En el grupo experimental 2, la irrigación final se realizó con NaOCl activándolo mediante la técnica de irrigación ultrasónica pasiva. La activación ultrasónica se realizó durante 60 segundos con una lima ultrasónica ISO 10 de 25 mm (VDW Endo Ultrasonic Irrisafe), montado en la unidad de ultrasonidos VDW Ultra® (VDW GmbH, Munich, Alemania). La lima se insertó pasivamente y se llevó a 2 mm de la longitud de trabajo (Figura 11). Este procedimiento se llevó a cabo en 3 ciclos de 20 segundos hasta completar 1 minuto. El NaOCl se dejó dentro del conducto durante 5 minutos.

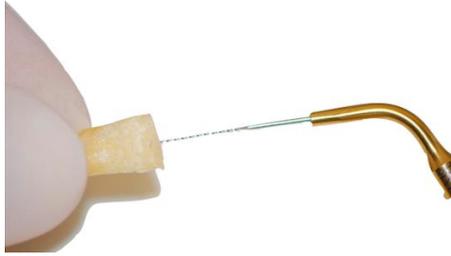


Figura 11. G2. Técnica ultrasónica pasiva

Dinámico-manual (Grupo experimental 3) (n=15)

En el grupo experimental 3, se activó el irrigante con una gutapercha 25 del sistema Reciproc® mediante la técnica dinámico manual. 1 ml de NaOCl al 5,25% fue activado usando un cono de gutapercha con conicidad 08 durante 60 segundos, realizando movimientos de entrada y salida del cono de gutapercha dentro del conducto (figura 12). El NaOCl se dejó dentro del conducto durante 5 minutos.

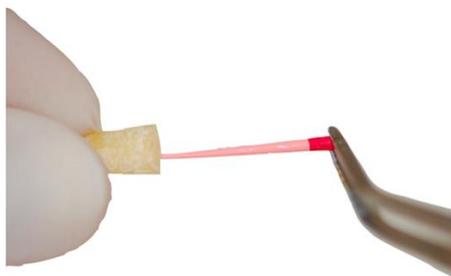


Figura 12. G3. Técnica dinámico-manual.

Endoactivator® (Grupo experimental 4) (n=15)

En el grupo experimental 4, el NaOCl fue activado mediante el sistema Endoactivator® (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, EEUU) durante 60 segundos, a 10,000 ciclos por minuto con una punta de polímero de calibre 25.04 llevada a 2 mm de la longitud de trabajo (Figura 13). El NaOCl se dejó dentro del conducto durante 5 minutos.



Figura 13. G4. Activación con Endoactivator®

Grupo control (n=4)

El grupo control lo formaron 4 dientes vitales en los que no se realizó ningún tratamiento y confirmaron la

presencia de tejido pulpa vital y corroboraron el modelo histológico experimental. Se accedió a la cámara pulpar con una lima K 10 manual para determinar la permeabilidad del conducto. No se realizó ningún tipo de instrumentación o irrigación.

Finalmente todos los conductos radiculares fueron irrigados con alcohol 96° y secados con puntas de papel del 25.04 (Reciproc[®], VDW GmbH, Munich, Germany).

5.5. Proceso histológico de las muestras

5.5.1 Proceso de descalcificación

Los dientes de los 4 grupos experimentales se introdujeron inmediatamente en formalina al 10% durante 48 horas. A continuación las muestras se sumergieron en el agente descalcificante “Decalcifying Solution Lite” (Sigma Aldrich, San Luis, Misuri, EEUU) y permanecieron en el proceso de descalcificación durante 3 semanas.

A continuación, se procedió a la deshidratación de las muestras. El proceso de deshidratación consiste en una serie de baños con concentración ascendente de etanol y otros solventes, en los que se desplaza el agua de los tejidos gradualmente y se deshidratan. El proceso

se lleva a cabo en una máquina, que va realizando los cambios de concentraciones automáticamente programada con las siguientes etapas:

- Etanol 70%, etanol 80%, etanol 90%, etanol 100% y xilol.

El proceso de deshidratación tiene una duración de 13 horas. Si por algún motivo dicho proceso no puede ser iniciado justo después de finalizar el periodo de descalcificación se puede mantener la muestra en una solución de etanol al 70% durante un tiempo.

Posteriormente, todas las muestras se incluyeron en parafina (Figura 14). Una vez se obtienen los moldes de parafina se procede al corte de las muestras con el microtomo. Los cortes se realizaron de 3 μm . Una vez elegidas las muestras, se seleccionaron con un portaobjetos de vidrio, y se dejaron secar a temperatura ambiente durante unos días (Figura 15). A continuación se llevó a cabo la tinción de las muestras con hematoxilina y eosina y se observaron al microscopio.

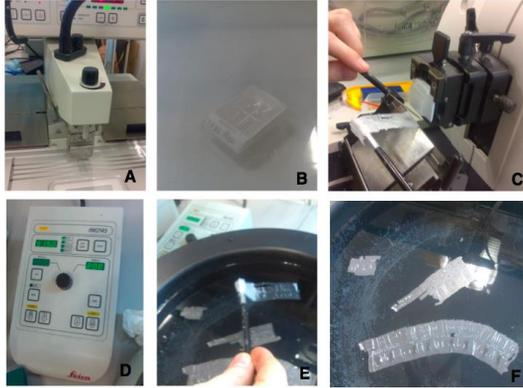


Figura 14. Proceso de las muestras. A, B. Preparación de la muestra dentro del bloque de parafina. C,D. Corte mediante el microtomo. E, F. Observación de las muestras antes de proceder a la tinción con Hematoxilina y Eosina.



Figura 15. G, H, I, Muestras seleccionadas y colocadas en los portaobjetos.

5.5.2 Análisis del tejido pulpar remanente /Evaluación morfológica:

La evaluación del material pulpar remanente se realizó mediante el microscopio óptico LEICA AF7000 (Wetzlar, Alemania) (Figura 16). Se tomaron fotografías con magnificación 20x de las muestras seleccionadas y las imágenes fueron analizadas mediante el programa AutoCAD® (Autodesk versión 2015, San Rafael, EEUU) para trazar el área de interés (Figura 17). El área del conducto y el área del tejido pulpar remanente fueron calculada en mm² y expresada en términos porcentuales mediante la siguiente ecuación (Figura 18).

Área de tejido pulpar remanente/ Área total del conducto x 100.



Figura 16. Observación de las muestras mediante el microscopio Leica.

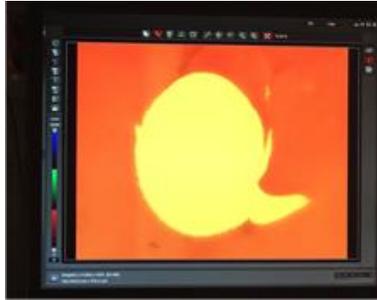


Figura 17. Toma de fotografías de las diferentes muestras.

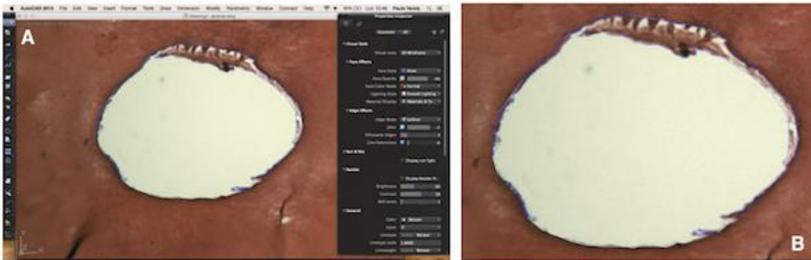


Figura 18. A, B. Análisis del material remanente en el software AutoCAD®

5.6. Evaluación de la forma de los dientes estudiados

Los dientes estudiados se clasificaron en conductos ovals y redondos, midiendo la distancia del conducto radicular a 5 mm del ápice. Si el diámetro mesio-distal (MD) era 2,5 veces mayor al diámetro vestibulo-lingual (VL), los conductos se clasificaban como

ovales, por el contrario, los conductos se clasificaban como redondos al presentar el mismo diámetro MD que VL.

5.7. Análisis estadístico

Una vez calculadas las áreas del material remanente, los resultados obtenidos se presentaron en una tabla de Excel. Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico Statgraphics Plus Versión 5.1 (Statpoint Technologies, Warrenton, Virginia, USA).

Mediante el uso del test de Shapiro-Wilks se observó que los datos no presentaban normalidad en su distribución ($P < 0.05$), por lo que los resultados fueron analizados mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis y test de Scheffé como prueba post-hoc para evaluar las diferencias entre los grupos. Un P valor < 0.05 se consideró estadísticamente significativo.

6. *Resultados*

6.1. Evaluación de la cantidad de remoción de tejido pulpar según el método de activación del irrigante

El área media (%) de tejido pulpar remanente (análisis histológico) en los diferentes grupos se muestra en la tabla 2 (media y desviación estándar).

Todas las técnicas de irrigación evaluadas dejaron remanentes de tejido pulpar en el interior del conducto radicular. La técnica ultrasónica pasiva fue la que eliminó más tejido, seguido de la jeringa convencional, el Endoactivator® y por último la técnica dinámico manual. No se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre la jeringa convencional, la técnica ultrasónica pasiva, la técnica dinámico-manual y el Endoactivator® ($P > 0.05$).

En el análisis por milímetros del tercio apical (1, 2 y 3mm) no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre técnicas (1 mm $P = 0,11$; 2 mm $P = 0,09$; 3mm $P = 0,07$).

Todas las muestras del grupo control presentaron el tejido pulpar intacto (figura 19).

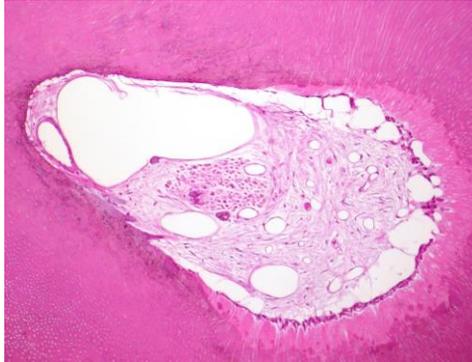


Figura 19. Corte histológico de un diente del control positivo.

Tejido pulpar remanente %	Jeringa Convencional	Ultrasónica Pasiva	Dinámico Manual	Endoactivator
1 mm	23,08 ± 5,76	12,38 ± 18,89	30,27 ± 33,23	33,65 ± 24,34
2 mm	13,18 ± 21,79	5,06 ± 11,58	21,19 ± 25,39	14,89 ± 20,64
3 mm	11,19 ± 14,74	0,99 ± 3,54	11,89 ± 17,73	3,66 ± 8,51
Total	15,82 ± 17,1	6,15 ± 10,4	21,12 ± 14,5	17,41 ± 11,3

Tabla 2. Porcentaje de tejido pulpar remanente (% ± SD) en el interior de los conductos radiculares evaluado mediante análisis histológico.

6.2. Evaluación de la cantidad de remoción de tejido pulpar según el método de activación del irrigante en conductos ovals y redondos

El área media (%) de tejido pulpar remanente (análisis histológico) en los grupos ovals y redondos se muestra en la tabla 3 (la media y desviación estándar).

En ambos grupos evaluados encontramos tejido pulpar remanente. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los conductos ovals y redondos en cuanto a tejido pulpar remanente en el interior del conducto radicular, quedando más tejido en los tejidos ovals (Figura 20) ($P=0,0005$). Encontramos diferencias a 1 mm (0,0005), a 2 mm (0,0063) y a 3 mm (0,038).

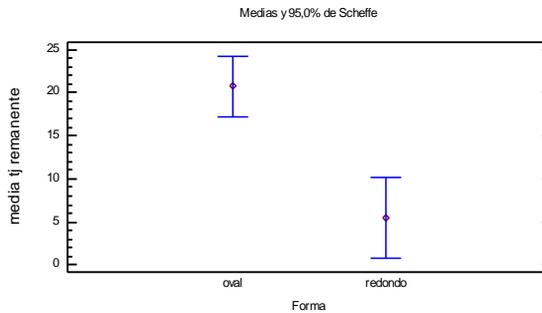


Figura 20. Indica la diferencia de la cantidad de tejido pulpar remanente en conductos ovales/redondos.

	Oval (n= 38)	Redondo (n=22)
Tejido pulpar remanente %		
	20,7 ± 18,1	5,48 ± 8,4

Tabla 3. Porcentaje de tejido pulpar remanente (% ± SD) en el interior de los conductos ovales y redondos.

La tabla 3 nos muestra el tejido pulpar remanente en conductos ovales y redondos para cada grupo experimental. No se encontraron diferencias significativas entre las 4 técnicas evaluadas en el tercio apical (suma de los 3 mm apicales) (P = 0,0826).

TPR %	G1 Jeringa Convencional		G2 Ultrasónica Pasiva		G3 Dinámico Manual		G4 Endoactivator	
	Oval	Redondo	Oval	Redondo	Oval	Redondo	Oval	Redondo
1 mm	34,58 ± 5,76 ^{ABCa}	0,07 ± 8,15 ^{ACa}	20,22 ± 6,15 ^{ABCa}	3,42 ± 6,58 ^{ACa}	45,25 ± 9,43 ^B	7,81 ± 11,55 ^{ABCa}	35,73 ± 7,92 ^{ABCa}	29,49 ± 11,21 ^{ABC}
2 mm	19,22 ± 6,54 ^{ABa}	1,12 ± 9,24 ^A	9,23 ± 3,89 ^{ABab}	0,31 ± 4,16 ^{Aa}	32,52 ± 7,24 ^{Ba}	4,19 ± 8,87 ^{ABa}	16,55 ± 6,72 ^{ABab}	11,57 ± 9,51 ^{ABa}
3 mm	16,38 ± 4,14 ^{Aa}	0,82 ± 5,86 ^{Aa}	0,01 ± 1,23 ^{Ab}	2,13 ± 1,32 ^{Aa}	16,49 ± 5,79 ^{Aa}	4,99 ± 7,09 ^{Aa}	5,14 ± 2,69 ^{Ab}	0,75 ± 3,81 ^{Aa}
Total	23,4 ± 22	0,67 ± 1,72	9,82 ± 17,37	1,95 ± 4,57	31,4 ± 29,8	5,67 ± 8,06	19,14 ± 23,14	13,9 ± 21,3

Tabla 4. Tejido pulpar remanente en cada grupo experimental (porcentaje ± SD). No compartir letras mayúsculas indica diferencias estadísticamente significativas en la misma fila. No compartir letras minúsculas indica diferencias estadísticamente significativas en la fila misma columna.

En cuanto a las diferencias significativas entre los distintos grupos, sólo encontramos entre el grupo G1 redondo y el G3 oval y entre el grupo G2 redondo y el G3 oval. Respecto a las diferencias estadísticamente significativas dentro de cada grupo, encontramos diferencias entre 1 mm y 3 mm en los grupos G4 oval y G2 oval.

7. *Discusión*

Se ha descrito en la literatura que los restos de detritus dentro del sistema de conductos pueden albergar bacterias provocando un fracaso en el tratamiento endodóntico (170, 171), por lo que esta investigación se llevó a cabo para evaluar si el uso de diferentes sistemas de irrigación eliminaban mayor cantidad de tejido pulpar en premolares instrumentados con el sistema Reciproc® combinado con diferentes sistemas de irrigación.

El objetivo de la instrumentación es conformar el conducto, remover la dentina infectada y facilitar la llegada de los irrigantes al tercio apical (16), sin embargo, deber ser combinada con una buena liberación y agitación efectiva del irrigante para completar el proceso de limpieza y disminuir la carga microbiana dentro del sistema de conductos, alcanzando el éxito del tratamiento endodóntico (8, 72).

Varios estudios han demostrado que la activación ultrasónica de los irrigantes tras la instrumentación manual o mecánica mejora la limpieza del sistema de conductos y de los istmos (72, 172).

7.1. Discusión de la metodología

7.1.1. Selección de la muestra

Se seleccionaron premolares recién extraídos, previamente diagnosticados con pulpa vital, para estandarizar el contenido pulpar de la muestra. Una variación en las condiciones preoperatorias de los conductos radiculares pueden llevar a una cantidad de tejido y características no similares (173). En el modelo usado, se acepta que variaciones en el grado de fibrosis o necrosis parcial pueden contribuir a resultados diferentes. La utilización de dientes necróticos puede contener menor cantidad de detritus.

Se ha demostrado que no siempre se consigue fácilmente la limpieza por completo del conducto, sobre todo durante la preparación de conductos ovals (9, 50, 51, 58). Debido a que los premolares con conductos ovals suponen un desafío para cualquier lima y sistema de irrigación, este tipo de conducto se seleccionó para el presente estudio (50).

7.1.2. Estandarización de la longitud radicular

La mayoría de los estudios consultados estandarizan la longitud de los dientes seccionando la corona (10). La longitud de trabajo se estandarizó a 18 mm para prevenir la introducción de variables que puedan contribuir a variaciones en la preparación de los conductos. Permite la estandarización de la muestra eliminando variables como la anatomía coronal y la longitud del conducto radicular, proporcionando así una comparación más fiable de las técnicas de irrigación utilizadas.

7.1.3. Sistema cerrado de irrigación

En nuestro estudio creamos un sistema cerrado de irrigación, para reproducir lo máximo posible la situación clínica. In vivo, el conducto actúa como un túnel o sistema cerrado, que produce frecuentemente un efecto de “vapor-lock” en la parte apical mientras irrigamos (13, 129, 130, 156). Cuando evaluamos el efecto de los irrigantes y los fluidos mecánicos, debemos tener en consideración la presencia de los tejidos perirradiculares alrededor de la superficie del diente, evitando la posible extrusión del irrigante creando un sistema cerrado. Clínicamente

significa que el irrigante encuentra una vía de salida coronal y no apical o lateralmente. Los estudios que crean un sistema cerrado han demostrado un incompleto desbridamiento de la parte apical del conducto con la técnica de la jeringa convencional (156).

7.1.4. Concentración del hipoclorito de sodio

La concentración de la solución de NaOCl fue verificada iodométricamente ya que queríamos comprobar que siempre usábamos la misma concentración. Utilizar un protocolo eficiente de irrigación es crucial para la obtención de una preparación químico-mecánica efectiva. Promueve la desinfección bacteriana y la eliminación del tejido necrótico y los tejidos del sistema de conductos (6).

En la literatura se han recomendado concentraciones elevadas de hipoclorito de sodio de entre el 4 y el 6%. En nuestro estudio utilizamos hipoclorito de sodio al 5,25% ya que es la concentración usada mayoritariamente por la literatura (174, 175).

Hand et al. (115) demostraron en su artículo que el hipoclorito de sodio al 2,5% es menos eficiente que al

5,25% a los 30 minutos. Estudios previos afirman que la capacidad de disolución de tejido del NaOCl disminuye cuando es diluido (80, 115). Abou-Rass et al. (80) confirman en su estudio que el NaOCl a concentraciones de 2,6% o 5,25% calentado a 60°C (140°F) es superior disolviendo tejido conectivo comparado con tejido necrótico. En su estudio también concluyeron que la concentración de hipoclorito de sodio al 5.25% es más efectiva que al 2,6%.

7.1.5. Justificación control positivo

La selección prospectiva in vivo de los dientes vitales es un método eficaz y estandarizado para el control de la selección de los dientes con tejido pulpar (173), que fue confirmado posteriormente con los controles histológicos positivos. Este es un paso metodológico esencial para asegurar la credibilidad de un estudio comparativo basado en evaluación histológica (173, 176). Todas las imágenes microscópicas del control positivo mostraron una cantidad sustancial de tejido residual pulpar. Por lo que, los resultados del control positivo confirmaron el modelo histológico experimental así como la eficiencia de la recolección in vivo de las

muestras.

7.1.6. Sistemas de activación del hipoclorito.

En nuestro estudio comparamos la jeringa convencional, la técnica ultrasónica pasiva, la técnica dinámico manual y el Endoactivator® debido a que en la literatura son las técnicas más utilizadas para activar el irrigante durante el tratamiento endodóntico ya que aumentan el flujo y la distribución de los irrigantes dentro del sistema de conductos (13).

Boutsioukis et al. (153) concluyeron en su estudio que cuando se utiliza el sistema de irrigación por presión positiva, la aguja se debe colocar a 1 mm de la longitud de trabajo para asegurarnos la fluidez del irrigante. Esta recomendación, aunque es físicamente correcta, no es biológicamente segura ya que conlleva a una posible extrusión del NaOCl a los tejidos perirradiculares (177, 178). Por eso, en nuestro estudio en el grupo de la jeringa convencional de irrigación, limitamos la profundidad de penetración a 2 mm de la longitud de trabajo, similar al uso clínico de la jeringa de irrigación (75).

Otro factor que debemos tener en cuenta cuando evaluamos los sistemas de irrigación es la presencia de “vapor lock” creado por la descomposición orgánica del NaOCl en una burbuja de dióxido de carbono y amonio. Tay et al. (129) demostró en su estudio que la presencia de “vapor lock” tiene efectos adversos en la eficacia del desbordamiento cuando usamos la irrigación por presión positiva.

En este estudio utilizamos la técnica ultrasónica pasiva y el Endoactivator[®] ya que se ha demostrado en la literatura que las técnicas de activación sónica y ultrasónica presentan mejor limpieza de los conductos laterales en comparación con la jeringa convencional de irrigación (13, 126, 179, 180).

El uso de la irrigación ultrasónica pasiva se basa en la transmisión de energía de un instrumento ultrasónico al irrigante dentro del conducto (181). La eficacia de la irrigación ultrasónica no sólo depende de la duración de la activación, sino del reemplazo del irrigante (182).

El fenómeno de cavitación, juega un papel importante en la eficacia de PUI. Sin embargo, los

mecanismos que conciernen este sistema no están claros en la literatura, de hecho, el efecto físico y mecánico responsable de la eficacia de PUI permanece incierto.

En los estudios publicados, existe una gran diferencia en términos de eficacia, esto puede deberse a la dificultad a la hora de estandarizar la posición de la punta ultrasónica en el centro del conducto que puede influir en la amplitud del movimiento, teniendo un efecto directo sobre la eficacia de PUI. Esto puede solucionarse, aumentando la frecuencia del ultrasonido, ya que la velocidad de transmisión es tan fuerte que un mínimo cambio en la posición del instrumento no supone ninguna diferencia en la eficacia.

Se ha demostrado, que el agua es menos eficiente que el NaOCl cuando se activa mediante PUI, ya que las propiedades físicas de ambos pueden tener un efecto sobre la transmisión de la energía ultrasónica.

Dentro de las técnicas evaluadas introducimos la dinámico-manual ya que autores como McGill et al. (157) y Huang et al. (158) demostraron en sus estudios que realizando movimientos de 2-3 mm con un cono

maestro de gutapercha en un conducto instrumentado se puede producir un efecto hidrodinámico eficaz mejorando el desplazamiento y cambio de irrigante. Nosotros utilizamos un cono de gutapercha con conicidad adaptado a las paredes del conducto ya que se ha demostrado que es más eficaz en comparación con el cono sin conicidad (183).

En nuestro estudio estandarizamos el volumen de hipoclorito de sodio (14 ml), el tiempo (5 minutos en contacto dentro del conducto radicular) y su activación (60 segundos) para comparar las técnicas de irrigación entre ellas. En la literatura la influencia del tiempo de irrigación en la eficacia de PUI no es clara. En nuestro estudio realizamos 3 ciclos de activación de 20 segundos cada una, ya que Van der Sluis et al. (184) demostró que la activación del hipoclorito de sodio remueve mayor cantidad de detritus, indicando un efecto acumulativo.

El volumen de irrigante utilizado está directamente relacionado con la efectividad en la limpieza de los conductos radiculares cuando se emplean técnicas de activación del irrigante (127). Variables como el tiempo y realizar una irrigación continúa son factores muy

importantes en la eficacia del hipoclorito (185), además tenemos que tener en cuenta que la profundidad de penetración de los irrigantes pueden variar en función del método de irrigación utilizado (186).

7.1.7. Métodos de evaluación del tejido pulpar remanente

Se han utilizado numerosos métodos para evaluar la eficacia de las técnicas de instrumentación e irrigación, incluyendo el microscopio electrónico de barrido (SEM) (187), técnicas de ensamblaje (188), secciones histológicas (8), el microscopio confocal láser de barrido (CLSM) (189) y la microtomografía computerizada (micro-CT) (5, 190).

La evaluación del tejido pulpar remanente mediante cortes transversales y su posterior análisis con magnificación es un método ampliamente utilizado (9, 69, 75, 191, 192) por lo que en nuestro estudio utilizamos la técnica de sección histológica y el software AutoCad® para evaluar la cantidad de tejido pulpar, ya que se ha demostrado que es mejor que la utilización del disco de

corte utilizado en algunos estudios.

La microtomografía es excelente para evaluar el interior de los conductos pre y post instrumentación, y provee una visualización precisa de las características morfológicas del diente sin destruirlo, sin embargo presenta inconvenientes como su elevado coste, tiempo de obtención de las imágenes y no puede ser evaluado a nivel clínico (190). El SEM se utiliza normalmente para evaluar la limpieza de las paredes de los conductos pero sólo sirve para una proporción pequeña.

Las técnicas histológicas y las de ensamblaje, permiten evaluar a los tres niveles (coronal, tercio y apical), y comparar la forma de la sección transversal, así como los detritus y la conformación de las paredes del conducto (9).

En un estudio piloto utilizamos el microscopio confocal láser de barrido (CLSM) para evaluar el interior de los conductos radiculares (figura 21). Finalmente, descartamos este método de evaluación ya que perdíamos muestra ya que para su utilización el CLSM requiere cortes muy finos.

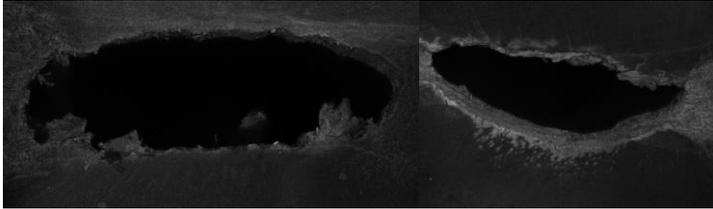


Figura 21. Fotografías tomadas con el CLSM del estudio piloto.

7.1.8. Sistema Reciproc®

En diversos estudios se ha demostrado la alta eficacia de corte del sistema Reciproc®, relacionada probablemente a la sección transversal con forma de S itálica y ángulo de corte positivo (193, 194).

Previamente a este trabajo de investigación, realizamos un estudio piloto con el mismo objetivo, pero modificando dos aspectos muy importantes de la metodología. En ese estudio obtuvimos el 100% de remoción de detritus pulpares en todas las muestras evaluadas independientemente de su forma (oval/redondo) (figura 22). Estos resultados seguramente se debieron a que instrumentamos los conductos con una lima R40 (40/06) e irrigamos durante 30 minutos con hipoclorito de sodio al 5,25% activándolo con diferentes sistemas de irrigación.

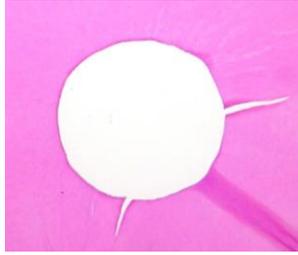


Figura 22. Fotografías tomadas con el microscopio Leica de los cortes histológicos de las muestras instrumentadas con R40.

Finalmente, decidimos cambiar de metodología, reduciendo el calibre de la lima utilizada y el tiempo de irrigación final a 5 minutos para evaluar la eficacia de cada uno de los sistemas de activación del irrigante sin que nos influyera otra variable.

7.1.9. Conductos ovals vs conductos redondos

La conformación del tercio apical del sistema de conductos es un gran desafío para el tratamiento endodóntico (195), debido especialmente a la complejidad de la anatomía (187), y las limitaciones de los sistemas de instrumentación (196). Evaluamos los 3 últimos mm apicales de los conductos ya que es dónde se presentan la mayor parte de los conductos accesorios que pueden albergar restos de detritus y ser reservorio de patógenos

que influyen en el éxito del tratamiento (197, 198).

Al evaluar los resultados no obtuvimos diferencias estadísticas entre los grupos. En un segundo análisis, se evaluó la remoción de tejido pulpar entre los conductos ovals y redondos debido a que el grado de limpieza difiere en función de la variabilidad anatómica de los conductos (199-201). Al evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente encontramos diferencias estadísticamente significativas entre ambas formas.

En nuestro estudio llegamos a la conclusión de que ninguna técnica es capaz de preparar completamente los conductos radiculares ovals, resultados que coinciden con los obtenidos en los estudios previamente publicados (200-203).

7.2 Discusión de los resultados:

7.2.1. Evaluación cantidad de tejido pulpar remanente

Los resultados de este estudio demuestran que existen una cantidad de tejido pulpar variable en todos los grupos. Nuestros resultados coinciden con estudios

previos que demuestran que ninguna técnica de instrumentación realiza una limpieza completa de las paredes de los conductos radiculares (15, 202, 204, 205).

Las secciones transversales obtenidas de este estudio confirman que los instrumentos rotatorios de Ni-Ti tienden a crear preparaciones redondas en conductos ovalados, dejando las extensiones vestibulares y linguales con tejido pulpar remanente y con áreas de dentina sin tratar (figura 23), nuestros resultados coinciden con los obtenidos en los estudios de Taha et al. (9) y Paqué et al. (200). Esto indica que los instrumentos rotatorios de NiTi son incapaces de preparar adecuadamente los conductos ovals debido a la diferencia entre el diseño del instrumento y la geometría del conducto radicular.

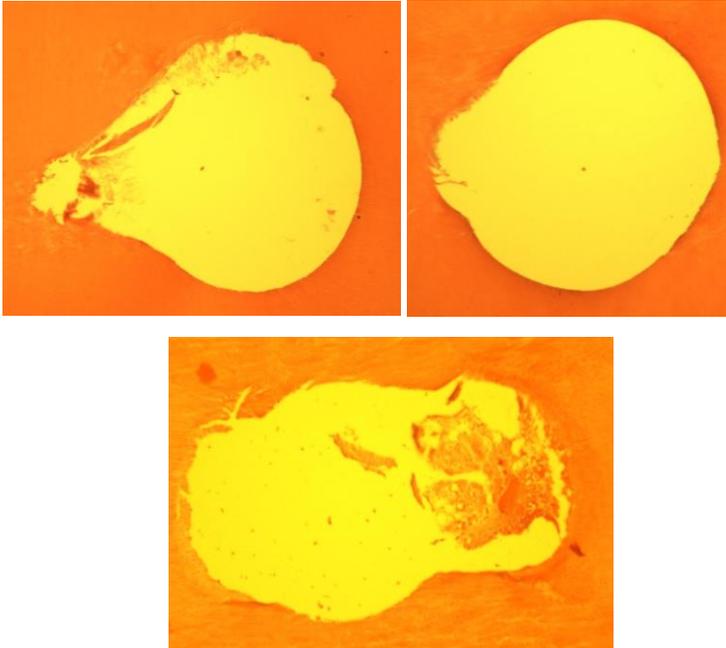


Figura 23. Fotografías de conductos ovals instrumentados donde se observa tejido pulpar remanente en las zonas vestibulares y linguales.

Hasta la fecha no hay estudios que comparen la eficacia de diferentes sistemas de irrigación tras instrumentar con sistemas recíprocos comparando conductos ovals y redondos.

Los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre la cantidad de tejido pulpar encontrada en conductos ovals y redondos ($P < 0,05$). Existe mayor cantidad de tejido pulpar en conductos ovals en comparación con los redondos, resultados similares a los obtenidos por De Deus et al.(10). En su estudio evaluaron la calidad de desbridamiento obtenida entre una lima Protaper[®] F2 utilizada en movimiento recíprocante comparada con la secuencia entera del sistema Protaper[®] en las muestras obtenidas entre 1-5 mm apicales. Se eliminó mayor cantidad de tejido en conductos redondos que en conductos ovals, encontrando diferencias estadísticamente significativas entre ambas técnicas ($P < 0,05$).

En su estudio concluyeron que la secuencia entera del sistema Protaper[®] elimina mayor cantidad de tejido pulpar en comparación con la lima única Protaper[®] en conductos ovals, mientras que no encuentran diferencias estadísticamente significativas entre técnicas en conductos ovals ($P > 0,05$).

La gran diferencia encontrada en el presente estudio entre dientes tratados con la misma técnica demuestra que influye más la anatomía del conducto en la calidad del desbridamiento que no el instrumento o a la técnica de irrigación utilizada. Se ha demostrado que la calidad de la limpieza del conducto radicular es más dependiente de la preparación química que de la mecánica cuando se ha obtenido una adecuada conicidad en el sistema (10).

Los conductos ovals estrechos y rectos, con un calibre apical uniforme no conllevan un gran desafío clínico, y tras la instrumentación se consigue una sección transversal redonda en el tercio apical. Esto coincide con estudios previos, en los que los conductos ovals tienden a obtener una forma redonda en el tercio apical (34, 206), por lo que todos los dientes de nuestro estudio se prepararon hasta un tamaño apical similar (calibre 25), para minimizar las variaciones entre diferentes técnicas.

Numerosos estudios han demostrado que instrumentar hasta un calibre 30 reduce la carga bacteriana, mejora los efectos antibacterianos de los irrigantes y previene el crecimiento bacteriano tras la limpieza y conformación de los conductos radiculares (17,

68, 207).

En nuestro estudio instrumentamos hasta un calibre 25 para mantener un equilibrio entre la preservación de las estructuras dentales, la anatomía original del foramen, y la desinfección apical (208). Yared y Dagher confirman en su estudio que instrumentar hasta un calibre 25 es tan eficiente como un calibre 40 en la reducción de microorganismos (207). En nuestro estudio queríamos evaluar la eficacia de los diferentes sistemas de activación del irrigante, por eso utilizamos un calibre menor, para que la instrumentación no influyera en los resultados obtenidos.

Al analizar la cantidad de tejido pulpar remanente a 1, 2 y 3 mm no encontramos diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$), sin embargo nuestros resultados muestran una mayor cantidad de detritus pulpares cuando evaluamos a 1 mm de distancia del foramen apical. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Klyn et al. (40) y Evans et al. (173) al encontrar mayor cantidad de detritus a 1 mm apical, confirmando que el 1/3 apical de conductos es el área más difícil de limpiar (8, 49, 176, 209, 210).

Los resultados obtenidos indican que no existen diferencias significativas entre las técnicas evaluadas (jeringa convencional, técnica ultrasónica pasiva, dinámico-manual y Endoactivator[®]), resultados similares obtuvieron Klyn et al. (40) al no encontrar diferencias significativas entre la jeringa convencional, la técnica ultrasónica pasiva, el Endoactivator[®] y el sistema F[®] cuando evaluaron la limpieza de istmos en molares inferiores. De igual modo, Freire et al. (190) evaluaron recientemente en su estudio con microtomografía computerizada (micro-CT) la remoción de tejido duro antes y después de la instrumentación con R25 e irrigación con la técnica ultrasónica pasiva y el Endovac[®] en conductos mesiales de molares inferiores y no encontraron diferencias significativas entre ambas técnicas.

Varios estudios han demostrado que la activación ultrasónica de los irrigantes tras la instrumentación manual o mecánica mejora la limpieza del sistema de conductos y de los istmos (72, 172). Nuestro estudio demuestra que la técnica de irrigación ultrasónica pasiva es la que elimina mayor cantidad de tejido pulpar en

comparación con el resto de técnicas. PUI obtuvo los mejores resultados, con diferencias estadísticamente significativas, en la remoción de detritus en conductos ovals y redondos, en comparación con la jeringa de irrigación, coincidiendo con los obtenidos por Jiang et al. (183). El sistema de irrigación sónico, Endoactivator[®], obtuvo peores resultados en comparación con PUI, coincidiendo con los estudios de Stamos et al. (211) y Sabins et al. (169).

Paqué et al. (200) observaron mediante la tomografía computerizada más de la mitad de las paredes de dentina sin tratar (desde 59,6-79,9%), independientemente de la técnica de instrumentación usada en conductos redondos. Los resultados obtenidos en este estudio, conductos ovals menos limpios, coinciden con los resultados obtenidos en los estudios de Paqué et al.(200) y De Deus et al.(10).

Según los resultados obtenidos, se acepta parcialmente la hipótesis alternativa ya que se encontraron diferencias significativas en algunas de las variables estudiadas.

8. Conclusiones

1. Al evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc® tras el uso de la jeringa convencional de irrigación no encontramos diferencias estadísticamente significativas a 1, 2 y 3 mm.
2. Al evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc® tras la activación del irrigante mediante la técnica ultrasónica pasiva no encontramos diferencias estadísticamente significativas a 1, 2 y 3 mm.
3. Al evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema Reciproc® tras la activación del irrigante mediante la técnica dinámico-manual no encontramos diferencias estadísticamente significativas a 1, 2 y 3 mm.
4. Al evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en premolares instrumentados con el sistema

Reciproc[®] tras la activación del irrigante mediante la técnica Endoactivator[®] no encontramos diferencias estadísticamente significativas a 1, 2 y 3 mm.

5. Al comparar los sistemas de irrigación jeringa convencional, lima ultrasónica pasiva, técnica dinámico manual y Endoactivator[®], no hubo diferencias estadísticamente significativas en la remoción de tejido pulpar remanente. Sin embargo, la técnica ultrasónica pasiva fue la que obtuvo mejores resultados.

6. Al comparar los conductos ovals y conductos redondos, se eliminó mayor cantidad de tejido pulpar en conductos redondos en comparación con conductos ovals ($P=0,0005$). Encontramos diferencias a 1 mm (0,0005), a 2 mm (0,0063) y a 3 mm (0,038).

9. Perspectivas de futuro

Proponemos desarrollar nuevos estudios en esta línea de investigación empleando el micro-CT como método de evaluación para evaluar la cantidad de tejido pulpar remanente en toda la longitud del conducto radicular.

Sería conveniente comparar sistemas de limas recíprocantes en la remoción del tejido pulpar utilizando diferentes sistemas de irrigación teniendo como base dientes con conductos radiculares ovales.

10. Referencias Bibliográficas

1. Nair PN. Endodontic Topics. 2003.
2. Nair PN. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. Critical reviews in oral biology and medicine : an official publication of the American Association of Oral Biologists. 2004;15(6):348-81.
3. Siqueira JF, Jr. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. International endodontic journal. 2001;34(1):1-10.
4. Siqueira JF, Jr. Periapical actinomycosis and infection with Propionibacterium Propionicum. Endodontic Topics. 2003:78-95.
5. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. Journal of endodontics. 2004;30(8):559-67.
6. Moorer WR, Wesselink PR. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. International endodontic journal. 1982;15(4):187-96.
7. Siqueira JF, Jr., Rocas IN, Santos SR, Lima KC, Magalhaes FA, de Uzeda M. Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. Journal of endodontics. 2002;28(3):181-4.
8. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. Journal of endodontics. 2005;31(3):166-70.

9. Taha NA, Ozawa T, Messer HH. Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals. *Journal of endodontics*. 2010;36(3):532-5.
10. De-Deus G, Barino B, Zamolyi RQ, Souza E, Fonseca A, Jr., Fidel S, et al. Suboptimal debridement quality produced by the single-file F2 ProTaper technique in oval-shaped canals. *Journal of endodontics*. 2010;36(11):1897-900.
11. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The Effects of Surgical Exposures of Dental Pulp in Germ-Free and Conventional Laboratory Rats. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1965;20:340-9.
12. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scandinavian journal of dental research*. 1981;89(4):321-8.
13. Gu LS, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *Journal of endodontics*. 2009;35(6):791-804.
14. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2002;94(6):658-66.
15. Paque F, Ganahl D, Peters OA. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):1056-9.

16. Siqueira JF, Jr., Lima KC, Magalhaes FA, Lopes HP, de Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *Journal of endodontics*. 1999;25(5):332-5.
17. Rollison S, Barnett F, Stevens RH. Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2002;94(3):366-71.
18. Glossary of endodontic terms [Internet]. 2011.
19. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1984;58(5):589-99.
20. Siqueira JF, Jr., Rocas IN, Alves FR, Campos LC. Periradicular status related to the quality of coronal restorations and root canal fillings in a Brazilian population. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2005;100(3):369-74.
21. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dental clinics of North America*. 1974;18(2):269-96.
22. Jou YT, Karabucak B, Levin J, Liu D. Endodontic working width: current concepts and techniques. *Dental clinics of North America*. 2004;48(1):323-35.
23. Pineda F, Kuttler Y. Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1972;33(1):101-10.

24. Tse CM WR. Endodontic treatment of a canine with a talon cusp. *Dent Traumatol.* 1988;4(5):235-7.
25. Eskoz N, Weine FS. Canal configuration of the mesiobuccal root of the maxillary second molar. *Journal of endodontics.* 1995;21(1):38-42.
26. Pereira ES, Peixoto IF, Nakagawa RK, Buono VT, Bahia MG. Cleaning the apical third of curved canals after different irrigation protocols. *Brazilian dental journal.* 2012;23(4):351-6.
27. Siqueira JF, Jr., Rocas IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of endodontics.* 2008;34(11):1291-301.
28. Wong R. Conventional endodontic failure and retreatment. *Dental clinics of North America.* 2004;48(1):265-89.
29. Vertucci FJ. Root canal morphology of mandibular premolars. *Journal of the American Dental Association (1939).* 1978;97(1):47-50.
30. Trope M, Elfenbein L, Tronstad L. Mandibular premolars with more than one root canal in different race groups. *Journal of endodontics.* 1986;12(8):343-5.
31. Yu XF, Sun P, Zhang H, Deng J, Cao YX. Treatment of mandibular first premolars with complex root canals: report of 2 cases. *Shanghai journal of stomatology.* 2014;23(5):638-40.
32. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. Anomalous mandibular premolars: a mandibular first premolar with

three roots and a mandibular second premolar with a C-shaped canal system. *International endodontic journal*. 2008;41(11):1005-14.

33. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. The root and root canal morphology of the human mandibular second premolar: a literature review. *Journal of endodontics*. 2007;33(9):1031-7.

34. Wu MK, R'Oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2000;89(6):739-43.

35. Farmakis ET. Four-rooted mandibular second premolar. *Australian Endodontic Journal : The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 2008;34(3):126-8.

36. Macri E, Zmener O. Five canals in a mandibular second premolar. *Journal of endodontics*. 2000;26(5):304-5.

37. Simon JH, Dogan H, Ceresa LM, Silver GK. The radicular groove: its potential clinical significance. *Journal of endodontics*. 2000;26(5):295-8.

38. Fan B YJ GJ, Fan M. . Root canal systems in mandibular first premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *Journal of endodontics*. 2008;34(11):1337-41.

39. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Villas-Boas MH, Cavenago BC, Duarte MH, Versiani MA. Morphologic micro-computed tomography analysis of mandibular

premolars with three root canals. *Journal of endodontics*. 2013;39(9):1130-5.

40. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2010;36(8):1367-71.

41. Orstavik D. Root canal disinfection: a review of concepts and recent developments. *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 2003;29(2):70-4.

42. Shen Y, Qian W, Chung C, Olsen I, Haapasalo M. Evaluation of the effect of two chlorhexidine preparations on biofilm bacteria in vitro: a three-dimensional quantitative analysis. *Journal of endodontics*. 2009;35(7):981-5.

43. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *Journal of endodontics*. 1998;24(7):472-6.

44. Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TM, Orstavik D, Haapasalo MP. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *International endodontic journal*. 2000;33(2):126-31.

45. Portenier I, Haapasalo H, Orstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M. Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix,

type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *Journal of endodontics*. 2002;28(9):634-7.

46. Haapasalo M, Qian W, Portenier I, Waltimo T. Effects of dentin on the antimicrobial properties of endodontic medicaments. *Journal of endodontics*. 2007;33(8):917-25.

47. Zapata RO, Bramante CM, de Moraes IG, Bernardineli N, Gasparoto TH, Graeff MS, et al. Confocal laser scanning microscopy is appropriate to detect viability of *Enterococcus faecalis* in infected dentin. *Journal of endodontics*. 2008;34(10):1198-201.

48. Walia HM BW, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *Journal of endodontics*. 1988;14(7):346-51.

49. Barbizam JV, Fariniuk LF, Marchesan MA, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Effectiveness of manual and rotary instrumentation techniques for cleaning flattened root canals. *Journal of endodontics*. 2002;28(5):365-6.

50. De-Deus G, Souza EM, Barino B, Maia J, Zamolyi RQ, Reis C, et al. The self-adjusting file optimizes debridement quality in oval-shaped root canals. *Journal of endodontics*. 2011;37(5):701-5.

51. Fornari VJ, Silva-Sousa YT, Vanni JR, Pecora JD, Versiani MA, Sousa-Neto MD. Histological evaluation of the effectiveness of increased apical enlargement for cleaning the apical third of curved canals. *International endodontic journal*. 2010;43(11):988-94.

52. Versiani MA, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Microcomputed tomography analysis of the root canal

morphology of single-rooted mandibular canines. *International endodontic journal*. 2013;46(9):800-7.

53. Kazemi RB, Stenman E, Spangberg LS. Machining efficiency and wear resistance of nickel-titanium endodontic files. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 1996;81(5):596-602.

54. Marchesan MA, Arruda MP, Silva-Sousa YT, Saquy PC, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Morphometrical analysis of cleaning capacity using nickel-titanium rotary instrumentation associated with irrigating solutions in mesio-distal flattened root canals. *Journal of applied oral science : revista FOB*. 2003;11(1):55-9.

55. Kuhn WG, Carnes DL, Jr., Clement DJ, Walker WA, 3rd. Effect of tip design of nickel-titanium and stainless steel files on root canal preparation. *Journal of endodontics*. 1997;23(12):735-8.

56. Reddy S, Neelakantan P, Saghiri MA, Lotfi M, Subbarao CV, Garcia-Godoy F, et al. Removal of gutta-percha/zinc-oxide-eugenol sealer or gutta-percha/epoxy resin sealer from severely curved canals: an in vitro study. *Int J Dent*. 2011;2011:541831.

57. Ferraz CC, Gomes NV, Gomes BP, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Apical extrusion of debris and irrigants using two hand and three engine-driven instrumentation techniques. *International endodontic journal*. 2001;34(5):354-8.

58. Nadalin MR, Perez DE, Vansan LP, Paschoala C, Souza-Neto MD, Saquy PC. Effectiveness of different final

irrigation protocols in removing debris in flattened root canals. *Brazilian dental journal*. 2009;20(3):211-4.

59. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG, Jr. The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *Journal of endodontics*. 1985;11(5):203-11.

60. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *International endodontic journal*. 2008;41(4):339-44.

61. Pedulla E, Grande NM, Plotino G, Palermo F, Gambarini G, Rapisarda E. Cyclic fatigue resistance of two reciprocating nickel-titanium instruments after immersion in sodium hypochlorite. *International endodontic journal*. 2013;46(2):155-9.

62. Shen Y, Cheung GS, Bian Z, Peng B. Comparison of defects in ProFile and ProTaper systems after clinical use. *Journal of endodontics*. 2006;32(1):61-5.

63. De-Deus G, Moreira EJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *International endodontic journal*. 2010;43(12):1063-8.

64. Varela-Patino P, Ibanez-Parraga A, Rivas-Mundina B, Cantatore G, Otero XL, Martin-Biedma B. Alternating versus continuous rotation: a comparative study of the effect on instrument life. *Journal of endodontics*. 2010;36(1):157-9.

65. Burklein S, Benten S, Schafer E. Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *International endodontic journal*. 2013;46(6):590-7.

66. De-Deus G, Namen F, Galan J, Jr., Zehnder M. Soft chelating irrigation protocol optimizes bonding quality of Resilon/Epiphany root fillings. *Journal of endodontics*. 2008;34(6):703-5.
67. Portenier I, Waltimo T, Orstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *Journal of endodontics*. 2005;31(5):380-6.
68. Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature. *Journal of endodontics*. 2005;31(5):333-40.
69. Siu C, Baumgartner JC. Comparison of the debridement efficacy of the EndoVac irrigation system and conventional needle root canal irrigation in vivo. *Journal of endodontics*. 2010;36(11):1782-5.
70. Peters OA, Schonenberger K, Laib A. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International endodontic journal*. 2001;34(3):221-30.
71. Peters OA, Peters CI, Schonenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *International endodontic journal*. 2003;36(2):86-92.
72. Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2007;33(7):782-7.
73. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on

root canal walls. *Journal of endodontics*. 1984;10(10):477-83.

74. Castelo-Baz P, Martin-Biedma B, Cantatore G, Ruiz-Pinon M, Bahillo J, Rivas-Mundina B, et al. In vitro comparison of passive and continuous ultrasonic irrigation in simulated lateral canals of extracted teeth. *Journal of endodontics*. 2012;38(5):688-91.

75. Nielsen BA, Craig Baumgartner J. Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of endodontics*. 2007;33(5):611-5.

76. Howard RK KT, Rutledge RE, Yaccino JM. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod*. 2011;37(9):1301-5.

77. Harrison JW. Irrigation of the root canal system. *Dent Clin North Am*. 1984;28(4):797-808.

78. Spangberg L EB, Langeland K. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1973;36(6):856-71.

79. Christensen CE, McNeal SF, Eleazer P. Effect of lowering the pH of sodium hypochlorite on dissolving tissue in vitro. *Journal of endodontics*. 2008;34(4):449-52.

80. Abou-Rass M, Oglesby SW. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 1981;7(8):376-7.

81. Lui JN, Kuah HG, Chen NN. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *Journal of endodontics*. 2007;33(4):472-5.

82. Giardino L, Ambu E, Becce C, Rimondini L, Morra M. Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *Journal of endodontics*. 2006;32(11):1091-3.
83. Spangberg L, Engstrom B, Langeland K. Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1973;36(6):856-71.
84. Spangberg L, Rutberg M, Rydinge E. Biologic effects of endodontic antimicrobial agents. *Journal of endodontics*. 1979;5(6):166-75.
85. Bernstein JA ST, Bernstein DI, Bernstein IL. A combined respiratory and cutaneous hypersensitivity syndrome induced by work exposure to quaternary amines. *J Allergy Clin Immunol*. 1994;94(2 Pt 1):257-9.
86. Popescu IG PM, Man D, Ciolacu S, Georgescu M, Ciurea T, Aldea GS,, Stancu C BM, Ulmeanu V. Drug allergy: incidence in terms of age and some drug allergens. *Med Interne*. 1984;22(3):195-202.
87. Hostynek JJ, Patrick E, Younger B, Maibach HI. Hypochlorite sensitivity in man. *Contact dermatitis*. 1989;20(1):32-7.
88. Krautheim AB, Jermann TH, Bircher AJ. Chlorhexidine anaphylaxis: case report and review of the literature. *Contact dermatitis*. 2004;50(3):113-6.
89. Thé SD. The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1979;47:558-61.

90. Grossman LI MB. Solution of pulp tissue by chemical agents. *J Am Dent Assoc.* 1941;28:223-5.
91. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *Journal of endodontics.* 2004;30(11):785-7.
92. Koskinen KP, Stenvall H, Uitto VJ. Dissolution of bovine pulp tissue by endodontic solutions. *Scandinavian journal of dental research.* 1980;88(5):406-11.
93. Gutierrez JH, Herrera VR, Berg EH, Villena F, Jofre A. The risk of intentional dissolution of the smear layer after mechanical preparation of root canals. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology.* 1990;70(1):96-108.
94. Haikel Y, Gorce F, Allemann C, Voegel JC. In vitro efficiency of endodontic irrigation solutions on protein desorption. *International endodontic journal.* 1994;27(1):16-20.
95. Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *International endodontic journal.* 2001;34(4):300-7.
96. Orstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endodontics & dental traumatology.* 1990;6(4):142-9.
97. Vahdaty A, Pitt Ford TR, Wilson RF. Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro. *Endodontics & dental traumatology.* 1993;9(6):243-8.

98. Sarbinoff JA, O'Leary TJ, Miller CH. The comparative effectiveness of various agents in detoxifying diseased root surfaces. *Journal of periodontology*. 1983;54(2):77-80.
99. Silva FB, Almeida JM, Sousa SM. Natural medicaments in endodontics -a comparative study of the anti-inflammatory action. *Brazilian oral research*. 2004;18(2):174-9.
100. Tanomaru JM, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Bonetti Filho I, Silva LA. Effect of different irrigation solutions and calcium hydroxide on bacterial LPS. *International endodontic journal*. 2003;36(11):733-9.
101. Grande NM, Plotino G, Falanga A, Pomponi M, Somma F. Interaction between EDTA and sodium hypochlorite: a nuclear magnetic resonance analysis. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):460-4.
102. Dakin HD. On the use of Certain Antiseptic Substances in the Treatment of Infected Wounds. *British medical journal*. 1915;2(2852):318-20.
103. Frais S, Ng YL, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *International endodontic journal*. 2001;34(3):206-15.
104. Estrela C, Estrela CR, Barbin EL, Spano JC, Marchesan MA, Pecora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*. 2002;13(2):113-7.
105. Rocas IN, Siqueira JF, Jr. Comparison of the in vivo antimicrobial effectiveness of sodium hypochlorite and

chlorhexidine used as root canal irrigants: a molecular microbiology study. *Journal of endodontics*. 2011;37(2):143-50.

106. Austin JH, Taylor HD. Behavior of Hypochlorite and of Chloramine-T Solutions in Contact with Necrotic and Normal Tissues in Vivo. *The Journal of experimental medicine*. 1918;27(5):627-33.

107. Buck RA, Eleazer PD, Staat RH, Scheetz JP. Effectiveness of three endodontic irrigants at various tubular depths in human dentin. *Journal of endodontics*. 2001;27(3):206-8.

108. Uroz-Torres D, Gonzalez-Rodriguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *Journal of endodontics*. 2010;36(2):308-11.

109. Mercade M D-SF, Kuttler S, Roig M, Durany N. Antimicrobial efficacy of 4.2% sodium hypochlorite adjusted to pH 12, 7.5, and 6.5 in infected human root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;107(2):295-8.

110. Sim TP, Knowles JC, Ng YL, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *International endodontic journal*. 2001;34(2):120-32.

111. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *Journal of endodontics*. 2005;31(9):669-71.

112. Baumgartner JC MC. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of endodontics*. 1987;13(4):147-57.
113. Kamburis JJ, Barker TH, Barfield RD, Eleazer PD. Removal of organic debris from bovine dentin shavings. *Journal of endodontics*. 2003;29(9):559-61.
114. Hulsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation literature review and case reports. *International endodontic journal*. 2000;33(3):186-93.
115. Hand RE, Smith ML, Harrison JW. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 1978;4(2):60-4.
116. Lester KS, Boyde A. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root canals. *British dental journal*. 1977;143(11):359-67.
117. Nygaard-Østby B. Chelation in root canal therapy. *Odontol Tidskr*. 1957;65(3-11).
118. Loel DA. Use of acid cleanser in endodontic therapy. *Journal of the American Dental Association (1939)*. 1975;90(1):148-51.
119. Coons D DM, Diehl M, et al. Performance in detergents, cleaning agents and personal care products: detergents. In: Falbe J, ed. *Surfactants in consumer products*. Berlin: Springer-Verlag. 1987:197-305.
120. Zehnder M SP, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of endodontics*. 2005;31(11):817-20.

121. Torabinejad M, Shabahang S, Aprecio RM, Kettering JD. The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. *Journal of endodontics*. 2003;29(6):400-3.
122. Patterson SS. In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1963;16:83-103.
123. Kenee DM AJ, Johnson JD, Hellstein J, Nichol BK. A quantitative assessment of efficacy of various calcium hydroxide removal techniques. *Journal of endodontics*. 2006;32(6):563-5.
124. Lambrianidis T, Kosti E, Boutsoukis C, Mazinis M. Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal. *International endodontic journal*. 2006;39(1):55-61.
125. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *International endodontic journal*. 2007;40(6):415-26.
126. de Gregorio C ER, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *Journal of endodontics*. 2010;36(7):1216-21.
127. Baker NA EP, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *Journal of endodontics*. 1975;1(4):127-35.

128. Abou-Rass M, Patonai FJ, Jr. The effects of decreasing surface tension on the flow of irrigating solutions in narrow root canals. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1982;53(5):524-6.
129. Tay FR GL, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, Arun SN, Kim J,, Looney SW PD. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *Journal of endodontics*. 2010;36(4):745-50.
130. Dovgyallo GI MN, Prokhorenko PP. The complete filling of dead-end conical capillaries with liquid. *J Eng Phys Thermophys*. 1989;56:395-7.
131. Zukoski E. Influence of viscosity, surface tension, and inclinaion angle on motion of long bubbles in closed tubes. *J Fluid Mech*. 1966;25:821-37.
132. Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1971;31(1):96-103.
133. Schilder H. Preparation of the root canal. *Mondo Odontostomatol*. 1976;18(2):8-34.
134. Glossary of endodontics terms. 2003.
135. Vera J, Arias A, Romero M. Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical third of root canals when using passive ultrasonic irrigation: an in vivo study. *Journal of endodontics*. 2011;37(9):1276-8.

136. Wu MK DP, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006;39(5):343-56.
137. Hauser V BA, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). 2007. 2007;40(8):644-52.
138. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *International endodontic journal.* 2006;39(6):472-6.
139. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. *Journal of endodontics.* 1988;14(10):486-93.
140. Nair PN HS, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005;99(2):231-52.
141. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology.* 1977;44(2):306-12.
142. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *Journal of endodontics.* 1983;9(11):475-9.
143. Heard F, Walton RE. Scanning electron microscope study comparing four root canal preparation techniques in small curved canals. *International endodontic journal.* 1997;30(5):323-31.

144. Langeland K, Liao K, Pascon EA. Work-saving devices in endodontics: efficacy of sonic and ultrasonic techniques. *Journal of endodontics*. 1985;11(11):499-510.
145. Wu MK, Wesselink PR. Efficacy of three techniques in cleaning the apical portion of curved root canals. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 1995;79(4):492-6.
146. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Patterns of vertical root fracture: factors affecting stress distribution in the root canal. *Journal of endodontics*. 2003;29(8):523-8.
147. Cameron JA. Factors affecting the clinical efficiency of ultrasonic endodontics: a scanning electron microscopy study. *Int Endod J*. 1995;28(1):47-53.
148. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *International endodontic journal*. 2007;40(7):504-13.
149. Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP. Apical pressures developed by needles for canal irrigation. *Journal of endodontics*. 2002;28(4):333-5.
150. Serper A, Ozbek M, Calt S. Accidental sodium hypochlorite-induced skin injury during endodontic treatment. *Journal of endodontics*. 2004;30(3):180-1.
151. Boutsoukis C, Gogos C, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Van der Sluis LW. The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated

using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. International endodontic journal. 2010;43(10):874-81.

152. Susin L, Liu Y, Yoon JC, Parente JM, Loushine RJ, Ricucci D, et al. Canal and isthmus debridement efficacies of two irrigant agitation techniques in a closed system. International endodontic journal. 2010;43(12):1077-90.

153. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E. Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. International endodontic journal. 2009;42(2):144-55.

154. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. Journal of endodontics. 2010;36(8):1361-6.

155. Matchou P. Irrigation investigation in endodontics. Master Thesis. 1980.

156. Pesse AV WG, Dhir VK. . An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. Int J Heat Mass Transfer 2005;48:5150-65.

157. McGill S GK, Mordan N, Ng YL. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. Int Endod J. 2008;41(7):602-8.

158. Huang TY GK, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. Int Endod J. 2008;41(1):60-71.

159. Martin H. Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1976;42(1):92-9.
160. Plotino G PC, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod*. 2007;33(2):81-95.
161. Walmsley AD LP, Laird WR. Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *Int Endod J*. 1989;22(3):125-32.
162. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of endodontics*. 1980;6(9):740-3.
163. Abou-Rass M PM. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1982;54(3):323-8.
164. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *International endodontic journal*. 2004;37(9):607-12.
165. Baumgartner JC MH, Sabala CL, Strittmatter EJ, Wildey WL, Quigley NC. Histomorphometric comparison of canals prepared by four techniques. *Journal of endodontics*. 1992;18(11):530-4.
166. Ahmad M, Pitt Ford TJ, Crum LA. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *Journal of endodontics*. 1987;13(10):490-9.
167. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic

activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of endodontics*. 1999;25(11):735-8.

168. Cheung GS, Stock CJ. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. *International endodontic journal*. 1993;26(6):334-43.

169. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *Journal of endodontics*. 2003;29(10):674-8.

170. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *Journal of endodontics*. 2010;36(8):1277-88.

171. Xu G ZZ. Filling of the lateral canal. Report of two cases. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1984;58(2):221-4.

172. Carver K, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of endodontics*. 2007;33(9):1038-43.

173. Evans GE, Speight PM, Gulabivala K. The influence of preparation technique and sodium hypochlorite on removal of pulp and predentine from root canals of posterior teeth. *International endodontic journal*. 2001;34(4):322-30.

174. Taneja S, Kumari M, Anand S. Effect of QMix, peracetic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on

calcium loss and microhardness of root dentine. Journal of conservative dentistry : JCD. 2014;17(2):155-8.

175. Rosenfeld EF, James GA, Burch BS. Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. Journal of endodontics. 1978;4(5):140-6.

176. Sasaki EW, Versiani MA, Perez DE, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT, Silva RG. Ex vivo analysis of the debris remaining in flattened root canals of vital and nonvital teeth after biomechanical preparation with Ni-Ti rotary instruments. Brazilian dental journal. 2006;17(3):233-6.

177. Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. Journal of endodontics. 2009;35(4):545-9.

178. Markose G CC, Hislop WS. Facial atrophy following accidental subcutaneous extrusion of sodium hypochlorite. Br Dent J. 2009;206(5):263-4.

179. de Gregorio C PA, Garcia A, Navarrete N, Estevez R, Esplugues EO, N. C. Efficacy of irrigation systems on penetration of sodium hypochlorite to working length and to simulated uninstrumented areas in oval shaped root canals. Int Endod J. 2012;45(5):475-81.

180. de Gregorio C ER, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA,sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. J Endod. 2009;35(6):891-5.

181. Grecca FS, Leonardo MR, da Silva LA, Tanomaru Filho M, Borges MA. Radiographic evaluation of

periradicular repair after endodontic treatment of dog's teeth with induced periradicular periodontitis. *Journal of endodontics*. 2001;27(10):610-2.

182. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *Journal of endodontics*. 2006;32(5):417-20.

183. Jiang LM, Lak B, Eijsvogels LM, Wesselink P, van der Sluis LW. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *Journal of endodontics*. 2012;38(6):838-41.

184. van der Sluis LW VM, Verhaagen B, Macedo R, Wesselink PR. Study on the influence of refreshment/activation cycles and irrigants on mechanical cleaning efficiency during ultrasonic activation of the irrigant. *J Endod*. 2010;36(4):737-40.

185. Haapasalo M SY, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):291-312.

186. Spoorthy E VN, Ballal S, Nandini S. Comparison of irrigant penetration up to working length and into simulated lateral canals using various irrigating techniques. *Int Endod J*. 2013;46(9):815-22.

187. Peters OA, Barbakow F. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *Journal of endodontics*. 2000;26(1):6-10.

188. Grande NM PG, Butti A, Messina F, Pameijer CH, Somma F. Cross-sectional analysis of root canals prepared with NiTi rotary instruments and stainless steel

reciprocating files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):120-6.

189. Vadhana S LJ, Velmurugan N. Evaluation of penetration depth of 2% chlorhexidine digluconate into root dentinal tubules using confocal laser scanning microscope. *Restor Dent Endod.* 2015;40(2):149-54.

190. Freire LG IE, Cunha RS, Dos Santos M, Gavini G. Micro-Computed tomographic evaluation of hard tissue debris removal after different irrigation methods and its influence on the filling of curved canals. *J Endod.* 2015;41(10):1660-6.

191. De-Deus G, Garcia-Filho P. Influence of the NiTi rotary system on the debridement quality of the root canal space. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2009;108(4):71-6.

192. De-Deus G, Brandao MC, Barino B, Di Giorgi K, Fidel RA, Luna AS. Assessment of apically extruded debris produced by the single-file ProTaper F2 technique under reciprocating movement. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2010;110(3):390-4.

193. Capar ID EH, Ok E, Arslan H, Ertas ET. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *J Endod.* 2014;40(6):852-6.

194. Plotino G GRA, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and waveOne reciprocating instruments. *J Endod.* 2014;40(8):1228-30.

195. Waltimo T, Trope M, Haapasalo M, Orstavik D. Clinical efficacy of treatment procedures in endodontic infection control and one year follow-up of periapical healing. *Journal of endodontics*. 2005;31(12):863-6.
196. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR. The capability of two hand instrumentation techniques to remove the inner layer of dentine in oval canals. *International endodontic journal*. 2003;36(3):218-24.
197. Morfis A SS, Georgopoulou M, Kernani M, Prountzos F. Study of the apices of human permanent teeth with the use of a scanning electron microscope. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1994;77(2):172-6.
198. Hsu YY KS. The resected root surface. The issue of canal isthmuses. *Dent Clin North Am*. 1997;41(3):529-40.
199. De-Deus G, Murad C, Paciornik S, Reis CM, Coutinho-Filho T. The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. *International endodontic journal*. 2008;41(3):183-90.
200. Paque F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *Journal of endodontics*. 2010;36(4):703-7.
201. Wu MK WP. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J*. 2001;34(2):137-41.
202. Weiger R EA, Löst C. Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod*. 2002;28(8):580-3.

203. Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pecora JD, et al. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. *Journal of endodontics*. 2013;39(8):1060-6.
204. Hülsmann M RC, Schäfers F. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *Journal of endodontics*. 1997;23(5):301-6.
205. Siqueira JF Jr AM, Garcia PF, Fraga RC, Dantas CJ. Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *J Endod*. 1997;23(8):499-502.
206. Baisden MK, Kulild JC, Weller RN. Root canal configuration of the mandibular first premolar. *Journal of endodontics*. 1992;18(10):505-8.
207. Bystrom A HR, Sjogren U, Sundqvist G. Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Endod Dent Traumatol*. 1987;3(2):58-63.
208. Kunert GG CFV, de Moura AA, Barletta FB. Analysis of apical root transportation associated with ProTaper Universal F3 and F4 instruments by using digital subtraction radiography. *J Endod*. 2010;36(6):1052-5.
209. Coldero LG, McHugh S, MacKenzie D, Saunders WP. Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *International endodontic journal*. 2002;35(5):437-46.

210. Fariniuk LF, Baratto-Filho F, da Cruz-Filho AM, de Sousa-Neto MD. Histologic analysis of the cleaning capacity of mechanical endodontic instruments activated by the ENDOflash system. *Journal of endodontics*. 2003;29(10):651-3.

211. Stamos DE SE, Haasch GC, Gerstein H. An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic, and ultrasonic instrumentation. *J Endod*. 1987;13(9):434-40.

11. *Anexos*

I. Carta de aprobación del proyecto de tesis.



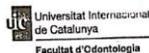
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
Comisión Doctorado

La Comisión Científica de la Facultad de Odontología de la Universitat Internacional de Catalunya, CERTIFICA que

El presente protocolo de investigación titulado: "Eficacia del desbridamiento de la Lima Recíproc 25 con diferentes sistemas de irrigación en premolares", cuyo investigador principal son los Doctores Montserrat Mercadé y Fernando Durán-Sindreu y cuyo investigador secundario es la alumna **Paula Varela**.

ha sido evaluado satisfactoriamente y es apto para ser presentado e iniciar su investigación.

Firmado en Sant Cugat del Vallès, a 10 de Octubre de 2012.



Dra. Montserrat Mercadé i Bellido
Directora de la Comisión Científica de Odontología

Título:	Eficacia del desbridamiento de la Lima Recíproc 25 con diferentes sistemas de irrigación en premolares
Investigador secundario:	Paula Varela
Director de la investigación:	Dra. Montserrat Mercadé y Dr. Fernando Durán-Sindreu
Número de estudio:	END-ELM-2011-02-NF

II. Carta de aprobació del Comité Ético.



CARTA APROVACIÓ PROJECTE PEL CER

Codi de l'estudi: END-ELM-2011-02-NF

Versió del protocol: 1.1

Data de la versió: 31/01/13

T toll: "Eficacia de la limpieza de detritus de premolares humanos maxilares y mandibulares mediante distintos sistemas de irrigación"

Sant Cugat del Vallès, 22 de febrer de 2013

Investigadora: Paula Varela Domínguez

T toll de l'estudi: "Eficacia de la limpieza de detritus de premolares humanos maxilares y mandibulares mediante distintos sistemas de irrigación"

Benvolgut(da),

Valorat el projecte presentat, el CER de la Universitat Internacional de Catalunya, considera que, des del punt de vista  tic, reuneix els criteris exigits per aquesta institució i, per tant, ha

RESOLT FAVORABLEMENT

emetre aquest CERTIFICAT D'APROVACIÓ per part del Comit  d'ètica de la Recerca, per que pugui ser presentat a les instàncies que aix  ho requereixin.

Em permeto recordar-li que si en el procés d'execució es produís algun canvi significatiu en els seus plantejaments, hauria de ser sotm s novament a la revisió i aprovació del CER.

Atentament,



Dr. Josep Argemí
President CER-UIC

III. Consentimiento informado



7a. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Número del estudio: END-ELM-2011-02-NF
 Versión del protocolo: 1.0
 Fecha de la versión: 11/10/2012
 Fecha de presentación: 17/10/2012
 Título: Eficacia del desbridamiento de la lima Reciproc 25 con diferentes sistemas de irrigación en premolares.

Investigador/a principal: Dra. Montserrat Mercadé Bellido
 Investigador/a secundario/a (alumno/a): Paula Varela Domínguez
 Tutor/a / Monitor/a: Montserrat Mercadé Bellido / Fernando Durán -Sindreu Terol
 Departamento: Restauración dental y Endodoncia
 Línea de investigación: Irrigación en endodoncia.
 Título de la investigación: Eficacia del desbridamiento de la lima Reciproc 25 con diferentes sistemas de irrigación en premolares.

Yo, Sr./Sra.:

- He recibido información verbal acerca del estudio y he leído la información escrita que se adjunta, de la que he recibido una copia.
- He comprendido lo que se me ha explicado.
- He podido comentar el estudio y realizar preguntas al profesional responsable.
- Doy mi consentimiento para tomar parte en el estudio y asumo que mi participación es totalmente voluntaria.
- Entiendo que podré retirarme en cualquier momento sin que ello afecte a mi futura asistencia médica.

Mediante la firma de este formulario de consentimiento informado, doy mi consentimiento para que mis datos personales se puedan utilizar como se ha descrito en este formulario de consentimiento, que se ajusta a lo dispuesto en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal.

Entiendo que recibiré una copia de este formulario de consentimiento informado.

 Firma del paciente o la paciente
 N.º de DNI

 Fecha de la firma



DECLARACIÓN DEL INVESTIGADOR O LA INVESTIGADORA

El paciente o la paciente que firma esta hoja de consentimiento ha recibido, por parte del profesional, información detallada de forma oral y escrita del proceso y naturaleza de este estudio de investigación, y ha tenido la oportunidad de preguntar cualquier duda en cuanto a la naturaleza, los riesgos y las ventajas de su participación en este estudio.

Firma del investigador o investigadora
Nombre:

Fecha de la firma

IV. Resumen

Justificación: El éxito del tratamiento de conductos se logra realizando una completa desinfección pero en ocasiones es complicado debido a la presencia de istmos y conductos accesorios que pueden albergar remanentes bacterianos y causar infección. En este trabajo se evaluaron diferentes sistemas de irrigación para activar el hipoclorito de sodio al 5,25% ya que así aumentamos la capacidad de disolución del tejido pulpar. Se empleó la lima R25 para la instrumentación de conductos ovales y redondos, ya que hasta la fecha no existen estudios que comparen la eficacia de remoción pulpar entre diferentes sistemas de irrigación en conductos instrumentados con sistema recíprocante.

Objetivos: Evaluar la eficacia en la remoción pulpar de diferentes sistemas de irrigación en conductos radiculares instrumentados con una lima recíprocante.

Materiales y métodos: Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos en la presente tesis doctoral 64 premolares unirradiculares fueron instrumentados y divididos en 4 grupos, de 15 muestras cada uno, según el

sistema de irrigación empleado. Todas las muestras se instrumentaron con la lima R25 del sistema Reciproc®. Los 4 dientes restantes formaron parte del grupo control. Los grupos experimentales fueron: Grupo 1: irrigación mediante jeringa convencional; Grupo 2: irrigación mediante técnica ultrasónica pasiva; Grupo 3: irrigación mediante técnica dinámico-manual; Grupo 4: irrigación mediante Endoactivator®. De todos los dientes se evaluó el porcentaje de remoción pulpar dejado por cada sistema de irrigación en función de la anatomía radicular, (conductos ovales y conductos redondos), mediante cortes histológicos y fotografías de las secciones transversales a 1, 2 y 3 mm del foramen apical. Todas las fotografías se evaluaron con el microscopio Leica® y el % de restos pulpares remanentes se analizaron mediante el sistema AutoCAD 2009. Los datos fueron analizados estadísticamente ($P < 0.05$).

Resultados: En todos los grupos experimentales evaluados encontramos restos de tejido pulpar remanente. Al comparar los sistemas de irrigación a 1, 2 y 3 mm, no encontramos diferencias estadísticamente significativas entre técnicas. Pero la técnica de irrigación ultrasónica pasiva fue la que dejó menor cantidad de

remanentes pulpares. Al comparar diferente anatomía de los dientes, conductos ovales y redondos, se removió mayor cantidad de detritus pulpares en los conductos redondos en comparación con los conductos ovales.

Conclusiones: Al comparar las variables empleadas se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la cantidad de tejido pulpar remanente en función de la forma del conducto.