



**EFFECTO DEL ÁCIDO MALÉICO AL 7% VERSUS EL EDTA AL 17% EN LA  
REMOCIÓN DEL BARRO DENTINARIO, UNA REVISIÓN BIBLIOGRAFICA**

**Katherine Digmann Cuadra - Juan Carlos Saavedra Durán \***

**Marcelo Gandarillas - Alicia Caro ‡**

**\* Alumnos Tesistas. Cirujano Dentistas. Facultad de Odontología, Universidad de  
Valparaíso, Valparaíso.**

**‡ Tutores de Tesis. Cirujano Dentistas. Especialidad Endodoncia. Facultad de  
Odontología, Universidad de Valparaíso, Valparaíso.**

Marzo 2019

Valparaíso

## INDICE

Introducción	5
Marco Teórico	7
I. Irrigación	7
A. Importancia de la irrigación	7
B. Objetivos de la irrigación	8
C. Características de los irrigantes	10
D. Principales irrigantes en endodoncia	11
i. Hipoclorito de sodio	11
a) Mecanismo de acción del NaOCl	12
b) Efecto de la temperatura y el pH	13
ii. Clorhexidina	16
a) Mecanismo de acción de la CHX	16
b) Actividad Antimicrobiana	17
c) Citotoxicidad	18
iii. Acido etilendiaminotetraacético (EDTA)	18
a) Mecanismo de acción del EDTA	19
b) Acción del EDTA en la remoción del barro dentinario	20
c) Biocompatibilidad	23
d) Efecto en la microdureza en la dentina	25
iv. Ácido Cítrico	25
a) Actividad Antimicrobiana	26
b) Efecto del ácido cítrico en la remoción del barro dentinario	26
c) Citotoxicidad	27
v. Ácido Maleico	27
a) Actividad Antimicrobiana	30
b) Erosión y daño en la microdureza de la dentina	31
c) Citotoxicidad	33
E. Interacción entre irrigantes	34
a) Hipoclorito de sodio y Clorhexidina	34

b)	Hipoclorito de sodio y EDTA	35
c)	Hipoclorito de sodio y ácido cítrico	35
d)	Hipoclorito de sodio y ácido maleico	36
e)	Clorhexidina y EDTA	36
f)	Clorhexidina y ácido cítrico	36
II.	Smear layer / capa residual / barro dentinario	37
A.	Remoción de la capa de barro dentinario	39
B.	Métodos de remoción del barro dentinario	41
III.	Dispositivos y técnicas de irrigación	42
A.	Seguridad versus efectividad en el conducto radicular	43
B.	Administración con jeringa	44
C.	Irrigación activada manualmente	45
D.	Irrigación activada sónicamente	46
E.	Irrigación ultrasónica pasiva	47
F.	Presión apical negativa	48
IV.	Objetivo General	49
V.	Objetivos Específicos	49
VI.	Materiales y Métodos	50
a)	Tipo de investigación	50
b)	Determinación de la muestra	50
c)	Criterios de inclusión	50
d)	Criterios de exclusión	50
e)	Método de búsqueda	51
f)	Palabras claves para la búsqueda bibliográfica	51
VII.	Recolección de datos	52
VIII.	Resultados	54
a)	Diagrama de flujo	55
b)	Tablas	56

IX.	Discusión	64
X.	Conclusión	70
XI.	Bibliografía	71

## INTRODUCCIÓN

El uso de todos los instrumentos mecánicos para la preparación del conducto radicular tiene como objetivo principal el desbridamiento de las paredes de estos conductos, por eso es inevitable que residuos minerales queden suspendidos en la solución irrigante utilizada durante la preparación de estos conductos. Al mismo tiempo, la precipitación de estos restos en las paredes del conducto radicular logra una adhesión débil y que forma una capa permeable a los microorganismos. Esta capa superficial se denomina “Barro dentinario” o “Smear Layer”

Por lo anterior, dada la imposibilidad de remover mecánicamente este residuo, se hace necesario utilizar agentes químicos apropiados para la limpieza de forma selectiva y dirigida a lo que realmente se quiere eliminar y no dañar estructuras sanas o generar debilitamiento por pérdida de sustancia o disociación molecular de los tejidos.

La capa de barro dentinario consta de dos capas, una capa superficial que tiene 1-5 $\mu$ m de espesor y una porción más profunda dentro de los túbulos dentinarios que puede alcanzar los 40 $\mu$ m de profundidad quedando empaquetados en los túbulos dentinarios. (1) (2).

Estas capas están constituidas por un componente inorgánico, fase inorgánica (restos de dentina) y una fase orgánica formada por componentes orgánicos como restos de tejido pulpar necrótico, procesos odontoblásticos y microorganismos. Es una capa amorfa y de estructura irregular.

Diferentes estudios como los de Clark-Holkea y cols., y Zargar y cols., recomiendan la eliminación de la capa de barro dentinario durante la terapia endodóntica (3), con el fin de disminuir la cantidad de bacterias en el conducto radicular y facilitar la desinfección del sistema de conductos, permitiendo así, obtener túbulos dentinarios limpios, lo cual otorga una mejor penetración del material de relleno formando un sellado hermético del conducto, y también tener un mejor pronóstico en el tratamiento.

La base del conocimiento existente respecto de la capa de barro dentinario en el conducto radicular indica idealmente su eliminación. Muchos estudios como los de Galiana y Cobankara han evaluado la eficiencia de diferentes soluciones irrigantes de conductos radiculares y algunas técnicas asociadas a irrigantes sobre la eliminación del smear layer. (4, 5)

Se ha evaluado el uso de productos químicos, ultrasonicos y láseres solos o en combinación para eliminar la capa de barro dentinario con resultados variables. Entre los productos químicos estudiados para la remoción del barro dentinario encontramos el Hipoclorito de sodio en diversas concentraciones, la clorhexidina al 2%, el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en concentración de 17%, el ácido cítrico y el ácido maleico. Como resultado de dichos estudios se ha recomendado el uso alternante de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) e hipoclorito de sodio para la eliminación eficiente de la capa de barro dentinario (1, 6). Si bien la biocompatibilidad de EDTA ha sido investigada por diversos estudios a diferentes concentraciones, Silveira y cols. reportaron un severo efecto irritante en los tejidos periapicales aplicando la solución de EDTA al 15%. (2)

Segura y cols. demostraron que el tiempo de acción y la dosis de irrigantes utilizada, pueden variar la capacidad de inhibición en la adhesión de macrófagos al sustrato por EDTA. (7)

Frente a este inconveniente que presenta el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para la eliminación de la capa de barro dentinario queremos evaluar en nuestro estudio un compuesto alternativo que genere menos efectos adversos e igual o mejor resultado en la remoción de barro dentinario que el EDTA. El compuesto a comparar será el Ácido maleico al 7%.

## MARCO TEORICO.

### I. IRRIGACIÓN

La tasa de éxito a largo plazo del tratamiento endodóntico convencional depende de diversos factores, tales como la anatomía diversa y la complejidad del sistema de conductos radiculares que comprende pequeños conductos, además del conducto principal, que no permiten el acceso directo durante la preparación biomecánica debido a su configuración y sus diámetros reducidos. Igualmente, la sensibilidad a los antimicrobianos y la resistencia de la microflora polimorfa, que incluye bacterias anaerobias facultativas, aeróbicas y anaeróbicas puede ser determinante en el resultado del tratamiento (8).

La limpieza y conformación del SCR por medio de instrumentación manual y rotatoria bajo irrigación constante reduce la población de microorganismos al interior de ellos, pero no los elimina completamente (9). Durante la preparación biomecánica con instrumentos endodónticos, se forma una microcapa en las paredes del conducto conocida como barro dentinario, smear layer o capa residual, cuyas propiedades han sido extensamente discutidas por los endodoncistas (10).

#### A. IMPORTANCIA DE LA IRRIGACIÓN

Uno de los principales objetivos en el tratamiento de conducto es reducir la población microbiana en los conductos radiculares de dientes infectados. Esto se logra generalmente por medio de preparación mecánica de los conductos junto con el uso de soluciones de irrigación (11) ya que la sola instrumentación no logra la completa eliminación de restos orgánicos del interior de los conductos radiculares.

Es imposible limpiar y conformar los conductos radiculares en su totalidad por la complejidad anatómica que éstos presentan (12).

Se ha demostrado que la instrumentación mecanizada reduce en un 50% el número de bacterias (13). En un estudio de Peters y cols. se comprobó que la instrumentación mecánica deja aproximadamente del 35 al 40 % de las paredes del conducto radicular sin tocar (14). Las áreas de los conductos radiculares que son prácticamente inaccesibles para la preparación mecánica, tales como los conductos laterales, istmos y otras irregularidades que permanecen sin instrumentar y promueven un ambiente ideal para que los microorganismos colonicen y causen una enfermedad periapical, también sirven de reservorio de tejido orgánico, microbios y detritus tras la instrumentación (14, 15). Ni la instrumentación rotatoria continua ni la reciprocante asimétrica aumentan la limpieza de las paredes, que depende más de las soluciones de irrigación empleadas (1).

Las soluciones de irrigación deberían ser capaces de disolver remanentes de tejido orgánico, actuar como lubricantes y eliminar los desechos de los conductos radiculares preparados. Ya que las bacterias residuales pueden ser una de las causas de las patologías endodónticas post-tratamiento (Nair et al., 1990), los irrigantes también deben exhibir una potente actividad antimicrobiana (11).

## B. OBJETIVOS DE LA IRRIGACIÓN

La irrigación se define como “El lavado de una cavidad corporal o una herida con agua o un líquido con medicación”. Un desinfectante se define como “Un agente que destruye o inhibe la actividad de los microorganismos que provocan enfermedad”

Los objetivos de la irrigación en endodoncia son mecánicos, químicos y biológicos.

Los objetivos mecánicos y químicos son (1, 16, 17):

- a) Limpiar los residuos
- b) Lubricar el conducto
- c) Disolver el tejido orgánico e inorgánico
- d) Evitar la formación de barro dentinario durante la instrumentación o disolverlo cuando se forme.

La eficacia mecánica dependerá de la capacidad de la irrigación para generar fuerzas óptimas de flujos en el conjunto del sistema de conductos radiculares. La eficacia química variará según:

- a) La concentración del irrigante antimicrobiano
- b) El área de contacto
- c) La duración de la interacción entre irrigante y material infectado.

La eficacia final de la desinfección endodóntica dependerá de su eficiencia química y mecánica (17).

La función biológica de los irrigantes está relacionada con sus efectos antimicrobianos. En principio los irrigantes deben (17):

- a) Tener una alta eficiencia frente a microorganismos anaerobios y facultativos en su estado planctónico en biopelícula.
- b) Inactivar las endotoxinas.
- c) No ser tóxicos cuando entran en contacto con los tejidos vitales.
- d) No provocar una reacción anafiláctica.

La eficacia de la irrigación del conducto radicular en cuanto a la eliminación de residuos y erradicación de bacterias depende de varios factores (17):

- I. Profundidad de penetración de la aguja de irrigación.
- II. Diámetro del conducto radicular.
- III. Diámetro interno y externo de la aguja de irrigación.
- IV. Presión de irrigación.
- V. Viscosidad del irrigante.
- VI. Velocidad de flujo del irrigante en la punta de la aguja de irrigación.
- VII. Tipo y orientación del bisel de la aguja de irrigación.

### C. CARACTERÍSTICAS DE LOS IRRIGANTES

Un irrigante óptimo tiene características que se consideran beneficiosas en endodoncia, pero sin propiedades negativas o perjudiciales. En la actualidad no existe ninguna solución que pueda considerarse óptima. No obstante, el uso combinado de productos elegidos de irrigación contribuye a un resultado totalmente exitoso del tratamiento (16, 17).

Propiedades del irrigante ideal para el tratamiento de conductos radiculares. El irrigante debería (17):

- Ser un desinfectante muy eficaz
- No ser irritante para los tejidos periapicales
- Permanecer estable en solución
- Tener un efecto antimicrobiano prolongado
- Estar activo en presencia de sangre, suero y derivados proteicos de los tejidos
- Tener una tensión superficial baja
- No interferir en la reparación de los tejidos periapicales
- No manchar la estructura de los dientes
- Poder inactivarse en un medio de cultivo
- No inducir una respuesta inmunitaria mediada por las células
- Ser capaz de eliminar completamente el barro dentinario y de desinfectar la dentina subyacente y sus túbulos.
- Ser antigénico, no tóxico y carcinogénico para las células tisulares que rodean al diente
- No tener efectos adversos en las propiedades físicas de la dentina expuesta.
- No tener efectos adversos en la capacidad de sellado de los materiales de obturación
- Ser cómodo de aplicar
- Ser relativamente económico.

No hay una única solución de irrigación que por si sola cubra suficientemente las funciones requeridas de un irrigante, es por ello que una irrigación óptima se basa en el uso

combinado de dos o más sustancias usadas en una secuencia específica para obtener el éxito terapéutico (18).

De acuerdo a Kaufman y Greenberg, una sustancia de trabajo será la que se utiliza para la limpieza del conducto y una solución de irrigación la que es esencial para remover los residuos y la capa de barro dentinario creada por el proceso de instrumentación. (19)

A través del tiempo se han utilizado diferentes tipos de sustancias, como: Hipoclorito de Sodio en diferentes concentraciones; Agentes Quelantes como el ácido cítrico, ácido fosfórico; ácido maleico; Clorhexidina; HEBP; QMiX; Yoduro de potasio (17).

#### D. PRINCIPALES IRRIGANTES EN ENDODONCIA.

##### i. HIPOCLORITO DE SODIO.

Desde que el Hipoclorito de Sodio (NaOCl) fue aplicado por Walker en 1936 en la terapia endodontica, se ha mantenido como un irrigante dado su potencial germicida y por su capacidad de disolver material orgánico (20), dada su alta alcalinidad (pH = 12.12) y desde ahí, numerosas publicaciones mezclan diferentes sustancias químicas, mayoritariamente dejando el Hipoclorito de Sodio como agente en común, en sus distintas concentraciones.(21, 22)

El Hipoclorito de Sodio es un agente antimicrobiano de amplio espectro que ha sido ampliamente utilizado como irrigante endodóntico en clínica, pero que por si solo es incapaz de eliminar la capa de barro dentinario ya que sólo descompone material orgánico (5)

### a) Mecanismo de acción del NaOCl

Cuando el hipoclorito de sodio entra en contacto con las proteínas de los tejidos se forman nitrógeno, formaldehído y acetaldehído. Los enlaces peptídicos se fragmentan y las proteínas se desintegran, lo que permite que el hidrógeno en los grupos amino (-NH-) sea sustituido por cloro (-NCl-) para formar cloraminas; desempeña así un papel importante por su eficacia antimicrobiana. El tejido necrótico y el exudado purulento se disuelven y el agente antimicrobiano puede alcanzar mejor las zonas infectadas y limpiarlas.

En 2002, Estela indicó que el hipoclorito muestra un equilibrio dinámico (fig. 1):

1. **Reacción de Saponificación.** El hipoclorito de sodio actúa como un disolvente orgánico y de las grasas que degrada los ácidos grasos y los transforma en sales de ácidos grasos (jabón) y glicerol (alcohol), para reducir la tensión superficial de la solución residual.
2. **Reacción de Neutralización.** El hipoclorito de sodio neutraliza los aminoácidos para formar agua y sal. Con la salida de iones hidroxilo, el pH se reduce.
3. **Formación de ácido Hipocloroso.** Cuando el cloro se disuelve en agua y está en contacto con materia orgánica, forma ácido hipocloroso, un ácido débil de fórmula química HOCl que actúa como oxidante. El HOCl y los iones hipoclorito ( $OCl^-$ ) producen degradación e hidrólisis de los aminoácidos.
4. **Acción de Disolvente.** El hipoclorito de sodio también actúa como disolvente, para liberar cloro que se combina con los grupos amino (NH) de las proteínas para formar cloraminas (reacción de cloraminación). Las cloraminas impiden el metabolismo celular; el cloro es un fuerte oxidante e inhibe las enzimas bacterianas esenciales por oxidación irreversible de grupo SH (grupo sulfhídrido).
5. **Alto pH.** El hipoclorito de sodio es una base fuerte ( $pH > 11$ ). La eficacia antimicrobiana del hipoclorito de sodio, basada en su alto pH (acción de los iones hidroxilo), es similar al mecanismo de acción del hidróxido de calcio. El pH elevado interfiere en la integridad de la membrana citoplasmática debido a la inhibición enzimática irreversible, las alteraciones biosintéticas en el metabolismo celular y la degradación de fosfolípidos observada en la peroxidación lipídica (17). Es por eso, que el hipoclorito, es muy tóxico para los tejidos vivos en concentraciones no diluidas.

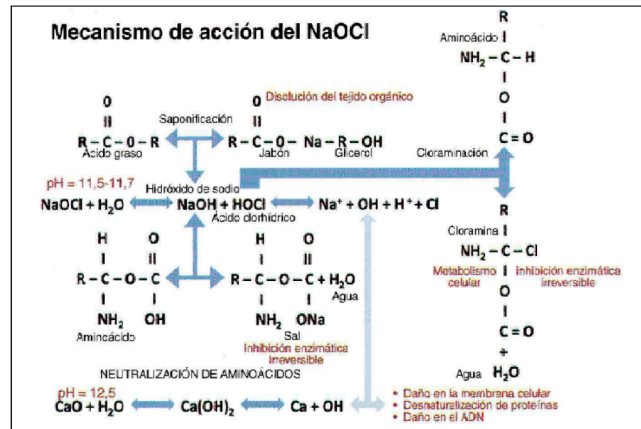


Figura 1. Esquema de mecanismo de acción de NaOCl. Cohen (17)

### b) Efecto de la temperatura y pH

Las capacidades de disolución del tejido orgánico por el NaOCl son mejores cuando se aumenta su temperatura y a niveles de pH más altos, como la mayoría de las soluciones comerciales de NaOCl que tienen valores de pH superiores a 11.

Por lo tanto, para cualquier solución de NaOCl, existe un compromiso inherente en establecer el pH óptimo entre la actividad germicida por un lado y la disolución del tejido o actividad de limpieza en el otro. (21, 23)

En la terapia endodóntica, las soluciones de NaOCl se utilizan en concentraciones que varían de 0.5% a 5.25%. También están disponibles soluciones sin buffer a pH 11 a 12 en concentraciones que varían entre 0.5% y 5.25%, o la llamada solución de Dakin, que es una solución con buffer (bicarbonato) al 0,5% - 1% a pH 9. Se ha reportado que no hay diferencia entre estas dos soluciones con respecto a la disolución del tejido o la eficacia antibacteriana (20).

Byström y Sundqvist estudiaron la irrigación de los conductos radiculares que eran necróticos y contenían una mezcla de bacterias anaeróbicas. Ellos demostraron que el uso de NaOCl al 0,5% o 5%, con o sin EDTA para la irrigación, resultó en una reducción

considerable de los recuentos bacterianos en el conducto en comparación con la irrigación con solución salina.(24)

Siqueira y colaboradores informaron resultados similares al usar conductos radiculares infectados con *E. faecalis*. Ambos estudios no mostraron una diferencia significativa en la eficacia antibacteriana entre las concentraciones bajas y altas de NaOCl. Contrariamente a estos resultados, Clegg y sus colegas, en un estudio de barro dentinario ex vivo, demostraron una fuerte diferencia en la efectividad contra las bacterias presentes en el barro dentinario en un 6% y 3% de NaOCl, siendo la concentración más alta más efectiva.(24)

La capacidad de disolución de NaOCl depende de la concentración de la solución. Cuanto mayor sea la concentración, sin embargo, mayor será la citotoxicidad. (20). Para evitar el contacto con las mucosas se deben guardar maniobras de bioseguridad para el paciente y operador, uso de goma dique, aspirador endodóntico, gafas de protección, etc.

El riego regular de la solución irrigante de NaOCl es necesaria para una mejor capacidad de disolución del tejido durante el tratamiento del conducto radicular. Se debe usar durante toda la fase de instrumentación. Sin embargo, debe evitarse el uso de NaOCl como el enjuague final después del ácido etilendiaminotetracético (EDTA) o ácido cítrico, ya que produce una erosión rápida de la dentina de la pared del conducto radicular (20)

El hipoclorito en algunas situaciones puede aumentar el riesgo de fractura vertical de la raíz. Esto es más probable Debido a la acción proteolítica del hipoclorito concentrado en la matriz de colágeno de la dentina. Recientemente, se ha demostrado en estudios in vitro que la exposición a largo plazo de la dentina a una alta concentración de hipoclorito de sodio puede tener un efecto perjudicial sobre la elasticidad de la dentina y resistencia a la flexión (24).

Factores para tener en consideración en el uso de este potente irrigantes en el volumen utilizado, el tiempo y la temperatura del mismo. Yamada et al recomendaron el uso de 10 ml a 20 ml de irrigante para cada conducto .

Con respecto a la sincronización, cuanto mayor sea el tiempo de contacto, más efectivo será el irrigante NaOCl. Esto es especialmente importante en los casos necróticos en los que se encontró que el 5.25% del NaOCl usado durante 40 minutos era efectivo. El clínico debe conocer el tiempo de trabajo del NaOCl, teniendo en cuenta el hecho de que las técnicas de preparación del conducto radicular rotatorio han acelerado el proceso de instrumentación. Un aumento de la temperatura en 25 °C incrementó la eficacia del NaOCl en un factor de 100%. Una vez que se calienta, pero no se usa, la solución de NaOCl debe desecharse de inmediato, ya que su efectividad se ha agotado (20)

Como se ha demostrado en múltiples estudios cuando se realizan pruebas clínicas en biofilms aislados maduros de infección endodóntica, el NaOCl tiene una actividad microbiana superior en comparación con varios otros irrigantes ya que es capaz de disolver tejido necrótico, tejido pulpar vital y los componentes orgánicos de la dentina (17); sin embargo, no erradica el barro dentinario, ni logra la eliminación completa de bacterias (21), como ya fue mencionado anteriormente.

Algunas estrategias en su uso para la desinfección incluyen la combinación con otros agentes antimicrobianos o quelantes en la misma solución, el uso de una secuencia de enjuague empleando NaOCl con EDTA u otro agente quelante o antimicrobiano (21).

En 1947, Otsby propone la utilización de NaOCl con el ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA). Numerosos autores han acordado que la eliminación del barro dentinario, así como los residuos de tejidos orgánicos se puede lograr mediante el uso alternado de EDTA y NaOCl (25, 26). Goldman et al. (1982) examinaron el efecto de varias combinaciones de EDTA y NaOCl, y el enjuague final más efectivo fue de 10 ml de EDTA al 17% seguido de 10 ml de NaOCl de 5,25%, un hallazgo confirmado por Yamada y cols. Utilizado en combinación con EDTA, el NaOCl se inactiva y el EDTA permanece funcional durante varios minutos (25).

## ii. CLORHEXIDINA

El digluconato de Clorhexidina (CHX) se utiliza en odontología para la desinfección y para prevenir la formación de placa bacteriana debido a su buena actividad antimicrobiana (27). Por ello ha ganado una considerable popularidad en endodoncia(24).

Como solución de irrigación y como medicamento intraconducto la Clorhexidina no posee ninguna de las características no deseadas del hipoclorito de sodio (es decir, mal olor y fuerte irritación de los tejidos periapicales). Sin embargo, la clorhexidina no tiene capacidad para disolver tejidos y, por lo tanto, no puede reemplazar el hipoclorito de sodio (18, 20, 24).

### a) **Mecanismos de Acción de la CHX**

El mecanismo de acción de la Clorhexidina puede explicarse por la interacción química entre esta sustancia y las membranas celulares bacterianas. Para una dosis alta (2%), la unión electrostática entre sus moléculas catiónicas y la pared celular bacteriana con carga negativa hacen que la Clorhexidina ejerza una acción bactericida, dando como resultado la precipitación y coagulación de proteínas citoplásmicas y, en consecuencia, la muerte celular. En menor dosis (0.2%), la integridad de la membrana celular está alterada, resultando en un efecto bacteriostático debido a la filtración de componentes bacterianos de bajo peso molecular, sin dañar la célula de forma irreversible (17, 28)

Debido a su mayor solubilidad, la sal del Digluconato Clorhexidina se usa más comúnmente en el tratamiento endodóntico, incluido como un irrigante durante la preparación de la quimio-mecánica o como medicación intraconducto en casos de necrosis pulpar.

El Digluconato Clorhexidina es un agente antibacteriano de amplio espectro con sustantividad, es decir, se une a la hidroxiapatita del esmalte y la dentina o grupos aniónicos de glicoproteínas, se libera lentamente y su concentración disminuye en el medio, prolongando sus efectos antibacterianos para un largo período de tiempo (17, 28, 29).

Se ha recomendado que la propiedad de sustentividad de la Clorhexidina se debe aprovechar en endodoncia en su uso como irrigante final (30) porque su efecto residual puede permanecer hasta 12 semanas luego de aplicado(31). En otro estudio, Souza y cols. investigaron la sustentividad de la solución de la Clorhexidina y el gel dentro de un sistema de conducto e informan que es durante 24 horas, 30 días y 90 días. La solución de Clorhexidina mostró una mayor sustentividad que el gel de Clorhexidina excepto en los grupos incubados durante 90 días. Los resultados indican que la solución y el gel de clorhexidina se retienen en la dentina de la raíz durante 90 días (32).

#### **b) Actividad Antimicrobiana**

Los estudios han demostrado que la Clorhexidina tiene una actividad antimicrobiana eficiente en endodoncia, y que este efecto se puede observar tanto con el uso de Clorhexidina como solución de irrigación como con un medicamento intraconducto (28).

La acción contra organismos resistentes, especialmente *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans*, se ha estudiado en detalle. Algunos estudios muestran una mejor actividad antimicrobiana de Clorhexidina solo en comparación con el hidróxido de calcio  $[Ca(OH)_2]$ , especialmente contra *E. faecalis* (9, 17, 28).

Otro estudio mostró que el uso de Clorhexidina como irrigante durante la preparación del conducto radicular también parece ser suficiente para reducir el recuento de bacterias, pero no hay una reducción significativa adicional por el uso de un apósito de Ca (OH) 2 mezclado con Clorhexidina al 2%. Varios estudios afirman que Clorhexidina aumenta la actividad antibacteriana del Ca (OH) residual. (28).

La Clorhexidina no puede ser recomendado como el principal irrigante en casos de endodoncia estándar porque no puede disolver los restos de tejido necrótico ni remover el barro dentinario y es menos efectivo en bacterias gramnegativas que gram-positivas. Es debido a estas diferencias que Clorhexidina no puede reemplazar al NaOCl como irrigante Gold estándar del conducto radicular. Varios estudios han comparado el efecto antibacteriano de NaOCl y CHX al 2% contra la infección intraconducto y han mostrado poca o ninguna diferencia entre su eficacia antimicrobiana. Sin embargo, el Clorhexidina no causa la erosión de la dentina, como lo hace el NaOCl como irrigante final después del

EDTA, y, por lo tanto, la Clorhexidina al 2% puede ser una buena opción para maximizar el efecto antibacteriano al final de la preparación quimo-mecánica (1, 20). Lo anterior mencionado es particularmente relevante en casos de retratamientos, cuando el *Enterococcus Faecalis* puede estar presente (23).

### **c) Citotoxicidad**

Esta solución se utiliza en concentraciones de entre 0.12% y 2%. Según Løe y col., en estas concentraciones tiene poca toxicidad tisular, local y sistémica. Cuando se utilizó Clorhexidina al 2% como irrigante subgingival, no se observó toxicidad aparente en los tejidos gingivales. (17).

Además, debido a su baja toxicidad, está indicado para el tratamiento de dientes con formación incompleta de raíces o hipersensibilidad a NaOCl (28). Otro estudio informó que el CHX no altera la viabilidad celular ni las propiedades inmunoestimulantes y antiinflamatorias (33)

Sin embargo, algunos estudios han demostrado que la Clorhexidina puede tener efectos citotóxicos que aumentan con la concentración de la solución (34, 35). Hidalgo y Domínguez mostraron que la Clorhexidina es citotóxica en algunas líneas de cultivos de fibroblastos en piel humana (36, 37)

### **iii. ACIDO ETILENDIAMINOTETRAACÉTICO (EDTA)**

El Acido etilendiaminotetraacético, abreviado comúnmente como EDTA, fue introducido a la odontología por Nygaard-Østby en 1957 como un agente quelante para la limpieza y conformación de los conductos radiculares (20).

Es un ácido aminopolicarboxílico y a menudo se propone un EDTA sólido, incoloro e insoluble en agua como una solución de irrigación, ya que puede quelar y eliminar la parte mineralizada de barro dentinario (17).

Un agente quelante es un producto químico que forma complejos con iones de metales pesados o secuestrante, o antagonista de metales pesados, es una sustancia que forma complejos fuertes con iones de metales pesados. A estos complejos se los conoce como quelatos, y generalmente evitan que estos metales pesados puedan reaccionar. (38).

Este aminoácido se usa ampliamente para secuestrar iones metálicos di y trivalentes. El EDTA se une a los metales a través de los grupos carboxilato y dos grupos amino, forma complejos especialmente fuertes con Mn, Cu, Fe y Co (39, 40).

Su utilidad surge debido a su papel como ligando hexadentado y agente quelante, es decir, su capacidad para secuestrar iones metálicos como el  $\text{Ca}^{2+}$  y el  $\text{Fe}^{3+}$ . Después de estar ligado por EDTA, los iones metálicos permanecen en solución, pero muestran una reactividad disminuida. EDTA se produce como varias sales, en particular EDTA disódico y EDTA de calcio disódico. Se sintetiza principalmente a partir de 1, 2-diaminoetano (etilendiamina), formaldehído, agua y cianuro de sodio. Esto produce la sal tetrasódica, que se puede convertir en las formas ácidas por acidificación (39, 40).

#### **a) Mecanismo de acción del EDTA**

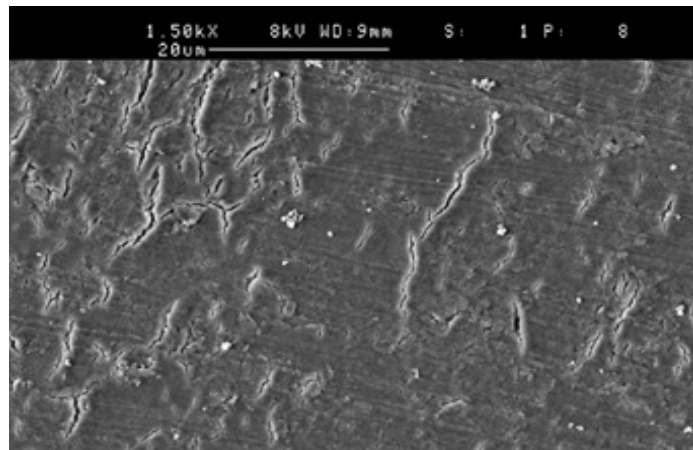
En la exposición directa durante un periodo de tiempo prolongado, el EDTA extrae las proteínas superficiales bacterianas al combinarse con iones metálicos de la envoltura celular, lo que puede llevar en su caso a la destrucción de las bacterias (17).

El EDTA reacciona con los iones de calcio en la dentina formando un complejo estable con el calcio, y forma quelatos de calcio solubles (17, 40). Cuando todos los iones disponibles están enlazados, se alcanza el equilibrio y no se produce mayor disolución; por tanto, el EDTA es autolimitante.

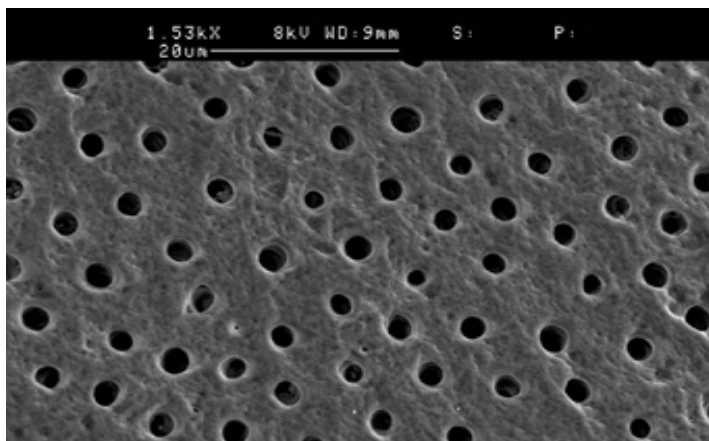
Por lo tanto, el EDTA complementa la acción de NaOCl mediante la quelación de iones de calcio en la dentina lo que facilita la instrumentación de los conductos radiculares, y es eficaz a un pH neutro (20).

Se ha informado que el EDTA descalcificó la dentina a una profundidad de 20-30  $\mu\text{m}$  en 5 minutos.

El ácido etilendiaminotetraacético es el irrigante que con mayor frecuencia se utiliza en conjunto con el hipoclorito de sodio como irrigante final en la etapa de desinfección del conducto, con el fin de eliminar del barro dentinario. (41-43) (Figura 2 y 3).



*Figura 2. La capa smear layer en la pared del conducto radicular principal después de la instrumentación.(18)*



*Figura 3. Pared del conducto instrumentado después de la eliminación de la capa de smear layer con NaOCl y una irrigación final con EDTA. (18)*

## **b) Acción del EDTA en la remoción del barro dentinario.**

La eliminación de la capa de barro dentinario del conducto radicular es un paso importante en la endodoncia, ya que expone a las bacterias que viven en los túbulos dentinarios para que actúen sobre ellos los irrigantes desinfectantes y, además, permite que el sellador endodóntico penetre en los túbulos dentinarios para obtener una unión más íntima. La formación de *tags* de cemento sellador en la dentina proporciona una buena adaptación entre el cemento sellador y la interfaz de la dentina. Esto puede reducir aún más la microfiltración que frecuentemente resulta de la obturación incorrecta del conducto radicular.(20)

Para eliminar el componente inorgánico de la capa de barro dentinario de las paredes del conducto radicular, muchos estudios han sugerido al EDTA como un eficaz agente quelante y su eficacia depende de una gran cantidad de factores tales como concentración, pH, duración de la aplicación, el tipo de solución, la longitud del conducto radicular, la penetración y profundidad del material y dureza de la dentina (44).

Se utiliza usualmente como una solución concentrada al 17% o al 15%, aunque algunos estudios han sugerido que el 5% es adecuado e incluso una solución de EDTA al 1% es lo suficientemente fuerte para la eliminación de la capa de barro dentinario (18, 41). Una concentración normal de EDTA (Entre 10 y 17%) puede remover 10.5 gramos de 100 gramos de calcio (45).

Hay dos tipos de presentación del EDTA que han ganado popularidad en la aplicación clínica, ellos son: el gel EDTA y la solución de EDTA. Algunos estudios han detectado una acción prolongada en la forma en gel de EDTA en las paredes del conducto radicular (13, 44, 46) en comparación a la solución de base acuosa, por esta razón la presentación de gel de EDTA es principalmente al 10%.

Wu y cols., mostró que la capacidad de eliminación de la capa barro dentinario del EDTA al 17% era significativamente mejor que utilizando el ácido cítrico al 20% y MTAD (mezcla Biopure™ de isómero de tetraciclina, ácido y detergente)(47).

Prado y colaboradores compararon la efectividad del ácido fosfórico al 37% con la del EDTA al 17% y el ácido cítrico al 10% en la eliminación de la capa de barro dentinario, los hallazgos revelaron que el ácido fosfórico era comparable al EDTA al eliminar la capa de barro dentinario (48).

Dai y colaboradores revelaron que Q-Mix fue tan eficaz como el EDTA al 17% para eliminar la capa de barro dentinario de la pared del conducto después del uso de NaOCl al 5,25% como el enjuague inicial.(49).

Mello y colaboradores demostraron que un enjuague continuo con 5 ml de EDTA durante 3 minutos podría eliminar la capa de barro dentinario de las paredes del conducto radicular de manera eficiente (50).

La eficacia de EDTA para eliminar la capa de barro dentinario fue revelada por Mancini y cols., (51), así como da Silva y cols., utilizando espectroscopia de absorción atómica y SEM (33), Spanó y cols., revelaron que el uso de EDTA al 15% dio lugar a la mayor concentración de iones de calcio en comparación con otros agentes quelantes. Además, el EDTA al 15% fue la solución más eficiente para eliminar la capa de barro dentinario (52).

Se ha observado diferencias en muchos estudios en términos de la duración de la aplicación de EDTA dentro del conducto, lo que sugiere que el tiempo es un factor importante he influyente en su eficiencia.

La exposición de la dentina del conducto radicular al EDTA al 17% por más de 1 minuto causa erosión de la dentina peritubular e intertubular y también reduce la microdureza de la dentina (13, 14)

La mayoría de los estudios sugieren que 1 minuto es el tiempo apropiado para la irrigación con EDTA (13), otros estudios sugirieron 3 y 5 minutos y un estudio con gel EDTA al 19% sugirió 7 min (46).

Saito y cols. revelaron que la irrigación del conducto radicular con EDTA al 17% durante 1 minuto fue más eficaz que a 30 segundos para eliminar la capa de barro dentinario después de la instrumentación del conducto radicular (53).

Según Teixeira y cols. la irrigación del conducto con EDTA y NaOCl durante 1, 3 y 5 minutos fue igual de efectiva para eliminar la capa de barro dentinario de las paredes del conducto en las raíces rectas (54).

Pérez y Rouqueyrol & Pourcel evaluaron, in vitro, la capacidad de una solución de EDTA al 8% para eliminar el barro dentinario producido durante la preparación del conducto y encontraron que la irrigación con EDTA al 8% con 3 minutos fue tan efectiva como la de EDTA al 15% con 1 minuto (55).

Scelza y cols. evaluaron el efecto de EDTA-T, 17% de EDTA y 10% de ácido cítrico en la eliminación de la capa de barro dentinario después de la irrigación final durante 3, 10 y 15 minutos. Los resultados revelaron que hubo resultados significativamente mejores cuando la irrigación se comparó con EDTA durante 3 y con 15 minutos. También indicaron que el EDTA extraería el  $\text{Ca}^{2+}$  (iones Calcio) y  $\text{PO}_4^{3-}$  (iones Fosfato) a los 10 y 15 minutos en forma significativamente mayor a los 5 minutos de aplicación. Además, demostraron que la capa de barro dentinario podría ser eliminada sin descalcificación de dentina a los 9 minutos (56)

### **c) Biocompatibilidad**

La biocompatibilidad del EDTA ha sido investigada por diversos estudios a diferentes concentraciones. Patterson investigó la reacción del tejido a la inyección intramuscular de diferentes concentraciones de solución de EDTA y observó que la inflamación parecía

aumentar a medida que aumenta el porcentaje de concentración de EDTA. Silveira y cols., estudiaron el potencial irritante de la solución de EDTA al 15% usando la técnica de exudación de colorante vital y se observó irritación severa. Segura y cols., demostraron la inhibición en la capacidad de adherencia del sustrato a los macrófagos por EDTA en todas condiciones probadas y este efecto fue a la vez tiempo/dosis dependiente. Además, varios de los estudios anteriores informaron el efecto citotóxico del EDTA al 17% (57).

La elección de una solución irrigante debe siempre considerar su biocompatibilidad con respecto a los aspectos biológicos; el daño químico ocurre cuando el tejido vivo está expuesto a sustancias que no son compatibles con la vitalidad celular. La lesión puede ser leve, en cuyo caso solo habrá una alteración en el metabolismo celular. Como la forma de irritación es leve, no siempre es evidente esta lesión celular y solo es observable microscópicamente. Por otro lado, según lo declarado por Forbus, la irritación puede ser más violenta, produciendo un cese de toda la actividad celular, con la muerte celular. Por lo tanto, cuando la tolerancia fisiológica es excedida, se provoca una respuesta inflamatoria en el cuerpo, lo es indicativo de lesión celular (57).

La reacción tisular a los irritantes del conducto radicular como se encontró en la práctica clínica se ve influenciada por varios factores, como tipo y concentración del irrigante, volumen del irrigante, la forma en que se utiliza, el tamaño del foramen apical, estado histológico del periodonto, duración de la exposición del tejido al irrigante y la susceptibilidad a la sustancia. De todos estos, el tipo y la concentración del irrigante utilizado es quizás el factor más importante.

El uso clínico de agentes quelantes o ácidos debe hacerse con precaución para evitar su extrusión a los tejidos periapicales. La extrusión apical de estas soluciones puede alterar algunos de los procesos fisiológicos locales. El EDTA puede quelar varios iones metálicos como el calcio, magnesio, zinc, manganeso, hierro y otros divalentes cationes que son necesarios para diversas reacciones enzimáticas.

El calcio también es particularmente necesario para la coagulación de la sangre, contracción neuromuscular y permeabilidad vascular. Por lo tanto, el irrigante no debe ser extruido al tejido periapical. En vista de esto, los experimentos de citotoxicidad son pruebas inicialmente apropiadas, recomendadas para evaluar efectos citotóxicos causados por diversos compuestos en células cultivadas in vitro (58).

Sin embargo, el EDTA tendrá baja toxicidad, si permanece en el fluido extracelular y no es absorbido por las membranas celulares.

Estos hallazgos requieren la incorporación de un agente alternativo para eliminación de la capa de barro dentinario en el sistema de conductos radiculares en lugar del agente usado convencionalmente, el EDTA.

El EDTA tiene poca o nula actividad antimicrobiana, aunque algunos los estudios han indicado actividad antifúngica. Sen y cols. reveló que el EDTA fue efectivo contra *Candida albicans* (59). Arias-Moliz y cols. mostraron que el EDTA no tenía eficacia contra *E. faecalis* incluso después del contacto de 60 minutos (60). Sin embargo, el EDTA debilita la membrana celular bacteriana sin generar destrucción celular, pero puede funcionar de forma sinérgica con otros productos químicos, por ejemplo, clorhexidina, que es más vigorosa al atacar la pared celular bacteriana (18).

Una comparación de la inhibición del crecimiento bacteriano mostro que los efectos antibacterianos del EDTA eran más intensos que el ácido cítrico y el NaOCl al 0,5%, pero menos que el NaOCl al 2,5% y la CHX al 0,2% (17).

#### **d) Efecto en la micro-dureza en la dentina**

Pawlicka informó que los quelantes pueden reducir la microdureza de la dentina radicular, por lo que las mayores diferencias se encuentran en la dentina inmediatamente adyacente al lumen del conducto radicular. El efecto del quelante ya es evidente después de 5 min y no se puede aumentar significativamente al extender el tiempo de trabajo a 24 horas (61).

Cruz & Filho y cols. ,evaluaron el efecto de diferentes soluciones quelantes sobre la microdureza de la capa de dentina más superficial del lumen del conducto radicular. Los hallazgos revelaron que el EDTA y el ácido cítrico tuvieron el mayor efecto general, causando una fuerte disminución de la microdureza de la dentina sin una diferencia significativa entre sí (62).

#### **iv. ACIDO CITRICO**

El ácido cítrico es un ácido orgánico débil con la aparición de polvo cristalino blanco a temperatura ambiente. Puede existir en forma libre de agua (anhidra) o en forma de monohidrato. La forma sin agua se cristaliza en el agua caliente, mientras que el monohidrato se forma en el agua fría. Este último puede convertirse en forma anhidra calentando más de 78 ° C (63).

El ácido cítrico tiene una larga historia en el uso como irrigante de conductos. Se puede usar en lugar de EDTA en el lavado final para eliminar la capa de barro dentinario después del uso de Hipoclorito de sodio. Se han usado soluciones de uno a diez por ciento. El ácido cítrico es un poco más agresivo que el EDTA y si se usa NaOCl después del ácido cítrico (lo que no es recomendado) la erosión de la pared de los conductos radiculares es más agresiva que en la combinación EDTA-NaOCl (64).

##### **a) Actividad Antimicrobiana**

Yamaguchi y cols. mostraron que la solución de ácido cítrico tenía efectos antibacterianos en las 12 bacterias analizadas en el conducto radicular. Arias-Moliz y cols. evaluaron la concentración bactericida mínima (MBC) para *Enterococcus faecalis* y mostraron que la MBC de ácido cítrico y ácido fosfórico fueron 20 y 2.5% respectivamente. También mostraron que el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) no tiene actividad bactericida, incluso después de 1 hora de contacto (63).

## **b) Efecto del Ácido Cítrico en la remoción del barro dentinario**

Este ácido actúa como irrigante del conducto radicular y también la capacidad de eliminar la capa de barro dentinario. Se han propuesto diferentes concentraciones del 1% al 50% (65).

Yamaguchi y cols. propusieron al ácido cítrico como un irrigante sustituto del EDTA. Ellos notaron que uno de los principales problemas de este agente irrigante es su bajo pH, lo que lo hace más ácido y biológicamente menos aceptable, mientras que el EDTA tiene un pH neutro. Ellos concluyeron que todas las concentraciones de ácido cítrico (0,5, 1 y 2 M.) mostraron buenos efectos antibacterianos y ser buenos quelantes (elimina la capa de barro dentinario), y sugieren que el ácido cítrico puede ser usado como una solución irrigante para los conductos alternándolo con hipoclorito de sodio (66) .

Silveiro y cols. demostraron que el 10% de ácido cítrico es más efectivo que el 1% de ácido cítrico y que es más efectivo que el EDTA en la desmineralización de la dentina. Takeda y cols., también concluyeron que la irrigación con ácido fosfórico al 6%, ácido cítrico al 6% y EDTA al 17% no puede eliminar toda la capa de barro dentinario de las paredes del conducto. Según Reis y cols. las soluciones de ácido cítrico eliminaron la capa de barro dentinario después de 60 segundos de aplicación (63).

## **c) Citotoxicidad**

Utilizando el ensayo de bromuro de 3-(4,5-dimetiltiazol-2-il) -2,5-difeniltetrazolio (MTA), Prado y cols. revelaron que el ácido cítrico al 10% mostró una mayor viabilidad celular en comparación con otras soluciones de irrigación probadas. Marins y cols. evaluaron la capacidad de algunos irrigantes del conducto radicular para inducir daño genético y/o muerte celular en fibroblastos marinos in vitro. De acuerdo con sus hallazgos, NaOCl, ácido cítrico y EDTA muestran citotoxicidad dependiente de la dosis sin genotoxicidad (63).

## v. ACIDO MALEICO

El ácido maleico (MA) es un ácido orgánico suave, dicarboxílico, utilizado como acondicionador de la dentina cuando se realizan restauraciones adhesivas (15, 57, 67). Es el isómero cis del ácido butenodioico, mientras que el ácido fumárico es su isómero trans. Se obtiene a partir del anhídrido maleico por hidrólisis, el cual, a su vez se produce a partir del benceno o del butano por un proceso de oxidación (68).

Van Meerbeek en 1992, informó que el ácido maleico posee la capacidad para eliminar la capa de barro dentinario (58).

Algunos estudios realizados por Ballal y cols. han demostrado que el ácido Maleico posee una mejor calidad de eliminación de la capa del barro dentinario que el EDTA de las paredes del conducto radicular, sin embargo, el efecto citotóxico de MA en endodoncia no ha sido sometido a suficiente evaluación científica (57).

En odontología restauradora, se ha encontrado que posee la capacidad de eliminación de barro dentinario, generado por el fresado en la dentina, cuando es utilizado como ácido grabador (41).

Debido a su fuerte acción fisicoquímica tanto en partículas orgánicas como inorgánicas, el ácido Maleico se ha sido sugerido como una solución potencial de irrigación. En diferentes concentraciones, también se ha encontrado que remueve la capa de barro dentinario endodóntico, lo que indica que se puede usar como una alternativa al uso de rutina del 17% de EDTA en concentraciones de 5 y 7% (1).

Los resultados obtenidos en estudios por Kokkas y cols., Peters y cols. y Paque y cols., demostraron que independientemente del tipo de instrumento, de la técnica y de la irrigación utilizada, la limpieza de la parte más apical del conducto radicular resulta menos efectiva (68).

Numerosos estudios han demostrado que el EDTA elimina la capa de barro dentinario eficientemente sólo en los tercios cervical y medio del conducto radicular, mientras que el MA elimina exitosamente la capa de barro dentinario también del tercio apical (12, 16)

Prabhu y cols. informaron que el ácido maleico utilizado a una concentración superior al 7%, causa daño a la dentina intertubular. Según Prabhu en el mismo estudio, menciona que todos los irrigantes probados, remueven el barro dentinario efectivamente desde el tercio coronal y medio (69). En el tercio apical, todos los irrigantes mostraron propiedades pobres o nulas para remover ese barro dentinario, pero el ácido maleico mostró comparativamente mejores resultados que el EDTA y que el ácido Etidróico en el tercio apical (70)

Ballal y cols. (71) recientemente evaluaron en un estudio in vitro la eficacia de SmearOFF, el MA al 7% y dos preparaciones de EDTA (17% de EDTA con pH de 8,5 y 18% de EDTA con pH de 11,4) en la eliminación de la capa de barro dentinario de las paredes del conducto radicular. Los resultados del estudio mostraron que el SmearOFF y MA cuando se utilizaron como irrigantes finales junto con NaOCl al 2,5%, tenían una capacidad similar para eliminar la capa de barro dentinario que era mejor que las preparaciones con EDTA de pH 8.5 y 11.4.

El MA al 7% demostró una mejor eliminación de la capa de barro dentinario en el tercio apical en comparación con SmearOFF y la solución de EDTA al 17%. Este hallazgo está de acuerdo con estudios previos (12, 69, 72), y puede atribuirse al pH ácido del MA al 7% (pH = 1.3) y su fuerte capacidad desmineralizadora en períodos de tiempo más cortos (41)

Un pH alto impacta negativamente en la efectividad del EDTA debido al exceso de iones hidroxilo que reduce en gran medida la disociación de la hidroxiapatita de la capa de barro dentinario (73), lo que limita la cantidad de iones de calcio libres que el EDTA puede quelar.

Entonces, aunque la molécula de EDTA se vuelve completamente desprotonada ( $\text{EDTA}^{4-}$ ) a un pH > 10.3, y como resultado tiene la mayor afinidad por el calcio libre, el alto pH

inhibe y reduce significativamente la disociación de hidroxiapatita y también la eficacia de desmineralización del EDTA. De hecho, la naturaleza logarítmica de la escala de pH deduce que una solución de EDTA de pH 11.4 contiene aproximadamente 1000x iones hidroxilo más que una solución de EDTA de pH 8.5, lo que explica por qué el 18% de EDTA mostró poca capacidad de eliminación de la capa de barro dentinario en todos los tercios del conducto y arrojó resultados estadísticos similar a la solución salina.

Otras investigaciones han demostrado una disminución significativa en el rendimiento de EDTA cuando el pH de la solución es 9 en comparación con un pH neutro o un pH ligeramente básico. Cury y cols. mostró que más de 2x fosfatos se liberan de la dentina humana expuesta a una solución de EDTA a un pH 7 en comparación con la misma solución de EDTA a un pH de 9 (74).

Investigaciones adicionales de Serper y Calt mostraron que una solución de EDTA al 10% a un pH de 7.5 liberó aproximadamente la misma cantidad de fosfato de la dentina que una solución de EDTA al 17% a un pH de 9, aunque esta última tiene casi el doble de la concentración de EDTA (75).

Posteriormente, disminuyendo el pH de la solución de EDTA al 17% a 7,5, casi se duplicó su liberación de fosfato durante el experimento y aceleró su tiempo de trabajo en cinco veces (75).

Como el pH tiene un profundo impacto en el rendimiento de EDTA, se recomienda deben conocer el pH de su solución de EDTA. Además de invertir en una sonda de pH, las tiras de pH fáciles de usar pueden proporcionar un método rápido y sencillo para que los endodoncistas revisen su EDTA antes del uso para garantizar el pH y la eficacia de la solución (71).

### **a) Actividad Antimicrobiana**

La dificultad para erradicar completamente los microorganismos y eliminar la capa de barro dentinario del sistema de conductos radiculares es bien conocida y ha llevado al desarrollo de combinaciones de irrigantes para enfrentar el entorno químico de los conductos radiculares infectados. Se han asociado antimicrobianos, agentes quelantes y surfactantes para proporcionar en un solo compuesto la actividad antimicrobiana, eliminación de la capa de barro dentinario y reducción de la tensión superficial (76).

Ferrer-Luque y cols. realizaron un estudio en el cual se determinó la capacidad antimicrobiana de la asociación de cetrimida con los ácidos maleico y cítrico y EDTA. La cetrimida al 0,2% con ácido maleico al 7%, erradico la biopelícula de contaminada con *E. faecalis* a partir de 30 segundos y la cetrimida al 0,2% EDTA al 15% y ácido cítrico al 15% lo erradico a partir de 1 minuto. Estos hallazgos confirman que la combinación de cetrimida con EDTA o ácido cítrico no interfiere con su actividad antimicrobiana. Los resultados ponen de manifiesto la capacidad del ácido maleico para erradicar las biopelículas de *E. faecalis* no solo a la concentración recomendada del 7%, sino también a concentraciones más bajas, 0,88% a los 30 segundos de contacto y 0,11% a los 2 minutos. Estos hallazgos son importantes para respaldar el uso de este agente quelante como irrigante en el tratamiento del conducto radicular (76)

El hecho de que el ácido maleico pueda erradicar in vitro las biopelículas de *E. faecalis*, incluso en concentraciones muy bajas, nos brindaría un margen de seguridad para su actividad antimicrobiana in vivo. Este margen de seguridad podría extenderse a los tiempos de exposición, dado que la misma concentración baja se elimina a 1 minuto y también a 30 segundos. Estudios ex vivo son necesario para verificar los beneficios de usar este agente en el sistema de conductos radiculares.

La actividad antimicrobiana del ácido maleico puede provenir de su naturaleza química como un ácido orgánico. Los ácidos orgánicos disminuyen el pH interno de las células

microbianas a través de la ionización de moléculas de ácido disociadas y la interrupción del transporte del sustrato al alterar la permeabilidad de la membrana celular.

El menor peso molecular del ácido maleico en comparación con el ácido cítrico podría explicar esta diferencia; las moléculas más pequeñas no disociadas de ácido maleico podrían ingresar a las células bacterianas más fácilmente para cambiar el pH interno del organismo.

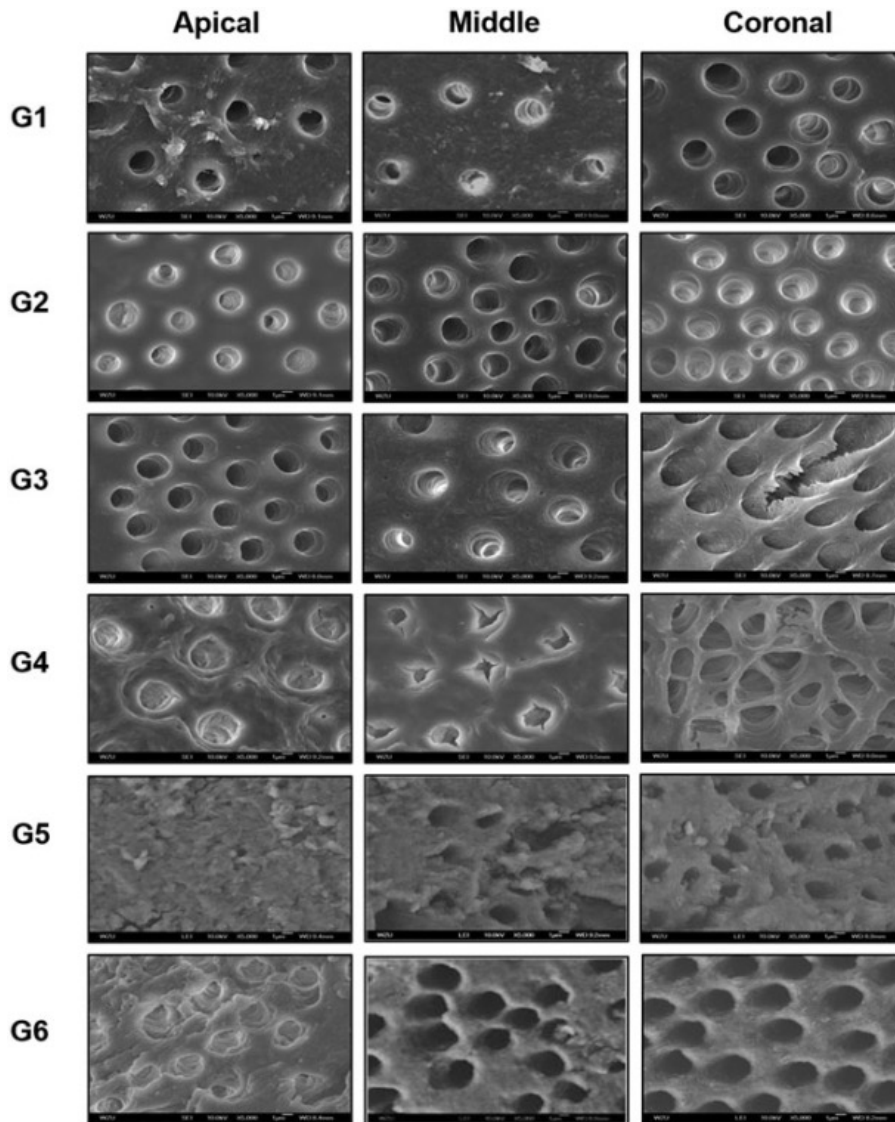
Su actividad antibacteriana se ha demostrado contra *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Salmonella typhimurium* (76).

### **b) Erosión y Daño en la microdureza de la dentina**

En la actualidad no hay una solución de irrigación ideal que pueda eliminar totalmente la capa de barro dentinario, particularmente en el tercio apical, mientras previene cualquier cambio perjudicial en la dentina radicular.

Wang L.y cols, estudiaron la eliminación de la capa de barro dentinario, las propiedades micro y nanomecánicas y la resistencia a la fractura de la dentina del conducto radicular tratada con un 7% de MA durante varios períodos, se utilizó el SEM para evaluar y clasificar la eliminación de la capa de barro dentinario. El estudio mostro que la exposición del MA durante menos de 1 minuto (45 s en particular) eliminó la capa de barro dentinario, pero no alteró dramáticamente las propiedades mecánicas de la dentina (fig.4), mientras que los tiempos de exposición más largos sí lo hicieron (77).

Se reportño que el EDTA combinado con NaOCl solo fue efectivo en la eliminación de la capa de barro dentinario en los tercios medio y coronal del sistema del conducto radicular, pero no en el tercio apical, sin embargo, la capa de barro dentinario en todo el conducto se eliminó completamente después del tratamiento con MA. (77)



*Fig. 4 Imágenes de microscopía electrónica de barrido que muestran los tercios apical, medio y cervical de las paredes del conducto radicular tratadas con soluciones de prueba (aumento: 5000x). G1: 30 s, 5 ml de MA al 7% +1 min, 5 ml, NaOCl al 2,5%. G2: 45 s, 5 ml, MA al 7% +1 min, 5 ml, 2,5% NaOCl. G3: 1 min, 5 ml, MA al 7% + 1 min, 5 ml, 2,5% NaOCl. G4: 3 min, 5 ml de MA al 7% +1 min, 5 ml, NaOCl al 2,5%. G5: 45 s, 5 ml, solución salina al 0,9%. G6: 45 s, 5 ml, EDTA al 17% +1 min, 5 ml, NaOCl al 2,5%. Barra roja: 2 lm. (77)*

Ballal y cols, evaluaron la eliminación eficaz de la capa de barro dentinario, pero no evaluaron los efectos perjudiciales de la MA sobre las propiedades mecánicas de la dentina

radicular. Además, según los puntajes de erosión de la dentina radicular, el MA claramente generó una erosión inadvertida de la dentina intrarradicular, especialmente en el segmento coronal del conducto radicular si se aplica durante 1 min. Puede deberse a su propiedad ácida. Además, la región coronal podría verse afectada fácilmente en un conducto de mayor tamaño, una mayor difusión de la solución de irrigación como resultado de una limpieza y conformación suficientes, la viscosidad del irrigante, el calibre de la aguja y la experiencia del profesional. En conjunto, estos factores de confusión pueden explicar por qué la erosión siempre se localizó en las porciones coronales del conducto radicular (12)

Cuando se usa el MA en una concentración superior al 7%, causa daños en la dentina intertubular (63). Y cuando el tiempo de exposición del MA se extendió a 3 minutos, la dentina peritubular e intertubular se disolvió en todo el conducto radicular, dejando la estructura del borde del orificio del túbulo dentinario dañado. Este efecto perjudicial también fue probablemente inducido por el bajo valor de pH de la solución de MA, que causó la desmineralización de la dentina del conducto radicular (77).

### **c) Citotoxicidad**

En odontología operatoria, se ha informado que el ácido maleico no es tóxico en la cicatrización pulpar cuando se usa como un agente de grabado ácido. Ballal y cols. evaluaron y compararon la citotoxicidad de las soluciones acuosas de EDTA al 17% con la de MA al 7% mediante 3 ensayos de citotoxicidad diferentes utilizando células de fibroblasto de hámster chino (V79) que crecen in vitro. El estudio demostró que la citotoxicidad del EDTA y el MA dependen de las concentraciones utilizadas. Los 3 ensayos utilizados en este estudio indicaron una baja citotoxicidad del MA en comparación con la del EDTA. Por lo tanto, en base a este y otros estudios el ácido maléico es eficaz en la eliminación de la capa de barro dentinario y se define su carácter no tóxico. Se puede concluir que puede ser usado como una alternativa irrigante al EDTA (57)

## E. INTERACCION ENTRE IRRIGANTES

### a) Hipoclorito de sodio y Clorhexidina

Al combinar la clorhexidina y el hipoclorito sodio no se disuelven entre sí y forman un producto de precipitación color marrón-anaranjado (fig. 5). Ha habido un debate considerable sobre la composición del precipitado, con diferentes técnicas analíticas que muestran resultados contradictorios (78). El precipitado es floculado y tiene dimensiones de aproximadamente 250 nm, reduciendo la permeabilidad de la dentina en el tercio apical. Genera un efecto cromático indeseable sobre la tinción de la corona dentaria. (28).

La presencia de paracloroanilina (PCA) ha sido reportado en estudios de espectrometría (78, 79). La espectrofotometría de absorción atómica ha indicado que el precipitado contiene hierro, lo que puede ser la razón del desarrollo del color naranja (24),

La paracloroanilina presenta componentes cancerígenos y mutagénicos, que son potencialmente tóxicos. Por lo que, se requiere la eliminación del hipoclorito de sodio residual del conducto con la ayuda de irrigantes intermedios como: alcohol, EDTA, ácido cítrico, agua destilada o secando el conducto con conos de papel, para prevenir la formación del precipitado cancerígeno, y así aprovechar las ventajas de ambas sustancias irrigantes (80).

Benavidez y cols., concluyen que el precipitado formado con hipoclorito de sodio al 5,25% y clorhexidina al 2% no presenta paracloroanilina (PCA) (80).



*Figura 5. Precipitado naranja formado por la mezcla de clorhexidina con hipoclorito de sodio (24).*

Cabe mencionar que este precipitado se ha encontrado dentro de los túbulos dentinarios y en el conducto principal (25), reduciendo la permeabilidad de la dentina y disminuyendo la eficacia de los irrigantes endodónticos (21), además de interferir con el sellado de la obturación radicular (17).

#### **b) Hipoclorito de sodio y EDTA**

El EDTA en gran medida debilita el efecto de NaOCl, al mezclarse, generando una reacción exotérmica reduciendo rápidamente la cantidad de cloro libre disponible, resultando en la pérdida de la actividad antimicrobiana del NaOCl (21, 80). Aunque las propiedades de la mezcla y el sobrenadante eliminado no se han estudiado a fondo, parece que la capacidad del EDTA para eliminar la capa de barro dentinario se reduce (24), de modo que estas soluciones no deberían de ser combinadas.

Cuando se agrega EDTA al NaOCl, la interacción de ambas soluciones forman gas cloro, este cloro gaseoso (clorinas) se puede detectar a niveles relativamente bajos (14) y tiene un efecto potencialmente peligrosos en los seres humanos (39).

#### **c) Hipoclorito de sodio y Ácido Cítrico**

El ácido Cítrico en soluciones al 10% y al 25%, tienen actividad antimicrobiana frente al *E. faecalis*, pero requiere de un tiempo de contacto de 3 a 10 minutos. La mezcla del NaOCl con el ácido cítrico tendrá una situación diferente ya que aumenta la liberación de gas cloro y pérdida de cloro disponible (80).

La mezcla de NaOCl y ácido cítrico produce una pérdida del NaOCl de su capacidad para disolver tejido orgánico. El ácido cítrico y el NaOCl no deben estar presentes juntos durante la terapia endodóntica, ya sea mezclado o utilizado de forma secuencial (21).

Sin embargo, el ácido cítrico en combinación con NaOCl mantiene tanto su quelación como su acción antimicrobiana (21).

#### **d) Hipoclorito de Sodio y Ácido Maleico**

Se puede utilizar porque se ha demostrado que esta combinación no causa la formación de precipitado, y sólo produce una reducción marginal de la disponibilidad de la NaOCl (80).

#### **e) Clorhexidina y EDTA**

La Clorhexidina combinada con el EDTA también conduce a la formación de precipitados, resultando un barro dentinario (smear layer) químico que cubre los túbulos dentinarios, resultando un precipitado blanco o lechoso en relación con las reacciones ácido-base (fig.6). A pesar de que las propiedades de la mezcla no han sido estudiadas completamente, al parecer las propiedades del EDTA de remover el barro dentinario se ven reducidas.

Por la formación del precipitado, no deben mezclarse, para evitar la obliteración de los túbulos dentinarios (80).

#### **f) Clorhexidina y Ácido Cítrico**

Esta mezcla no forma precipitado, el ácido cítrico no se ve modificado por la clorhexidina. De igual forma sucede con el ácido fosfórico. Sin embargo Akisue mostró que el uso de ácido cítrico al 15% seguido de CHX al 2% causó la formación de una solución lechosa, pero sin precipitación (80).



*Figura 6. La mezcla de clorhexidina con EDTA produce una nube blanca y algo de precipitación (24).*

Rasimick y cols. analizaron el precipitado que se formó después de la combinación de EDTA al 17% con CHX al 2% o 20% en volúmenes iguales y tres diferentes condiciones de mezcla. Los hallazgos indicaron que más del 90% de la masa precipitada fue EDTA o CHX. González & López y cols. sugirieron que lo más probable es que el precipitado fuera una sal formada por la neutralización del CHX catiónico por EDTA aniónico (39).

## II. SMEAR LAYER/ CAPA RESIDUAL/ BARRO DENTINARIO.

La capa de Smear Layer fue descrita por primera vez en conductos radiculares instrumentados y observados mediante microscopía electrónica de barrido por McComb y Smith (6).

La Asociación Americana de Endodoncia define la capa de Smear Layer, Barro dentinario o capa residual como "Una película superficial de escombros retenidos en la dentina y otras superficies después la instrumentación, ya sea con instrumentos rotatorios o limas de endodoncia; se compone de partículas de dentina, restos tejido de pulpa vital o necrótico, componentes bacterianos e irrigante retenido"(1)

Es una capa irregular, granular y amorfa, con un grosor promedio de 1-5 $\mu$ m (9) dependiendo de su formación, el filo de los instrumentos de corte y si la dentina está seca o húmeda cuando se corta. Además, se puede considerar que está formado por dos capas: la primera, una capa superficial no adherida y la segunda, una capa compactada adherida en el interior de los túbulos dentinarios (2, 7)

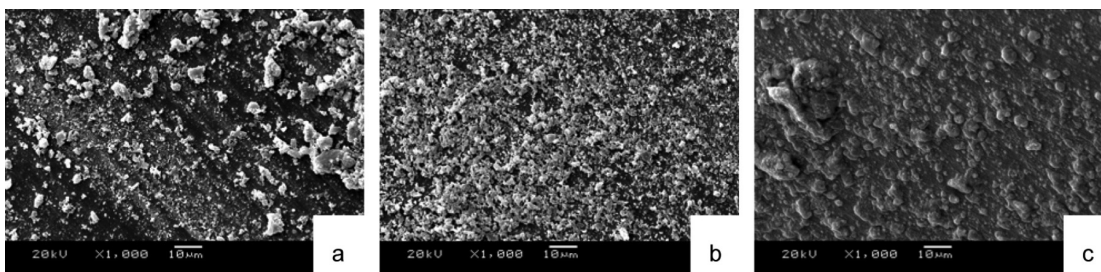
Los principales constituyentes del barro dentinario o smear layer son microorganismos, prolongaciones odontoblásticas, material orgánico (proteínas coaguladas, tejido pulpar necrótico o vital, saliva, células sanguíneas) e inorgánico.

El conjunto que conforma esta capa se observa en la superficie de la pared en la extensión de todo el conducto luego de haber sido instrumentado y tiene normalmente una

profundidad dentro de los túbulos dentinarios de alrededor de 40  $\mu\text{m}$  sobre las paredes de dentina (81-83). Perez, Rochd y cols. en 1993 realizaron un estudio en donde se evaluó la penetración bacteriana en una pulpa necrótica, a los 28 días de incubación y se observó una penetración media de 479  $\mu\text{m}$ .(17)

Brännström y Jhonson en 1974 (7) indican que existe un empacamiento del barro dentinario hacia el interior de los túbulos dentinarios y esto sería producto del efecto del fresado y limado y, que aparentemente, por consecuencia de la presión ejercida contra las paredes, se logran capas profundas dentro de estos. Sumado a esto, Cengiz y cols. (26), proponen que la penetración del barro dentinario en los túbulos dentinarios resulta por el efecto de la capilaridad y de fuerzas adhesivas de los mismos túbulos dentinarios y el barro dentinario, pudiendo llegar a los 110  $\mu\text{m}$  hacia el interior de ellos, como describe Aktener y cols. (84). Este último autor también menciona que esa capilaridad está aumentada por los agentes irrigantes durante la instrumentación.

El barro dentinario también puede interferir con la adherencia y la penetración de los cementos selladores en los túbulos dentinarios. La evidencia recogida indica que la penetración de los cementos selladores en los túbulos dentinarios no ocurre cuando existe una capa de barro dentinario.(17) (Fig.7)



*Fig.7 - En la mayoría de las microfotografías se observa una densa capa residual que impide la visualización de los túbulos dentinarios. a) apical, b) medio, c) cervical. (85)*

## A. REMOCIÓN DE LA CAPA DE BARRO DENTINARIO

Como se mencionó anteriormente, la posibilidad de no crear una capa de barro dentinario al realizar el desgaste mecánico con instrumentos contra de las paredes del conducto es imposible. Se ha discutido ampliamente si la remoción de la capa de barro dentinario es necesaria para mejorar el pronóstico y disminuir el avance, proliferación y contaminación bacteriana. También se menciona que esta capa puede interferir con la acción de los irrigantes utilizados en la desinfección de los conductos radiculares (17).

Violich y cols. Recopilaron diversas publicaciones en relación al barro dentinario, con variados enfoques, por ejemplo; según métodos de eliminación de barro dentinario, microfiltración apical y coronal, penetración bacteriana de los túbulos, adaptación de materiales según la presencia de barro dentinario en las paredes, etc.(2).

Existen factores que determinan la eliminación de la capa de barro dentinario o smear layer, estas son:

1. Tiene un espesor y volumen impredecible, porque una gran parte de esta se compone de agua.
2. Contiene bacterias, sus derivados y el tejido necrótico. Las bacterias pueden sobrevivir y multiplicarse y pueden proliferar en los túbulos dentinarios, también puede servir como un reservorio de agentes irritantes microbianos.
3. Puede actuar como un sustrato para las bacterias, permitiendo su penetración mayor en los túbulos dentinarios.
4. Puede limitar la penetración óptima de agentes desinfectantes. Las bacterias se pueden encontrar en la profundidad de los túbulos dentinarios y la capa de barro dentinario puede bloquear el efecto de los desinfectantes en los túbulos. En un estudio realizado por Orstavik & Haapasalo se concluyó que la capa de barro dentinario retrasa, pero no anula la acción del desinfectante y también se determinó que después de la eliminación de la capa de barro dentinario, las bacterias en los túbulos dentinarios pueden destruirse fácilmente (86).

5. Puede actuar como una barrera entre los materiales de relleno y la pared del conducto y, por lo tanto, comprometer la formación de un sello satisfactorio. Lester & Boyde encontraron que selladores radiculares con base de óxido de zinc-eugenol no pudieron penetrar los túbulos dentinarios en presencia de la capa de barro dentinario, esto lo observaron en dos estudios consecutivos (87).

6. Es una estructura poco adherida y una vía potencial de filtración y el paso de contaminantes bacterianos entre la obturación del conducto radicular y las paredes dentinarias. Su eliminación facilitaría la obturación del conducto (2).

Contrario a esto, algunos autores respaldan la idea de retener el barro dentinario durante la preparación radicular, respaldándose en que no existiría un intercambio entre bacterias y otros irritantes por el bloqueo de los túbulos. Incluso, durante la preparación químico-mecánica del conducto radicular, Pashley indica que, con la obliteración de la entrada de los túbulos dentinarios, podría disminuir la invasión bacteriana (88).

En estudios realizados sobre la eficacia en la remoción del barro dentinario combinando EDTA e Hipoclorito de sodio se ha encontrado, que en la región apical es menos predecible su remoción comparada con el tercio medio y coronal de la raíz. Esto podría atribuirse a las menores dimensiones del conducto en apical que obstaculizan la penetración de irrigantes resultando en un contacto limitado con las paredes del conducto.(2)

Cabe destacar que bacterias pueden encontrarse en lo profundo dentro de los túbulos dentinarios y la capa de barro dentinario puede bloquear los efectos desinfectantes de los irrigantes posibles a utilizar, por lo que esta puede actuar como una barrera entre los materiales de relleno y la pared del conducto y por lo tanto poner en peligro la formación de un sellado satisfactorio. (89)

La falta de evidencia en dejar obliterada la entrada de los túbulos dentinarios con barro dentinario, indica que la tendencia actual considera removerlo, con el fin de lograr reducir el número de microorganismos que puedan estar presentes en él, eliminar los restos orgánicos que sirven de sustrato para el crecimiento y desarrollo bacteriano y aumentar la

permeabilidad dentinaria optimizando la desinfección del conducto al permitir una mejor acción del irrigante y de la medicación tópica (4).

## B. METODOS DE REMOCIÓN EL BARRO DENTINARIO

La instrumentación mecánica por sí sola no eliminará por completo las bacterias de un sistema de conductos radiculares. Independientemente de la técnica instrumental utilizada, grandes áreas de las paredes del conducto radicular pueden permanecer intactas.

Por lo tanto, un número de estudios han demostrado que el tratamiento de endodoncia exitoso se logra por medio de una combinación de instrumentación mecánica y el uso de diferentes soluciones de irrigación (90). El papel del irrigante es importante, ya que desempeña un rol protagónico en la preparación ideal de la superficie de la dentina. (2)

La remoción química, mediante agentes irrigantes, es el método actual por el cual es posible lograr una limpieza de las paredes del conducto radicular, dejando los túbulos dentinarios expuestos y susceptibles a una limpieza por otros agentes químicos que eliminarán la capa de barro dentinario que queda adherida a las paredes del conducto radicular, posterior a la instrumentación.

Se requiere un sistema de irrigación eficaz para que los irrigantes alcancen la longitud de trabajo. Un sistema de entrega de este tipo debería tener un flujo adecuado y un volumen suficiente de irrigante hasta la longitud de trabajo para ser eficaz en la limpieza del sistema completo del conducto radicular. (91). La cantidad de barro dentinario eliminado por el irrigante además estará relacionada con el pH y el tiempo de exposición del mismo (19).

Se menciona en la literatura la existencia de instrumentos sónicos, ultrasónicos y otros dispositivos capaces asistir a los irrigantes y facilitar la eliminación de tejido orgánico e inorgánico y bacterias presentes en la capa de barro dentinario. (92).

### III. DISPOSITIVOS Y TECNICAS DE IRRIGACION

Los irrigantes se han manipulado tradicionalmente en el espacio del conducto radicular con jeringas y agujas metálicas de diferentes tamaños y diseños de punta.

La experiencia clínica y la investigación han demostrado, sin embargo, que este enfoque clásico por lo general resulta en una irrigación ineficaz, particularmente en áreas periféricas como las anastomosis entre conductos, aletas y la parte más apical del conducto radicular principal. Por lo tanto, muchos de los compuestos utilizados para la irrigación han sido modificados químicamente y se han desarrollado varios dispositivos mecánicos para mejorar la penetración y eficacia del riego.(18)

Se han propuesto varios protocolos de irrigación al intentar lograr el desbridamiento eficaz de las paredes del conducto radicular. La punta de la jeringa cerca de la longitud de trabajo es una forma típica para irrigar con una solución. Hay varios factores que pueden influir en su eficacia, tales como la distancia entre la punta de la aguja y el tope apical, la forma de conducto, el tiempo dedicado a la irrigación y la cantidad y calidad del irrigante (93).

Además de la complejidad anatómica de la raíz, se suma el problema que supone un efecto llamado burbuja apical de gas (vapor lock). Debido a que las raíces de los dientes están rodeadas por el ligamento periodontal y el hueso, que “cierran” el foramen apical, el sistema de conductos se comporta como una cavidad de extremo cerrado, produciéndose un atrapamiento de aire cuando se introduce la solución irrigadora.

Este efecto hace que en la mayoría de los casos, el irrigante no alcance el tercio apical del conducto (2), obstaculice el intercambio de irrigantes y afecte la eficacia del desbridamiento, lo que nos demuestra que no basta la habilidad química del irrigante, sino también intervienen otros factores como la acción mecánica del mismo.

### **a) Seguridad Versus Efectividad en el Conducto Radicular**

La irrigación debe mantener un equilibrio entre dos objetivos importantes: seguridad y eficacia. Este punto es particularmente cierto con el irrigante más importante, el hipoclorito de sodio, pero otros irrigantes también pueden causar dolor y otros problemas si obtienen acceso a los tejidos periapicales.

La efectividad a menudo se ve comprometida en el conducto radicular apical al restringir la anatomía y las preocupaciones de seguridad. Sin embargo, la erradicación de los microorganismos en el conducto debe ser de importancia clave para el éxito del tratamiento endodóntico.

El objetivo obvio de irrigación del conducto radicular es mantener un intercambio suficiente de hipoclorito y otros irrigantes en esta área, mientras se mantiene la presión apical de las soluciones al mínimo. Una mejor comprensión de la dinámica de fluidos y el desarrollo de nuevos diseños de agujas y equipos para el suministro de irrigantes son las dos áreas importantes que se deben abordar en los desafíos de irrigar la parte más apical del conducto (24).

Además de la irrigación convencional, se han propuesto y probado técnicas adicionales para la desinfección endodóntica, entre ellas sistemas laser y ozono gaseoso. Se han introducidos varios dispositivos nuevos para la irrigación endodóntica, como EndoActivator, la irrigación ultrasónica pasiva, EndoVac, Safety-Irrigator, la lima autoajustable, la desinfección por fotoactivación y el ozono. Estos nuevos dispositivos utilizan presión, vacío, oscilación o una combinación con succión (17).

### **b) Administración con Jeringa**

La aplicación de un irrigante en el conducto por medio de una jeringa y una aguja permite la colocación exacta, el relleno del líquido existente, la extracción de grandes partículas de residuos y el contacto directo con los microorganismos en zonas cercanas a la punta de la

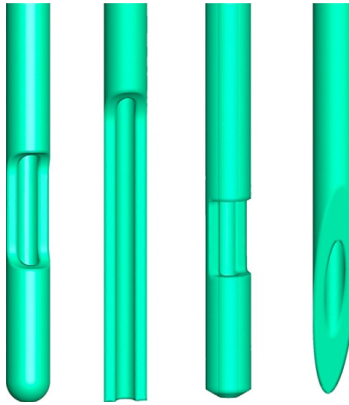
aguja. En la irrigación pasiva con jeringa, el intercambio real del irrigante se limita a 1-1,5 mm apicales a la punta de la aguja y la dinámica de fluidos se produce cerca de la salida de la aguja (17).

El volumen y la velocidad de flujo son proporcionales a la eficacia de limpieza del conducto radicular. La velocidad del irrigante en la pared del conducto se considera un factor altamente significativo para determinar el reemplazo del irrigante en ciertas partes del conducto radicular y en el efecto de descarga, por lo tanto, influye directamente en la efectividad de la irrigación (24).

El diámetro y la posición de la salida de la aguja determinan el debridamiento quimiomecánico satisfactorio; la colocación debe estar cerca de la longitud de trabajo para garantizar el intercambio de líquido en la porción apical del conducto, si bien se necesita un control estricto para evitar una posible extrusión.

Las agujas de mayor calibre permiten irrigar y reponer el líquido más rápidamente, sin embargo, no permite limpiar las áreas apicales y más estrechas del sistema de conductos radiculares.

Existe diferente tamaño y conicidad de agujas de irrigación. El tamaño debe elegirse de acuerdo con el tamaño del conducto y la conicidad. En su mayoría, los conductos radiculares no instrumentados son demasiado estrechos para que lleguen los desinfectantes eficazmente (17). Se deben usar agujas de calibre 27 de tamaño pequeño o preferiblemente de calibre 30 para acceder al conducto apical. El intercambio de irrigante más allá de la punta de la aguja alcanza solo de uno a tres mm, dependiendo del tipo de aguja y del flujo de irrigación. Las agujas con ventilación lateral (punta) pueden ofrecer una irrigación más segura que las agujas abiertas con presión positiva (18, 24). Se han introducido varias modificaciones en el diseño de la punta de la aguja en los últimos años para facilitar la efectividad y minimizar los riesgos (fig. 8).



*Figura 8. Cuatro diseños de agujas diferentes, producidos por modelos de malla computarizados basados en agujas reales y virtuales (24).*

### **c) Irrigación Activadas Manualmente**

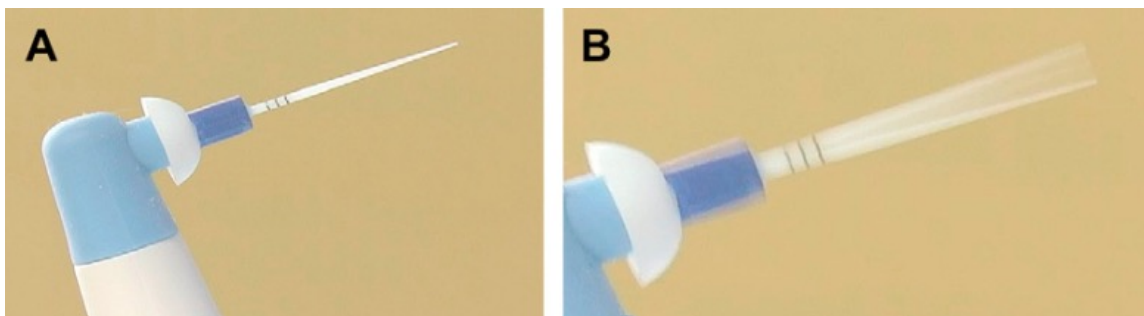
El líquido que entra en el conducto radicular llega más eficazmente grietas y áreas mecánicamente intactas si se agita dentro del conducto. Se han recomendado movimientos corono-apicales de la aguja de irrigación, movimientos de agitación con instrumentos endodónticos pequeños (lima ajustable) y movimientos manuales push-pull (arriba-abajo) con cono de gutapercha principal (17, 18, 24).

Stojicic y cols. en un estudio mostraron que la agitación del irrigante mediante la irrigación con aguja activa, la activación sónica y ultrasónica fueron igualmente efectivas para aumentar la velocidad de disolución tisular por NaOCl, hasta más de diez veces en comparación con la irrigación pasiva (sin activación ni estimulación). Este resultado sugiere que el movimiento del irrigante y la activación son los factores clave en su efectividad (94).

### **d) Irrigación activada Sónicamente**

El sistema EndoActivator Es un nuevo tipo de facilitador de irrigación. Se basa en la vibración sónica (hasta 10,000 cpm) (24) . El sistema tiene 3 tamaños diferentes de puntas que se unen fácilmente (a presión) a la pieza de mano que crea las vibraciones sónicas, estas puntas son de polímero seguras no cortantes en una pieza de mano subsónica de uso

sencillo para agitar de forma rápida y vigorosa las soluciones de irrigantes durante el tratamiento endodóntico (fig.9). El EndoActivator no entrega nuevos irrigantes al conducto, sino que facilita la penetración y renovación del irrigante en el conducto .



*Figura 9. (A) EndoActivator con la punta de plástico grande (azul). (B) La misma punta en movimiento sónico.*

Desai y cols. en un estudio analizaron la seguridad de varios sistemas de irrigación intraconductos mediante la medida de extrusión apical de irrigante. Los resultados obtenidos concluyeron que el EndoActivator tiene una cantidad mínima estadísticamente no significativa de extrusión fuera del ápice, en comparación con el grupo manual, ultrasónico y RinsEndo (17).

Cuando se analiza la limpieza de las paredes de los conductos radiculares, los estudios indican que la irrigación sónica o ultrasónica pasiva deja los conductos significativamente más limpios que la preparación manual con irrigación con jeringa.

#### **e) Irrigación Ultrasónica pasiva**

El uso de energía ultrasónica para la limpieza del conducto radicular y para facilitar la desinfección tiene una larga historia en endodoncia. Los primeros dispositivos fueron introducidos por Richman. La efectividad comparativa de los ultrasonidos y las técnicas de instrumentación manual se han evaluado en varios estudios anteriores (95). La mayoría de los estudios concluyeron que los ultrasonidos, junto con un irrigante, contribuyeron a una

mejor limpieza del sistema de conductos radiculares que la irrigación por si sola y la instrumentación manual.

La irrigación ultrasónica pasiva no está relacionada con la acción no cortante de la lima activada. Sino que se basa en la transmisión de energía acústica de una lima oscilante o un alambre liso a un irrigante en el conducto radicular (17).

La cavitación y la transmisión acústica del irrigante contribuyen a la actividad química biológica para una máxima efectividad. El análisis de los mecanismos físicos de la respuesta hidrodinámica de la lima con movimiento ultrasónico oscilante sugirió que la cavitación estable y transitoria de la lima, el flujo continuo y el micro flujo de cavitación contribuyen a la limpieza del conducto radicular. Las limas ultrasónicas deben moverse libremente en el conducto sin hacer contacto con el pared del conducto para trabajar con eficacia (24).

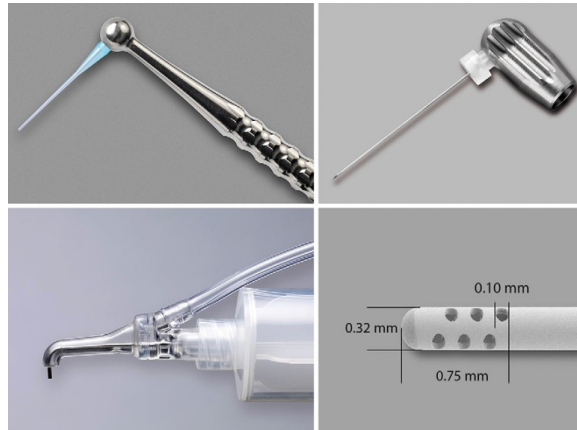
La eficacia de los ultrasonidos en la eliminación de bacterias y restos de dentina de los conducto es ha sido demostrada por varios estudios. Sin embargo, no todos los estudios han apoyado estos hallazgos.

Van der Sluis y cols. sugirieron que una lima lisa durante la irrigación ultrasónica es tan efectiva como una lima K de tamaño 15 en la eliminación de residuos de dentina colocados artificialmente en ranuras en los conductos radiculares simulados en bloques de resina. Es posible que las complicaciones de la preparación sean menos probables con una punta ultrasónica con una superficie lisa e inactiva (24).

#### **f) Presión apical negativa.**

Otra forma de mejorar el acceso a la solución de irrigación es la llamada irrigación con presión negativa. En ella el irrigante se aplica en la cámara de acceso y en el conducto radicular se coloca una aguja muy fina conectada a un dispositivo de succión de la unidad dental. El exceso de irrigantes de la cavidad de acceso se desplaza después en sentido apical

y se elimina por succión. Este sistema lleva por nombre EndoVac (fig.9) y es un valioso complemento a la desinfección del conducto radicular. (17).



*Figura 9. El sistema EndoVac usa presión negativa para hacer posible el riego seguro y efectivo del conducto más apical. El irrigante que se encuentra en la cámara pulpar se succiona por el conducto de la raíz y vuelve a subir a través de la aguja, en oposición al método clásico de irrigación.(24)*

#### **IV. Objetivo General**

Realizar una revisión de la literatura, entre los años 2013 y 2018, para comparar cual agente quelante - entre el ácido maleico y el ácido etilendiaminotetraacético - es la sustancia química más eficiente en la eliminación del barro dentinario del conducto radicular en la etapa de irrigación final.

#### **V. Objetivos específicos**

Identificar cuáles son los agentes quelantes descritos en la literatura de uso clínico más frecuentes en la irrigación final del conducto radicular, con sus respectivos tiempos de acción.

Establecer la eficiencia de eliminación del barro dentinario del EDTA 17% y ácido maleico 7% para la permeabilización de túbulos dentinarios

Comparar resultados de estudios en la variación de la microdureza en la dentina radicular, por pérdida mineral, luego de la irrigación con EDTA 17% a ácido maleico 7%.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

### a) Tipo de investigación

Revisión de la literatura

### b) Determinación de la muestra

Con el fin de seleccionar la información pertinente y actualizada, se recopilaron ensayos clínicos, estudios clínicos, estudios in vitro y ex vivo que comparen la eficiencia del ácido maleico versus el EDTA en la eliminación de barro dentinario en los conductos radiculares.

### c) Criterios de inclusión

- Estudios publicados en las bases de datos Pubmed, Ebsco, Web Of Science, Cochrane y Scielo.
- Estudios in vitro o ex vivo que comparen la eficiencia del Ácido Maleico y EDTA en la eliminación del barro dentinario con Microscopía Electrónica de Barrido
- Estudios que analicen el tiempo de acción adecuado para la eliminación del barro dentinario.
- Estudios donde se compare Ácido Maleico y EDTA en combinación con hipoclorito de sodio durante la irrigación final

### d) Criterios de exclusión

- Estudios que comparen la acción de ácido maleico con otro agente quelante que no sea EDTA
- Estudios que comparen la acción del EDTA con otro agente quelante que no sea Ácido Maleico
- Estudios donde la concentración del Hipoclorito de Sodio en la irrigación final sea menor a 2.5%

### **e) Método de búsqueda**

Con el fin de recopilar información actualizada y seria, se realizó una búsqueda de artículos en bases de datos PubMed, EBSCO, Web Of Science, Cochrane y Scielo para las diferentes palabras asociadas a irrigantes y quelantes del conducto radicular que se describirán a continuación:

### **f) Palabras claves para la búsqueda bibliográfica**

Maleic Acid/ Acido Maleico

Ethylenediaminetetraacetic Acid/ EDTA

Smear Layer/ Barro Dentinario

Root Conducto irrigants / irrigantes en el conducto radicular

Final irrigation/ Final Irrigation

Scanning electron microscope/ microscopio electronico de barrido

Micro-hardness / microdureza

Decalcification / descalcificación

Para seleccionar los estudios se analizaron los abstracts de todos los artículos filtrados, con los siguientes requisitos mínimos en los filtros

- Tipo de estudio: Estudios in vitro, estudios ex vivo, estudios clínicos o ensayos clínicos
- Fecha de publicaciones 01-01-2013 al 31-10-2018 (últimos 5 años)
- Especie a estudiar: dientes humanos
- Idioma de estudios: inglés y español

Para la base de datos Pubmed la búsqueda se realizó con la siguiente asociación de palabras y operadores booleanos:

- (Maleic Acid) AND (Ethylenediaminetetraacetic Acid)
- (Maleic acid) AND (Smear Layer)

- (Maleic acid) AND (Smear Layer) AND (Ethylenediaminetetraacetic Acid) NOT (Sealer) NOT (bonding)
- (Maleic Acid) AND (Root Conducto Irrigants)
- (Maleic Acid) AND (Ethylenediaminetetraacetic Acid) AND (Final Irrigation)
- (Maleic Acid) AND (Scanning Electron Microscope) AND (Ethylenediaminetetraacetic Acid)
- (Maleic Acid) AND (Micro-Hardness)
- (Maleic Acid) AND (Descalcification)
- (Ethylenediaminetetraacetic Acid) AND (Decalcification) AND (Root Conducto )

Para la búsqueda en Web of Science se realizó mediante Advance Search y se seleccionaron todas las bases de datos y se utilizaron las mismas asociaciones de palabras y términos booleanos mencionadas anteriormente.

Para la búsqueda en EBSCO se seleccionó el servicio EBSCOhost, y la búsqueda se realizó en la base de datos de:

ERIC,

Library information Science y text abstract,

MEDLINE with Full Text,

Academic Search Ultimate,

Fuente Académica Plus,

En las cuales se utilizaron las mismas asociaciones de palabras y operadores booleanos que en PUBMED

## VII. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para los irrigantes a considerar, nos basaremos en el estudio “**Effect of application time of maleic acid on smear layer removal and mechanical properties of root conducto dentin**” ( Lin Wang et al 2016) quien define que “el hipoclorito de sodio es el principal irrigante endodóntico utilizado para disolver la porción orgánica de barro dentinario,

mientras que la remoción de material inorgánico del barro dentinario debe ser realizada con un agente descalcificante, el cual puede ser quelante o ácido”. Así, los quelantes o ácidos utilizados actualmente en endodoncia son:

- Ácido Etilendiaminotetraacético (EDTA)
- Ácido Maleico
- Ácido Cítrico
- MTAD

En relación al tiempo de utilización de los diferentes químicos así como su resultado en la erosión y microdureza dentinaria, se establece en el estudio “**Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion**“ (16), un tiempo de acción de 5 minutos para cada una de las combinaciones de irrigantes, lo que dentro de nuestra búsqueda es la mayor disponible en los estudios, por lo que la comparación se realizará con este tope máximo de tiempo, dejando abierta la variable a diferencias desde 1 a 5 minutos con intervalos de 1 minuto en el cuadro comparativo.

Asimismo, Lin Wang et al. 2016 en su artículo evalúa la eficacia y propiedades mecánicas del ácido maleico en la remoción del barro dentinario, observando su acción a través de distintos tercios del conducto radicular y el tiempo adecuado de uso.

Finalmente, en la evaluación del grado de desobliteración tubular, consideramos el estudio de Torabinejad del año 2003 “**A New Solution for the Removal of the Smear Layer**” (96), quien propone un criterio de evaluación en relación con la desobliteración de los túbulos dentinarios en la porción coronal, media y apical del conducto según los siguientes criterios, evaluados en microscopio electrónico de barrido:

- **Sin barro dentinario:** sin barro dentinario en la superficie del conducto radicular; todos los túbulos se encuentran limpios y abiertos
- **Moderado barro dentinario:** no hay barro dentinario en la superficie del conducto radicular, pero los túbulos contienen restos

- **Alto Barro dentinario:** el barro dentinario cubre la superficie del conducto radicular y de los túbulos.

-

Conjuntamente, se clasifico el grado de erosión de los túbulos dentinarios de la siguiente manera:

- **Sin erosión:** Todos los túbulos parecían normales en apariencia y tamaño.
- **Erosión moderad:** La dentina peritubular fue erosionada.
- **Erosión severa:** La dentina intertubular fue destruida, y los túbulos estaba conectados entre sí.

La eficiencia del ácido maleico y del EDTA en la remoción del barro dentinario será diferente según su acción en los diferentes tercios radiculares y del tiempo de irrigación utilizado en cada caso.

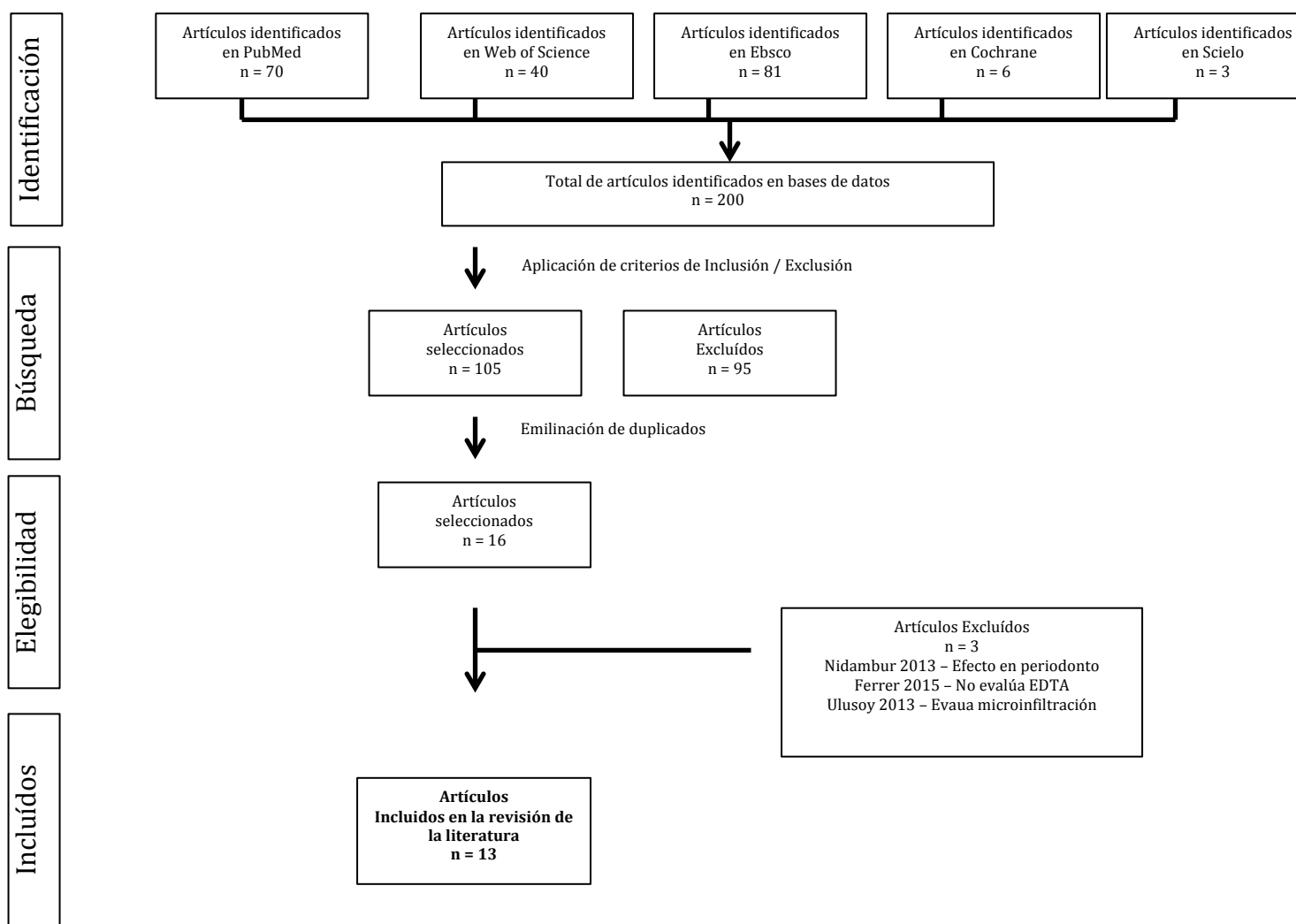
## VIII. RESULTADOS

La búsqueda realizada en las bases de datos ya mencionadas logró identificar un total de 200 artículos y luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 105 artículos, dejando 95 artículos fuera de la muestra. Posteriormente se eliminó los documentos repetidos en el conjunto de buscadores para trabajar con un total de 16 documentos. Finalmente, tras revisar los artículos, se determinó que tres de ellos no podrían ser aplicados a los resultados finales de la búsqueda por analizar determinantes fuera de nuestros objetivos. Dos de ellos publicados el mismo año y representados por el mismo autor (Nidambur, 2013). El primero determina penetración de cemento (AH Plus) en conductos radiculares luego de la aplicación de distintos irrigantes y quelantes y el otro artículo presenta el daño en fibroblastos y ADN en el tejido periodontal luego de la aplicación de EDTA o ácido maleico. El tercer artículo determinó la microinfiltración de distintos cementos selladores del conducto radicular, luego de la utilización de agentes quelantes como el ácido maleico y el EDTA como irrigantes finales, siendo las muestras

observadas en el microscopio electrónico, pero no se determina la permeabilidad de los túbulos, que es el objetivo de esta revisión.

Es así como los artículos incluidos para nuestra revisión quedan en un total de 13 documentos.

### Diagrama de flujo



## ESTUDIOS ENCONTRADOS EN BASES DE DATOS

<i>Código</i>	<i>Base de datos</i>	<i>Autores</i>	<i>Artículo</i>	<i>Año de publicación</i>	<i>Tipo de estudio</i>
# 1	PubMed	Ulusoy Öl, Görgül G	Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion	2013	Ex vivo
# 2	PubMed	Kara Tuncer A, Tuncer S, Siso SH	Effect of QMix irrigant on the microhardness of root conducto dentine	2015	Ex vivo
# 3	PubMed	Ballal NV, Khandewal D, Karthikeyan S, Somayaju K, Foschi F	Evaluation of Chlorine Dioxide Irrigation Solution on the microhardness and surface Roughness of root conducto dentin	2015	Ex vivo
# 4	Pubmed	Kuruvilla A, Jaganath BM, Krishnegowda SC, Ramachandra PK, Johns DA, Abraham A.	A comparative evaluation of smear layer removal by using edta, etidronic acid, and maleic acid as root conducto irrigants: An in vitro scanning electron microscopic study.	2015	Ex vivo
# 5	Web Of Science	Ballal, Nidambur Vasudev; Jain, Isha; Tay, Franklin R.	Evaluation of the smear layer removal and decalcification effect of QMix, maleic acid and EDTA on root conducto dentine	2016	Ex vivo

# 6	Web Of Science	Attur, Kailash; Joy, Mathew T.; Karim, Riyas; et al	Comparative analysis of endodontic smear layer removal efficacy of 17% ethylenediaminetetraacetic acid, 7% maleic acid, and 2% chlorhexidine using scanning electron microscope: An in vitro study	2016	Ex vivo
# 7	Web Of Science	Meshram, Rishikesh; Sathawane, Nikhil; Samuel, Roshan; et al.	Comparative evaluation of efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid, maleic acid, and dimercaptosuccinic acid against the combination of these with sodium hypochlorite for removal of smear layer: An in vitro scanning electron microscope study	2016	Ex vivo
# 8	PubMed	Wang L, Zhao Y, Mei L, Yu H, Muhammad I, PAn Y, Huang S	Effect of application time of maleic acid on smear layer removal and mechanical properties of root conducto dentin	2017	Ex vivo
# 9	Pubmed	Ballal NV, Ferrer-Luque CM, Sona M, Prabhu KN, Arias-Moliz T, Baca P.	Evaluation of final irrigation regimens with maleic acid for smear layer removal and wettability of root conducto sealer.	2017	Ex vivo
# 10	Web of science	Natasha Gupta, Neelam Singh	Effect of Maleic Acid, Ethylendiaminetetraacetic Acid, MTAD on Smear Layer Removal and Dentin Microhardness	2018	Ex vivo

# 11	EBSCO	Jaiswal S, Patil V, Satish Kumar KS, Ratnakar P, Rairam S, Tripathi S.	Comparative analysis of smear layer removal by conventional endodontic irrigants with a newly experimented irrigant-fumaric acid: A scanning electron microscopic study.	Julio 2018	Ex vivo
# 12	Pubmed	Ramachandran N, Podar R, Singh S, Kulkarni G, Dadu S.	Effect of ultrasonic activation on calcium ion quantification, smear layer removal, and conducto cleaning efficacy of demineralizing irrigants.	Sep 2018	Ex vivo
# 13	Pubmed	Ballal NV, Jain H1, Rao S, Johnson AD2, Baeten J, Wolcott JF,.	Evaluation of SmearOFF, maleic acid and two EDTA preparations in smear layer removal from root conducto dentin.	2018	Ex vivo

Tabla I. Tabulación de estudios objeto de investigación.

Posterior a la selección de los estudios se procedió a comparar la metodología utilizada en cada uno, tamaño de la muestra, en relación con la irrigación final; el quelante utilizado y el tiempo de exposición de cada uno. Detalle en la siguiente tabla.

<i>Código</i>	<i>Número de dientes</i>	<i>Quelante utilizado</i>	<i>Irrigante final adicional</i>	<i>Solución final de agua destilada</i>	<i>Tiempo exposición</i>
# 1	72	G1: EDTA 17 % / 1 ML	NaOCl 2,5%	No	5 min
		G2: MA 7% / 1 ML	NaOCl 2,5%	No	5 min
		G3: BioPure MTAD / 1 ML	NaOCl 1,3%	3 ml	5 min
		G4: SmearClear / 1 ML	NaOCl 2,5%	No	5 min
		G5: No	NaOCl 5%	No	5 min
		G5: No (Control)	Suero 0.9%	No	5 min
# 2	40	G1: EDTA 17% / 5 ML	NaOCl 2,5%	3 ml	1 min
		G2: EDTA 17% / 5 ML	CHX 2%	3 ml	1 min
		G3: QMIX / 5 ML	No	3 ml	1 min
		G4: MA 7% / 5 ML	No	3 ml	1 min
# 3	50	G1: No	Dióxido de cloro	SI	1 min
		G2: EDTA 17% / 5 ML	13,8 %	SI	1 min
		G3: MA 7% / 5 ML	No	SI	1 min
		G4: No	NaOCl 2,5%	SI	1 min
		G5: No	Suero 0,9%	SI	1 min
# 4	30	G1: EDTA 17% / 5 ML	No	5 ml	1 min
		G2: Ácido etidróico 18% / 5 ML	No	5 ml	1 min
		G3: MA 7% / 5 ML	No	5 ml	1 min
# 5	40	G1: QMIX / 5 ML	NaOCl 2,5%/ 5ml	5 ml	1 min
		G2: MA 7% / 5 ML	NaOCl 2,5%/ 5 ml	5 ml	1 min
		G3: EDTA 17% / 5 ML	No	5 ml	1 min
		G4: No	NaOCL 2,5%/ 5 ml	5 ml	1 min
# 6	45	G1: EDTA 17% / 5 ml	No	3 ml	1 min
		G2: MA 7% / 5 ml	No	3 ml	1 min
		G3: CHX 2% / 5 ml	No	3 ml	1 min
# 7	140	G1: NO	Sol. Salina/ 1ml	5 ml	5 min
		G2: EDTA 17% / 1 ML	NO	5 ml	5 min
		G3: EDTA 17 % / 1 ML	NaOCl 2,5%/1 ml	3 ml	5 min
		G4: MA 7% / 1 ML	NO	5 ml	5 min
		G5: MA 7% / 1 ML	NaOCl 2,5%/ 1 ml	3 ml	5 min
		G6: DMSA 10% / 1 ML	NO	5 ml	5 min
		G7: DMSA 10% / 1 ML	NaOCl 2,5%/ 1ml	3 ml	5 min
# 8	180	G1: MA 7% / 5 ML	NaOCl 2,5% / 5ml	5 ml	30 seg
		G2: MA 7% / 5 ML	NaOCl 2,5% / 5ml	5 ml	45 seg
		G3: MA 7% / 5 ML	NaOCl 2,5% / 5ml	5 ml	1 min
		G4: MA 7% / 5 ML	NaOCl 2,5% / 5ml	5 ml	3 min
		G5: EDTA 17% / 5 ML	NaOCl 2,5% / 5ml	5 ml	45 seg
		G6: NO (Control)	Sol sal 0,9% / 5ml	5 ml	45 seg
# 9	40	G1: MA 7% / 5 ML	NO	5 ml	1 min
		G2: MA 7% / 5 ML	CTR 0,2%	5 ml	1 min
		G3: MA 7% / 5 ML	CTR 0,2% + CHX 2%	5 ml	1 min
		G4: NO (Control)	NO	5 ml	1 min
# 10	50	G1: EDTA 17% / 5 ML	No	No	2 min
		G2: MA 7% / 5 ML	No	No	2 min
		G3: MA 10 % / 5ML	No	No	2 min
		G4: MTAD / 5 ML	No	No	2 min
		G5: Sol. salina (Control)	No	No	2 min
# 11	40	G1: EDTA 17% + US / 5 ML	NaOCl 3 %/ 5ml	5 ml	1 min

		G2: MA 7% + US / 5 ML	NaOCl 3% /5ml	5 ml	1 min
		G3: Ac. Fumárico 0.7% + US / 5ml	NaOCl 3%/ 5ml	5 ml	1 min
		G4: Sol.salina + US (Control)	NaOCl 3%/ 5ml	5 ml	1 min
<b># 12</b>	<b>62</b>	G1: Ac. Cítrico 10% / 5 ml	No	No	1 min
		G2: MA 7% / 5 ml	No	No	1 min
		G3: EDTA 17% / 5 ml	No	No	1 min
		G4: Ac. Cítrico 10% + US / 5 ml	No	No	1 min
		G5: MA 7% + US / 5 ml	No	No	1 min
		G6: EDTA 17% + US / 5 ml	No	No	1 min
		G7: Agua destilada (Control)	No	No	1 min
<b># 13</b>	<b>50</b>	G1: SmearOFF/ 5 ml	No	5 ml	1 min
		G2: MA 7% / 5 ml	No	5 ml	1 min
		G3: EDTA 18 % / 5 ml	No	5 ml	1 min
		G4: EDTA 17 % / 5 ml	No	5 ml	1 min
		G5: Sol. salina (Control)	No	5 ml	1 min

Tabla II. Comparación de metodología utilizada en cada estudio; cantidad de dientes y tipos de agentes quelantes.

\*Códigos: EDTA: ácido etilendiaminotetraacético, MA: ácido maleico.

En la tabla que se encuentra a continuación se detallan los estudios que evaluaron la remoción del barro dentinario mediante la desobliteración de los túbulos dentinarios al observarlos en el microscopio electrónico (SEM).

Se describe la magnificación utilizada y la evaluación según o no del criterio utilizado por Torabinejad y cols.(96), el cual evalúa la remoción del barro dentinario tanto de la superficie dentinaria como en profundidad de los túbulos en el tercio coronal, medio y apical del conducto radicular.

Las microfotografías obtenidas en el SEM también permiten evaluar el grado de erosión que sufre la superficie dentinaria.

<b>CÓDIGO</b>	<b>NÚMERO DE DIENTES OBSERVADOS</b>	<b>MAGNIFICACIÓN</b>	<b>DIVIDE EN TERCIOS</b>
# 1	72 (6 grupos de 12 dientes)	SEM magnificación X2000	Sí - Torabinejad
# 4	30 (3 grupos de 10 dientes)	SEM magnificación X2000	Sí - Torabinejad
# 5	40 (4 grupos de 10 dientes)	SEM magnificación X500	Sí - Torabinejad
# 6	45 (3 grupos de 15 dientes)	SEM (no especifica aumento)	Sí - Torabinejad
# 7	140 (7 grupos de 20 dientes)	SEM magnificación X1000	Sí - Criterio propio
# 8	180 (3 grupos de 60 dientes: 1 grupo evalúa remoción de SL, 1 grupo evalúa microdureza, 1 grupo evalúa resistencia a fractura)	SEM X5000	Sí - Torabinejad
# 9	40 (divididos en 4 grupos de 10)	SEM X2000	Sí - Dai et al
# 10	50 (divididos en 5 grupos de 10)	SEM X1000 y X3000	Sí - Torabinejad
# 11	40 (4 grupos de 10)	SEM X3000	Sí - Torabinejad
# 12	62 (6 grupos de 10 y 1 grupo de 2)	SEM X1000 y X2000	Sí - Criterio propio
# 13	50 (5 grupos de 10)	SEM x1000	Sí - Criterio propio

Tabla III. Evaluación de la remoción de Barro dentinario en microscopio electrónico (SEM)

Se realizó una comparación de la eficiencia de cada quelante utilizado en la remoción de barro dentinario en cada tercio radicular. En la siguiente tabla se presentan aquellos estudios que compararon su acción en los tres tercios radiculares y que fueron analizados en el SEM.

<i>Código</i>	<i>Tercio Coronario</i>	<i>Tercio Medio</i>	<i>Tercio Apical</i>
# 1	EDTA 17% = MA 7% = MTAD = SmearClear	EDTA 17% = MA 7% = MTAD = SmearClear	MA 7%
# 4	EDTA 17% = Acido Etidrónico 18% = MA 7%	EDTA 17% = Acido Etidrónico 18% = MA 7%	MA 7%
# 5	EDTA 17% = QMIX = MA 7%	EDTA 17% = QMIX = MA 7%	MA 7%
# 6	EDTA 17%	EDTA 17%	EDTA 17%
# 7	-	-	-
# 8	MA 7% = EDTA 17%	MA 7% = EDTA 17%	MA 7%
# 9	MA 7% = MA 7% + CTR 0,2%	MA 7% = MA 7% + CTR 0,2% = MA 7% + CTR 0,2% + CHX 0,12%	MA 7% = MA 7% + CTR 0,2% = MA 7% + CTR 0,2% + CHX 0,12%
# 10	EDTA 17% = MA 7% = MA 10% = MTAD	EDTA 17% = MA 7% = MA 10% = MTAD	MA 10% = MTAD
# 11	MA 7% = Acido fumárico	MA 7%	MA 7% = Acido fumárico
# 12	Acido Cítrico 10%	Acido Cítrico 10%	Acido Cítrico 10%
# 13	MA 7% = SmearOff = EDTA 17%	MA 7% = SmearOff = EDTA 17%	MA 7%

Tabla IV. Resultado de la evaluación de eficiencia de quelantes en los distintos tercios apicales.

Se describe el agente quelante de mayor eficiencia en cada tercio

\*Códigos: Códigos: EDTA: ácido etilendiaminotetraacético, MA: ácido maleico, CHX: clorhexidina, CTR: cetrimida, MTAD: isómero de la tetraciclina, mas ácido cítrico al 10% y un detergente.

Además, se describe en la tabla V los estudios que evaluaron la microdureza de la dentina luego de la irrigación de cada quelante, en donde las muestras se observaron en el microscopio electrónico.

<i>Códigos</i>	<i>Número de dientes observados</i>	<i>Magnificación</i>	<i>Forma de evaluar microdureza</i>	<i>Resultado</i>
<b># 1</b>	72 (6 grupos de 12 dientes)	SEM magnificación X2000	Distinto puntaje según erosión y microdureza Vickers microhardness test	EDTA 17% - MA 7% y MTAD muestran significativa disminución de microdureza de dentina
<b># 2</b>	40 (4 grupos de irrigación)	SEM magnificación de X700 y X5000	Resultado según diferencia porcentual de microdureza inicial y final. Vickers microhardness test	MA 7% disminuye la microdureza de la dentina radicular significativamente más que QMIX, EDTA 17% y la combinación de EDTA 17% con CHX 4% y NaOCl 2,5%
<b># 3</b>	50 (5 grupos de irrigación) se dividieron las raíces para dejar la mitad de evaluación de microdureza y la otra mitad en rugosidad)	AFM	Resultado según prueba de dureza de Knoop Además de evaluar dureza, evalúa rugosidad.  Knoop hardness test	CIO2 13.8% no muestra diferencia significativa con el MA 7% y NaOCl en la reducción de la microdureza. MA 7% exhibe un máximo de superficie rugosa, comparada con los otros irrigantes.
<b># 8</b>	180 (divididos en 3 grupos de 60: 1 grupo evalúa remoción de SL, 1 grupo evalúa microdureza, 1 grupo evalúa resistencia a fractura)	SEM X5000.	Resultado según diferencia porcentual de microdureza inicial y final.  Vickers microhardness test	Todos los protocolos finales de irrigación reducen la dureza de la dentina.  El ácido maléico disminuye dureza cuando se aplica sobre 1 minuto en la superficie radicular
<b>#10</b>	50 (divididos en 5 grupos de 10)	SEM X100	Vickers microhardness test	El MA 7% es el que mayormente disminuye microdureza.

Tabla V. Evaluación de la microdureza dentinaria posterior al uso del quelante. \*Codigos: SEM: microscopio electrónico de barrido, AFM: microscopio de fuerza atómica, MA: ácido maléico, CHX: clorhexidina, NaOCl: hipoclorito de sodio.

## IX. DISCUSIÓN

En la actualidad, el protocolo de irrigación final involucra la aplicación de Hipoclorito de Sodio en concentración 5,25% y de EDTA en concentración 17% con irrigaciones variables con suero fisiológico (solución salina) entre o posterior a ello. Sin embargo, la biocompatibilidad del EDTA ha sido investigado por varios estudios y utilizando diferentes concentraciones; Silveira y colaboradores reportaron severos efectos irritantes de la solución de EDTA al 15%. Segura y colaboradores demostraron que el tiempo, así como una dosis dependiente del EDTA, causa inhibición de la capacidad de adherencia del sustrato de los macrófagos. Además, varios de los estudios anteriores informaron los efectos citotóxicos del EDTA al 17% (67).

Debido a que todos los estudios encontrados se deben realizar en muestras ex vivo, las tablas fueron separadas según objetivo: analizar eliminación de barro dentinario y afectación de microdureza de la dentina, ambos intentando resolver en qué zona afectaba más el agente quelante.

Cabe destacar que si bien, el criterio de exclusión la ausencia de la irrigación con hipoclorito de sodio en concentración menor a 2,5%, todos en alguna etapa de la irrigación entre instrumentos lo incluyen, pero no todos lo aplican en la etapa del protocolo de irrigación final. No se evaluó lima maestra, dada la consideración del estudio en la desobliteración de los túbulos dentinarios, indistintamente de su diámetro y densidad de túbulos en la ubicación del corte longitudinal, edad del paciente en relación del órgano dentario, etc.

De los 13 artículos analizados solo uno no comparó el efecto del ácido maleico al 7% y el EDTA 17% como agentes quelantes en la irrigación final, sino la acción del ácido maleico en conjunto con otro agente, sin embargo, todo cumplió con los requisitos para ser considerado, por ejemplo, dientes unirradiculares los cuales fueron previamente instrumentados y que entre cada lima se irriego con NaOCl 2,5%.

Gran cantidad de estudios estandarizan un tiempo de 1 minuto como tiempo de acción de cada agente quelante utilizado (#2, #3, #4, #5, #6, #8, #9, #11, #12, #13). En 2 estudios los tiempos fueron 5 minutos (#1, #7) y en 1 estudio se utilizó 2 minutos (#10).

Cabe tener presente que el agua destilada y el agua desmineralizada o desionizada tienen por objetivo lavar y eliminar el abundante sedimento de sales de la quelación de los minerales o del hipoclorito de sodio. Estos restos inorgánicos de cualquier forma obliterarán los túbulos dentinarios, por lo que es necesario removerlos. Desafortunadamente en la práctica clínica, utilizamos en la irrigación final el suero fisiológico o solución salina en concentración 0,9%. Se observó en varios estudios (#7, #8, #10, #11, #13) una alta obliteración en los túbulos dentinarios, cuando se analizan grupos controles donde se irriga con suero fisiológico.

La identificación de los agentes quelantes actualmente utilizados sigue siendo tendiente a lo clásico: la utilización del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en concentración 17%. Es por eso que la base de la comparación se realiza sobre su acción en el barro dentinario. Se constituyen actualmente un gran número de posibilidades para su reemplazo, dentro de lo que encontramos los siguientes irrigantes:

- Ácido Maleico 7% - 10%
- BioPure MTAD (Dentsply Tulsa ®): Doxyciclina, Ácido cítrico y detergentes (#1, #10)
- Smear Clear (Kerr ®): EDTA 17%, cetrimida y detergentes (#1)
- QMix (Dentsply Tulsa ®): EDTA 17%, CHX 2% y detergente (#2, #5)
- Ácido Etidróico (#4)
- Ácido Dimercaptosuccinico (#7)
- Ácido fumárico (#11)
- Ácido Cítrico (#12)
- SmearOff (Vista Dental Inc): EDTA 17%, CHX (#13)
- EDTA 18% (#13)

Para resolver cual agente quelante es el más eficiente en cada uno de los tercios radiculares, se propuso inicialmente considerar el criterio de Torabinejad y cols. (96). Durante la formulación de los resultados, se evidenció que no todos consideran dicho criterio para entregar sus resultados, sino criterios propios o de otros autores (#7, #9, #12, #13). Por esto se decide exponer cuales son los agentes quelantes de mayor eficiencia en cada uno de los tercios radiculares, aun teniendo diferencias en la forma de evaluación.

Se evidencia que el ácido maleico se sobrepone considerablemente en la acción sobre el barro dentinario para su eliminación. Independientemente del tercio radicular, el ácido maleico tiene mejor o igual acción según lo que describen 7 artículos (#1, #4, #5, #8, #10, #11, #13). Asimismo, en el tercio apical, es considerablemente más eficiente el ácido maleico según los mismos 7 documentos.

Particularmente la mezcla de EDTA 17% y Cetrimida 0,2% muestra una alta eficiencia en la eliminación del barro dentinario y una baja disminución de la dureza de la dentina radicular en los tres tercios radiculares (#9). Esto coincide plenamente con el agente ya preparado por Kerr ® en su producto Smear Clear, donde se encuentra una eficiencia comparable a la del uso del EDTA 17% y MA 7% (#1). Aparentemente, dado que el pH del ácido maleico se ve levemente aumentado por el agregado de Cetrimida, la acidez del agente quelante también se ve modificada y, por lo tanto, disminuye el efecto sobre la dentina (#9)

Uno de los estudios (#7) no especifica la eficiencia de los agentes quelantes según tercio radicular. Este estudio entrega en sus resultados, que la zona de mejor acción de los quelantes para la eliminación de barro dentinario se encuentra siempre en el tercio medio radicular. Destaca, además que el grupo tratado con DMSA y ácido maleico son los de mejor eficacia en la remoción de Barro Dentinario, siempre que sean irrigados posteriormente con hipoclorito de sodio y agua destilada. Esto último refuerza la práctica de la irrigación final con hipoclorito de sodio.

El estudio codificado como (#12) es el único que aplica movimientos ultrasónicos dentro del conducto radicular y los compara sin la aplicación de este. Su resultado es que el ácido cítrico al 10% entrega una mejor eliminación de barro dentinario en los tres tercios radiculares por su alta liberación del ión calcio, aunque no es significativamente superior si se compara con el resto de los grupos.

El ácido Etilendiaminotetraacético al 18% (EDTA 18%) fue utilizado para ser comparado con otros agentes (#13) y se observa su baja capacidad de eliminación de barro dentinario, llegando incluso a ser comparado con la solución salina 0,9 en exposición de 1 minutos sobre el conducto radicular. Esto se debe al que el EDTA al 18% posee un alto pH (11.4), lo cual provoca un impacto negativo en la efectividad debido al exceso de ión hidroxilo que reduce en gran medida la disociación de la capa de hidroxiapatita, limitando así la cantidad de los iones de calcio libres que el EDTA puede quelar. El alto pH inhibe y reduce significativamente la disociación de hidroxiapatita y asimismo la desmineralización y eficacia del EDTA 18% (#13).

Los resultados que favorecen el efecto del ácido maleico, como un agente quelante superior, no se ven influenciados por la utilización de hipoclorito de sodio. La falta de hipoclorito de sodio en la irrigación final no mejora ni disminuye la acción del ácido maleico (#4, #9, #10, #13) resultando una limpieza del barro dentinario igual de efectiva.

Por el contrario, si bien se puede utilizar un enjuague final de hipoclorito de sodio para desinfectar aún más el sistema de conducto radicular, no es viable mezclarlo con EDTA, ya que este quelante reduce al instante la cantidad de cloro libre, de un 90% a 62%, generando una pérdida de su actividad antimicrobiana (80). Además, su mezcla produce una reacción exotérmica e incluso se ha observado la formación de gas desde esta combinación. Se ha sugerido la formación de cloraminas que se produciría a través del ataque electrofílico de cloro en los grupos amino EDTA (21).

La medición de la dureza de sustratos dentales y de materiales relacionados son uno de los métodos de caracterización mecánica no destructiva más simples. Pruebas de microdureza

proporcionan un valor numérico que permite la comparación entre materiales sometidos a la penetración de un indentador específico. Existe una información de correlación positiva entre la microdureza y el contenido mineral del diente, es decir, a mayor contenido mineral, mayor dureza. Por lo tanto, la determinación de la microdureza puede proporcionar una valiosa evidencia de pérdida o ganancia de minerales en el tejido dental duro, con especial atención a los efectos de las soluciones de irrigación en la dureza de la dentina radicular.

La microdureza de la dentina depende de las propiedades físicas de la solución (es decir, pH y concentración) y la estructura de la dentina (es decir, densidad tubular, ubicación, edad). El número y el diámetro de los túbulos dentinarios también juega un papel importante en la efectividad de los irrigantes.

Los estudios que evaluaron la microdureza en el conducto radicular posterior al tratamiento se muestran en la tabla V, correspondiendo a los artículos (#1, #2, #3, #8, #10). En dichos estudios se midió la microdureza de la capa más superficial de la dentina del conducto radicular.

En todos los estudios se observó una significativa disminución de la microdureza en la dentina luego de la irrigación con MA 7% en comparación con el EDTA. Esto puede atribuirse al alto pH del ácido maleico. Cuanto más ácido sea el pH de una solución, más probable es que cause la eliminación de los iones de calcio de la dentina y por lo tanto resulta en una reducción de la microdureza (16).

La metodología utilizada en los estudios se evaluó principalmente en diferentes pruebas de microdureza como son el de Vickers y dureza de Knoop. Tanto el EDTA 17% como el MA 7% han demostrado que descalcifican el contenido mineral de la dentina radicular, reduciendo posteriormente la microdureza.

La prueba de microdureza en un material heterogéneo como la dentina varía debido a las diferencias en la densidad tubular de la dentina apical a la coronal, lo que puede conducir a desviaciones en los resultados. Además de la densidad tubular, el tiempo de contacto de la

solución de irrigación debe considerarse como otro determinante en los valores de microdureza de la dentina después del tratamiento.

Actualmente, no hay consenso sobre el tiempo óptimo en que un agente de quelante debe estar en contacto dentro del sistema de conductos radiculares. Sin embargo, los estudios han informado que el uso de EDTA por un intervalo de tiempo mayor a 1 minuto provoca un exceso de quelación con la subsiguiente erosión de los túbulos dentinarios en forma de embudo, lo que reduce la dureza de la dentina.

Los resultados obtenidos en el estudio #3 (97) para la rugosidad de la superficie indicaron que, el ácido maleico 7% expuso una superficie más áspera en la dentina del conducto radicular. Esto podría deberse a la mayor capacidad desmineralizadora del ácido maleico 7% en comparación con otros agentes de prueba.

Un aumento en la rugosidad de la superficie podría ser de beneficio clínico en odontología restauradora / endodoncia debido a la unión micromecánica de los materiales restauradores como: adhesivo y de los selladores de resina del conducto radicular que requieren la presencia de irregularidades en la superficie del adherente en el que pueda penetrar el adhesivo.

## X. CONCLUSION

El ácido maleico 7% ha demostrado ser el agente quelante más eficiente en la eliminación del barro dentinario en todo el conducto radicular e indiscutiblemente también es el tercio apical el agente quelante que logra mayor eliminación del barro dentinario, exponiendo un mayor número de túbulos dentinarios abiertos.

En relación con el EDTA 17% y el tiempo de acción, si es utilizado por un tiempo mayor a 1 minuto tiene consecuencias perjudiciales como erosión y apertura excesiva de los túbulos dentinarios con deterioro de la superficie de la dentina. El aumento del tiempo de aplicación del EDTA 18% conducirá a un aumento de la eliminación de iones  $Ca^{2+}$ , mayor profundidad de la zona de desmineralización, más rugosidad de la superficie de la dentina con disminución de la microdureza de la dentina, efectos erosivos más grandes y menor fuerza de unión entre la resina por lo que se requiere de un adecuado control del tiempo si es utilizado.

En base a los resultados obtenidos en diferentes estudios el ácido maleico al 7% produjo la máxima rugosidad de la superficie dentinaria comparado con el EDTA. Sin embargo, si se utiliza el ácido málico a una concentración superior al 7% causa daño a la dentina intertubular, ensanchando en exceso los túbulos dentinarios en el tercio medio y apical (70).

Adicionalmente, cabe destacar que se ha demostrado que el ácido maleico y el EDTA no son agentes potencialmente genotóxicos con relevancia clínica. Sin embargo, el ácido maleico (MA) muestra menor inducción de muerte apoptótica que el EDTA; por tanto, el MA tiene mejor aceptabilidad clínica con una mayor capacidad de eliminación de barro dentinario.

Entregados los resultados de la acción del quelante ácido maleico a exposiciones de 1 minuto, es tiempo es suficiente para disminuir el barro dentinario sobre la superficie radicular sin causar evidente deterioro estructural de la dentina inter y peritubular.

## XI. BIBLIOGRAFIA

1. Conducto da C BE. Endodoncia. Técnicas Clínicas y Bases Científicas. 3º Edición ed. Madrid 2014. 186 p.
2. Violich DR, Chandler NP. The smear layer in endodontics - a review. *International endodontic journal*. 2010;43(1):2-15.
3. Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM. Bacterial penetration through conducto s of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *Journal of dentistry*. 2003;31(4):275-81.
4. Galiana M DIC, Montiel N, Ortega S. Efectividad de diferentes soluciones de irrigación en la limpieza de las paredes del conducto radicular. . *Conducto Abierto*. 2015:19-24.
5. Cobankara FK, Ozkan HB, Terlemez A. Comparison of organic tissue dissolution capacities of sodium hypochlorite and chlorine dioxide. *J Endod*. 2010;36(2):272-4.
6. McComb D, Smith DC. A preliminary scanning electron microscopic study of root conducto s after endodontic procedures. *J Endod*. 1975;1(7):238-42.
7. Brannstrom M, Johnson G. Effects of various conditioners and cleaning agents on prepared dentin surfaces: a scanning electron microscopic investigation. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1974;31(4):422-30.
8. Garcez AS, Ribeiro MS, Tegos GP, Nunez SC, Jorge AO, Hamblin MR. Antimicrobial photodynamic therapy combined with conventional endodontic treatment to eliminate root conducto biofilm infection. *Lasers in surgery and medicine*. 2007;39(1):59-66.
9. Krithikadatta J, Indira R, Dorothykalyani AL. Disinfection of dentinal tubules with 2% chlorhexidine, 2% metronidazole, bioactive glass when compared with calcium hydroxide as intraconducto medicaments. *J Endod*. 2007;33(12):1473-6.
10. Zivkovic S BT. Smear layer in Endodontics. *Serbian Dental J*. 2005;52.
11. Ravikumar J, Bhavana V, Thatimatla C, Gajjarapu S, Reddy SG, Reddy BR. The effect of four different irrigating solutions on the shear bond strength of endodontic sealer to dentin - An In-vitro study. *Journal of international oral health : JIOH*. 2014;6(1):85-8.
12. Ballal NV, Kandian S, Mala K, Bhat KS, Acharya S. Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from instrumented human root conducto : a scanning electron microscopic study. *J Endod*. 2009;35(11):1573-6.
13. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*. 2002;28(1):17-9.
14. Ari H, Erdemir A, Belli S. Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root conducto dentin. *J Endod*. 2004;30(11):792-5.
15. Wieczkowski G, Jr., Yu XY, Davis EL, Joynt RB. Microleakage in various dentin bonding agent/composite resin systems. *Operative dentistry*. 1992;Suppl 5:62-7.

16. Ulusoy OI, Gorgul G. Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc.* 2013;39(2):66-72.
17. Cohen SK, M; Berman, L; Rotstein, I. *Vías de la Pulpa*. In: Elsevier, editor. *Vías de la Pulpa*. 11<sup>a</sup>. Edición. España 2016.
18. Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *British dental journal.* 2014;216(6):299-303.
19. Kaufman AY, Greenberg I. Comparative study of the configuration and the cleanliness level of root conducto s prepared with the aid of sodium hypochlorite and bis-dequalinium-acetate solutions. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology.* 1986;62(2):191-7.
20. Jena A, Sahoo SK, Govind S. Root conducto irrigants: a review of their interactions, benefits, and limitations. *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, NJ : 1995).* 2015;36(4):256-61; quiz 62, 64.
21. Wright PP, Kahler B, Walsh LJ. Alkaline Sodium Hypochlorite Irrigant and Its Chemical Interactions. *Materials (Basel, Switzerland).* 2017;10(10).
22. Zehnder M. Root conducto irrigants. *J Endod.* 2006;32(5):389-98.
23. Walsh LJ, George R. Activation of Alkaline Irrigation Fluids in Endodontics. *Materials (Basel, Switzerland).* 2017;10(10).
24. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010;54(2):291-312.
25. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod.* 1983;9(4):137-42.
26. Cengiz T, Aktener BO, Piskin B. Effect of dentinal tubule orientation on the removal of smear layer by root conducto irrigants. A scanning electron microscopic study. *International endodontic journal.* 1990;23(3):163-71.
27. Russell AD, Day MJ. Antibacterial activity of chlorhexidine. *The Journal of hospital infection.* 1993;25(4):229-38.
28. Bernardi A, Teixeira CS. The properties of chlorhexidine and undesired effects of its use in endodontics. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985).* 2015;46(7):575-82.
29. Mohammadi Z, Abbott PV. The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *International endodontic journal.* 2009;42(4):288-302.
30. Cook J, Nandakumar R, Fouad AF. Molecular- and culture-based comparison of the effects of antimicrobial agents on bacterial survival in infected dentinal tubules. *J Endod.* 2007;33(6):690-2.
31. Rosenthal S, Spangberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root conducto dentin. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2004;98(4):488-92.
32. Souza M, Cecchin D, Farina AP, Leite CE, Cruz FF, Pereira Cda C, et al. Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. *J Endod.* 2012;38(9):1249-52.
33. da Silva RA, Leonardo MR, da Silva LA, Faccioli LH, de Medeiros AI. Effect of a calcium hydroxide-based paste associated to chlorhexidine on RAW 264.7

macrophage cell line culture. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics. 2008;106(5):e44-51.

34. de Souza LB, de Aquino SG, de Souza PP, Hebling J, Costa CA. Cytotoxic effects of different concentrations of chlorhexidine. American journal of dentistry. 2007;20(6):400-4.

35. Lessa FC, Aranha AM, Nogueira I, Giro EM, Hebling J, Costa CA. Toxicity of chlorhexidine on odontoblast-like cells. Journal of applied oral science : revista FOB. 2010;18(1):50-8.

36. Hidalgo E, Dominguez C. Mechanisms underlying chlorhexidine-induced cytotoxicity. Toxicology in vitro : an international journal published in association with BIBRA. 2001;15(4-5):271-6.

37. Lee TH, Hu CC, Lee SS, Chou MY, Chang YC. Cytotoxicity of chlorhexidine on human osteoblastic cells is related to intracellular glutathione levels. International endodontic journal. 2010;43(5):430-5.

38. Agente quelante [Internet]. Available from: [https://www.ecured.cu/Agente\\_quelante](https://www.ecured.cu/Agente_quelante).

39. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. Ethylenediaminetetraacetic acid in endodontics. European journal of dentistry. 2013;7(Suppl 1):S135-42.

40. Mohammadi Z, Yaripour S, Shalavi S, Palazzi F, Asgary S. Root Conducto Irrigants and Dentin Bonding: An Update. Iranian endodontic journal. 2017;12(2):131-6.

41. Ballal NV, Mala K, Bhat KS. Evaluation of decalcifying effect of maleic acid and EDTA on root conducto dentin using energy dispersive spectrometer. Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics. 2011;112(2):e78-84.

42. Paul ML, Mazumdar D, Niyogi A, Baranwal AK. Comparative evaluation of the efficacy of different irrigants including MTAD under SEM. Journal of conservative dentistry : JCD. 2013;16(4):336-41.

43. Lottanti S, Gautschi H, Sener B, Zehnder M. Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. International endodontic journal. 2009;42(4):335-43.

44. Poudyal S, Pan WH, Zhan L. Efficacy of solution form of ethylenediaminetetraacetic acid on removing smear layer of root conducto at different exposure time In Vitro. Journal of Huazhong University of Science and Technology Medical sciences = Hua zhong ke ji da xue xue bao Yi xue Ying De wen ban = Huazhong keji daxue xuebao Yixue Yingdewen ban. 2014;34(3):420-4.

45. Pawlicka H, Piatkowska D, Hajdukiewicz G. [Effectiveness of cleansing agents in root conducto preparation. A scanning electron microscopy study]. Stomatologie der DDR. 1981;31(9):684-8.

46. Poudyal S, Wei-Hong P. Effect of ethylenediaminetetraacetic Acid (EDTA) gel on removing smear layer of root conducto in vitro. Chinese medical sciences journal = Chung-kuo i hsueh k'o hsueh tsa chih. 2012;27(3):190-1.

47. Wu L, Mu Y, Deng X, Zhang S, Zhou D. Comparison of the effect of four decalcifying agents combined with 60 degrees C 3% sodium hypochlorite on smear layer removal. J Endod. 2012;38(3):381-4.

48. Prado M, Gusman H, Gomes BP, Simao RA. Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *J Endod.* 2011;37(2):255-8.
49. Dai L, Khechen K, Khan S, Gillen B, Loushine BA, Wimmer CE, et al. The effect of QMix, an experimental antibacterial root conducto irrigant, on removal of conducto wall smear layer and debris. *J Endod.* 2011;37(1):80-4.
50. Mello I, Kammerer BA, Yoshimoto D, Macedo MC, Antoniazzi JH. Influence of final rinse technique on ability of ethylenediaminetetraacetic acid of removing smear layer. *J Endod.* 2010;36(3):512-4.
51. Mancini M, Armellin E, Casaglia A, Cerroni L, Cianconi L. A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *J Endod.* 2009;35(6):900-3.
52. Spano JC, Silva RG, Guedes DF, Sousa-Neto MD, Estrela C, Pecora JD. Atomic absorption spectrometry and scanning electron microscopy evaluation of concentration of calcium ions and smear layer removal with root conducto chelators. *J Endod.* 2009;35(5):727-30.
53. Saito K, Webb TD, Imamura GM, Goodell GG. Effect of shortened irrigation times with 17% ethylene diamine tetra-acetic acid on smear layer removal after rotary conducto instrumentation. *J Endod.* 2008;34(8):1011-4.
54. Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT. The effect of application time of EDTA and NaOCl on intraconducto smear layer removal: an SEM analysis. *International endodontic journal.* 2005;38(5):285-90.
55. Perez F, Rouqueyrol-Pourcel N. Effect of a low-concentration EDTA solution on root conducto walls: a scanning electron microscopic study. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2005;99(3):383-7.
56. Scelza MF, Pierro V, Scelza P, Pereira M. Effect of three different time periods of irrigation with EDTA-T, EDTA, and citric acid on smear layer removal. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2004;98(4):499-503.
57. Ballal NV, Kundabala M, Bhat S, Rao N, Rao BS. A comparative in vitro evaluation of cytotoxic effects of EDTA and maleic acid: root conducto irrigants. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2009;108(4):633-8.
58. Meshram R, Sathawane N, Samuel R, Jibhkate NG, Gyanani H, Patil S. Comparative evaluation of efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid, maleic acid, and dimercaptosuccinic acid against the combination of these with sodium hypochlorite for removal of smear layer: An in vitro scanning electron microscope study. *Contemporary clinical dentistry.* 2016;7(4):440-4.
59. Sen BH, Akdeniz BG, Denizci AA. The effect of ethylenediamine-tetraacetic acid on *Candida albicans*. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics.* 2000;90(5):651-5.
60. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endod.* 2012;38(4):426-31.
61. Pawlicka H. [The use of chelating agents for widening of the root conducto s. Determination of microhardness]. *Stomatologie der DDR.* 1982;32(5):355-61.

62. Cruz-Filho AM, Sousa-Neto MD, Savioli RN, Silva RG, Vansan LP, Pecora JD. Effect of chelating solutions on the microhardness of root conducto lumen dentin. *J Endod.* 2011;37(3):358-62.
63. Mohammadi Z, Jafarzadeh H, Shalavi S, Kinoshita JI. Unusual Root Conducto Irrigation Solutions. *The journal of contemporary dental practice.* 2017;18(5):415-20.
64. Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative analysis of the effect of irrigant solution sequences on dentin erosion. *J Endod.* 2011;37(10):1437-41.
65. Haapasalo M, EU, Zandi H., Coil JM. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endod Top.* 2005;Mar;10(1):77-102.
66. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H. Root conducto irrigation with citric acid solution. *J Endod.* 1996;22(1):27-9.
67. Ballal NV, Rao BN, Mala K, Bhat KS, Rao BS. Assessment of genotoxic effect of maleic acid and EDTA: a comparative in vitro experimental study. *Clinical oral investigations.* 2013;17(5):1319-27.
68. Labarta A. SL. SMEAR LAYER REMOVAL USING MALEIC ACID AND EDTA AS IRRIGANTS SOLUTIONS. *Rev Cient Odontol.* 2018;Vol.14 / No. 1.
69. Kuruvilla A, Jaganath BM, Krishnegowda SC, Ramachandra PK, Johns DA, Abraham A. A comparative evaluation of smear layer removal by using edta, etidronic acid, and maleic acid as root conducto irrigants: An in vitro scanning electron microscopic study. *Journal of conservative dentistry : JCD.* 2015;18(3):247-51.
70. Prabhu SG, Rahim N, Bhat KS, Mathew J. Comparison of removal of endodontic smear layer using sodium hypochlorite, EDTA and different concentrations of maleic acid - A SEM study 2003. 20-5 p.
71. Ballal NV, Jain H, Rao S, Johnson AD, Baeten J, Wolcott JF. Evaluation of SmearOFF, maleic acid and two EDTA preparations in smear layer removal from root conducto dentin. *Acta odontologica Scandinavica.* 2018:1-5.
72. Ballal NV, Jain I, Tay FR. Evaluation of the smear layer removal and decalcification effect of QMix, maleic acid and EDTA on root conducto dentine. *Journal of dentistry.* 2016;51:62-8.
73. O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod.* 2000;26(12):739-43.
74. Cury JA, Bragotto C, Valdrighi L. The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin. I. Influence of pH. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology.* 1981;52(4):446-8.
75. Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod.* 2002;28(7):501-2.
76. Ferrer-Luque CM, Arias-Moliz MT, Gonzalez-Rodriguez MP, Baca P. Antimicrobial activity of maleic acid and combinations of cetrime with chelating agents against *Enterococcus faecalis* biofilm. *J Endod.* 2010;36(10):1673-5.
77. Wang L, Zhao Y, Mei L, Yu H, Muhammad I, Pan Y, et al. Effect of application time of maleic acid on smear layer removal and mechanical properties of root conducto dentin. *Acta odontologica Scandinavica.* 2017;75(1):59-66.
78. Ballal NV, Moorkoth S, Mala K, Bhat KS, Hussen SS, Pathak S. Evaluation of chemical interactions of maleic acid with sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2011;37(10):1402-5.

79. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2007;33(8):966-9.
80. Falcón B, Guevara L. Interacciones entre soluciones irrigantes durante el tratamiento de endodoncia 2017. 56-9 p.
81. Garcia F, Murray PE, Garcia-Godoy F, Namerow KN. Effect of Aquatine Endodontic Cleanser on smear layer removal in the root conducto s of ex vivo human teeth. *Journal of applied oral science : revista FOB.* 2010;18(4):403-8.
82. Borro I, Tomás, B., Díaz- Flores, V. In vitro study using a scanning electron microscope (sem) of different. Methods of activating irrigation solutions. *CientDent* 2010. p. 45-52.
83. Saber Sel D, Hashem AA. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod.* 2011;37(9):1272-5.
84. Aktener BO, Cengiz T, Piskin B. The penetration of smear material into dentinal tubules during instrumentation with surface-active reagents: a scanning electron microscopic study. *J Endod.* 1989;15(12):588-90.
85. Martinelli SS, A. Mesa M. Estudio de la eficacia de diferentes soluciones de EDTA y ácido cítrico en la remoción de barro dentinario. *Scielo.* 2012( ).
86. Orstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endodontics & dental traumatology.* 1990;6(4):142-9.
87. Lester KS, Boyde A. Scanning electron microscopy of instrumented, irrigated and filled root conducto s. *British dental journal.* 1977;143(11):359-67.
88. Pashley DH. Dentin-predentin complex and its permeability: physiologic overview. *Journal of dental research.* 1985;64 Spec No:613-20.
89. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng YL. Effects of mechanical and chemical procedures on root conducto surfaces 2005. 103-22 p.
90. Morgental RD, Singh A, Sappal H, Kopper PM, Vier-Pelisser FV, Peters OA. Dentin inhibits the antibacterial effect of new and conventional endodontic irrigants. *J Endod.* 2013;39(3):406-10.
91. Karade P, Chopade R, Patil S, Hoshing U, Rao M, Rane N, et al. Efficiency of Different Endodontic Irrigation and Activation Systems in Removal of the Smear Layer: A Scanning Electron Microscopy Study. *Iranian endodontic journal.* 2017;12(4):414-8.
92. Ruddle CJ. Hydrodynamic disinfection: tsunami endodontics. *Dentistry today.* 2007;26(5):110, 2, 4-7.
93. Yeung W, Raldi DP, Cunha RS, Mello I. Assessment of smear layer removal protocols in curved root conducto s. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc.* 2014;40(2):66-71.
94. Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod.* 2010;36(9):1558-62.
95. Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics: a review of the literature. *J Endod.* 2007;33(2):81-95.
96. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, et al. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003;29(3):170-5.

97. Ballal NV, Khandewal D, Karthikeyan S, Somayaji K, Foschi F. Evaluation of Chlorine Dioxide Irrigation Solution on the Microhardness and Surface Roughness of Root Conducto Dentin. The European journal of prosthodontics and restorative dentistry. 2015;23(3):P135-40.