



**COMPARACIÓN IN VITRO DE TRES PROTOCOLOS DE  
IRRIGACIÓN FINAL, EN ENDODONCIA, UTILIZANDO  
ULTRASONIDO Y ENDOACTIVADOR® (SÓNICO) PARA LA  
REMOCIÓN DE SMEAR LAYER EN EL TERCIO APICAL**

Trabajo de investigación requisito para obtener Grado de Magister en  
Ciencias Odontológicas con mención en Endodoncia

**TESISTA:**

**Dra. Danessa Cvitanic Latorre**

**PROFESOR GUÍA:**

**Profesor Dr. Eduardo Santamaría Muenas**

**Profesor Dr. Eduardo Santamaría Muenas**

**Cátedra de Endodoncia**

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi familia, profesores y amigos, que ayudaron para la realización de este trabajo de investigación**

# ÍNDICE

	Páginas
Introducción	1
Marco Teórico	3
❖ Barro dentinario o smear layer	3
❖ Irrigación	10
• Hipoclorito de Sodio	19
• EDTA	24
• Ultrasonido	26
• Sónico EndoActivator®	34
Hipótesis	40
Objetivos	40
Materiales y Métodos	41
Resultados	54
Discusión	68
Conclusiones	72
Sugerencias	73
Resumen	74
Referencias bibliográficas	75
Anexos	81

## INTRODUCCIÓN

La irrigación durante la limpieza y modelado del sistema de conductos radiculares es un factor fundamental de éxito de la terapia endodóntica. Sabemos que la instrumentación de los conductos, deja una capa residual de detritus llamada "smear layer", la cual posee un espesor y homogeneidad variable; y está compuesta por virutas de dentina, restos de procesos odontoblásticos, tejido pulpar y en algunos casos bacterias.

Existe controversia en relación a si es recomendable eliminarla completamente o dejarla debido a que ésta sellaría de forma biológica los túbulos dentinarios. La tendencia actual, al menos en caso de necropulpetomías, es buscar la eliminación total de esta capa y promover, así, la apertura de los túbulos dentinarios, buscando con ésto la eliminación de las bacterias presentes dentro de los túbulos dentinarios mediante soluciones irrigantes bactericidas y medicación intraconducto, además de obtener una mejor adaptación de los cementos selladores a las paredes dentinarias.

El endodoncista se ha mantenido en la búsqueda permanente de un agente ideal para la remoción del smear layer con características que permitan optimizar el trabajo y obtener resultados clínicos satisfactorios entre otros.

Sustancias capaces de eliminar el smear layer, aunque no en su totalidad, son los agentes quelantes, que actúan sobre la parte inorgánica, desmineralizando el smear layer y aumentando la permeabilidad de los túbulos dentinarios. El Hipoclorito de Sodio también tiene su efecto, actuando como disolvente sobre la parte orgánica. Además de estas soluciones y como complemento de la irrigación se utilizan puntas o limas activadas con ultrasonido que potencian los efectos de los irrigantes, los llevan a zonas de difícil acceso, además de permitir una mejor limpieza del smear layer, a esto se le denomina **PUI** (irrigación ultrasónica pasiva) y se basa en la transmisión de energía acústica de una lima oscilante o alambre liso, a un irrigante en el conducto radicular. La energía se transmite por medio de ondas ultrasónicas, produciendo dos fuerzas biofísicas importantes: cavitación y micro corriente acústica.

Actualmente están disponibles muchas técnicas y sistemas de irrigación que proponen mejorar la irrigación final o lavado quirúrgico final antes de la obturación. A pesar de los distintos protocolos la irrigación ultrasónica pasiva (**PUI**) ha mostrado resultados promisorios en remoción de "debris" y smear layer.

La combinación de Hipoclorito de Sodio en concentraciones de 2,5% o 5,25% y EDTA al 17% (agente quelante), ha demostrado su eficacia en la remoción tanto del componente orgánico como inorgánico del smear layer y es considerado el Gold Standard contra el cual se deben contrastar las técnicas de irrigación o irrigantes que se quieran investigar.

Recientemente se ha introducido al mercado un nuevo dispositivo, el sistema EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties), el cual está compuesto por una pieza de

mano y puntas de polímero de distintos tamaños. Este sistema fue diseñado para activar con energía sónica distintos irrigantes y producir fenómenos hidrodinámicos, que ayuden a desinfectar y limpiar el sistema de conductos radiculares

La literatura muestra que sin importar la instrumentación y las técnicas de irrigación, la efectividad de las soluciones irrigantes permanecen limitadas en la zona del tercio apical de los conductos preparados. Esto es verdad en particular en los conductos curvos e incluso en los dientes uniradiculares. Por lo tanto el mejoramiento de los protocolos de irrigación es fundamental, para que durante el tratamiento de conductos se pueda lograr mejorar la eficiencia en la limpieza especialmente en la compleja área apical.

Para determinar la capacidad de limpieza y remoción del smear layer de la técnica convencional, ultrasonido, y sónico (EndoActivator®) surgió la idea de comparar *in vitro* estos tres protocolos de irrigación final; Hipoclorito de sodio 2.5% y EDTA al 17% sin activación, Hipoclorito de sodio al 2.5% y EDTA al 17% activado con ultrasonido, e Hipoclorito de sodio al 2,5% y EDTA al 17% activado con EndoActivator, en cuanto a eficacia en la remoción de smear layer, utilizando un sistema rotatorio, ProTaper, para realizar la PBM (Preparación Bio-Mecánica) de los conductos radiculares

Se pretende mediante esta investigación orientar y servir de guía al clínico para la elección del método de irrigación final más conveniente para el éxito de la terapia endodóntica.

## MARCO TEÓRICO

### Barro Dentinario o Smear Layer

El éxito del tratamiento de conductos radiculares depende del método y de la calidad de la instrumentación, irrigación, desinfección y de la obturación tridimensional del sistema de conductos. A través de la historia, diferentes tipos de instrumentos manuales, mecanizados y soluciones irrigantes han sido empleados para la preparación químico-mecánica de los conductos radiculares con el objetivo de preparar un conducto limpio y libre de detritus para la posterior obturación tridimensional. Sin embargo, las actuales técnicas pueden no limpiar el sistema de conductos en su totalidad, especialmente en conductos irregulares y/o curvos.

A demás de los detritus superficiales, se demostró, usando el microscopio electrónico de barrido, que una capa de sedimento o lodo se formaba siempre sobre la superficie de las paredes dentinarias cuando la dentina era cortada (Boyde y Knight 1970; McComb y Smith 1975; Mader y cols., 1984).

Esta capa de detritus o sedimentos fue llamada **Smear Layer** por Boyde y cols., en 1963, el cual fue el primero en describir la presencia de ésta en la superficie de esmalte cortado.

La identificación del barro dentinario, también llamada capa parietal, fue posible con el empleo del microscopio electrónico de barrido (SEM) y fue reportado por primera vez por Eick y cols., en 1970. En este trabajo se demostró que el smear layer estaba formado por partículas de tamaño cercanos a los 0.5- 1.5  $\mu\text{m}$ . El estudio de preparaciones cavitarias mediante SEM o MEB de Brännström y Johnson en 1974 confirmó la formación de una delgada capa de desechos. Ellos estimaron que su grosor era de 2 a 5  $\mu\text{m}$ , extendiéndose unos pocos micrómetros dentro de los túbulos dentinarios. (Violich y cols., 2010)

McComb & Smith en 1975 observaron y describieron por primera vez esta capa en las paredes de conductos radiculares instrumentados y ellos sugirieron que el smear layer no sólo estaba compuesto de dentina, como el barro dentinario coronal, sino que también de remanentes de proceso odontoblásticos, tejido pulpar y bacterias. Reportaron que era similar en apariencia al smear layer coronal. (Violich y cols., 2010)

El barro dentinario de una cavidad y el del canal radicular no son comparables entre sí. No sólo porque los instrumentos de preparación dentinaria difieren en las cavidades coronales, sino que también por la gran variación en el número de túbulos dentinarios que posee la dentina radicular, lo que probablemente favorece la presencia de una mayor cantidad de tejido blando remanente. (Violich y cols., 2010)

Su importancia en endodoncia ha sido sujeto de un extenso debate desde que se describió por primera vez. A continuación describiremos aspectos generales de su composición para más adelante hacer una revisión bibliográfica de sus implicancias clínicas.

- **Estructura**

El smear layer tiene una apariencia o aspecto amorfo, irregular y granular al observarlo al microscopio electrónico de barrido (Brannström y cols., 1980; Yamada y cols., 1983 y Pashley y cols., 1988). Este aspecto puede ser debido a translocación y bruñido de los componentes superficiales de las paredes de dentina durante la instrumentación endodóntica (Baumgartner y Mader, 1987). (B. H. Sen y cols., 1995)

En la práctica endodóntica, el smear layer se define como una capa de material firmemente adherida compuesta por sustancias inorgánicas y orgánicas, que se forma en las paredes del conducto radicular (Sean y cols., 1995) (Bonilla y cols., 1998) como resultado de la instrumentación del mismo (Figura 1) y que, por lo mismo, no está presente en los conductos no instrumentados (Figura 2) (Gettleman y cols., 1991). (Caimi y cols., 2003)

De acuerdo a Cameron (1988), el smear layer en las paredes del conducto podría tener un contenido orgánico relativamente alto en las primeras etapas de la instrumentación, debido a la presencia de tejido pulpar necrótico y/o viable en el conducto radicular. (B. H. Sen y cols., 1995).

Su grosor y composición es variable dependiendo de la naturaleza de los tejidos (edad del paciente, estado del conducto radicular y del procedimiento odontológico realizado) (Dautel-Morazin y cols., 1994). Estudios han señalado que el grosor de la capa de smear layer sería de 1 a 5  $\mu\text{m}$  (Torabinejad y cols., 2002) (Gettleman y cols., 1991)

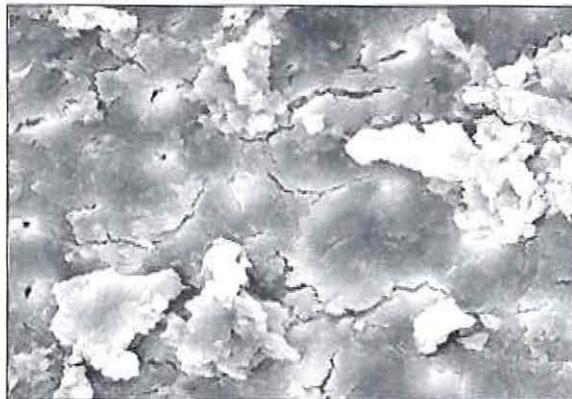


Figura 1.  
**Fotografía al MEB, mostrando superficie dentinaria, con espesa capa de smear layer, sin túbulos dentinarios abiertos. (Jeon y cols. 2003)**

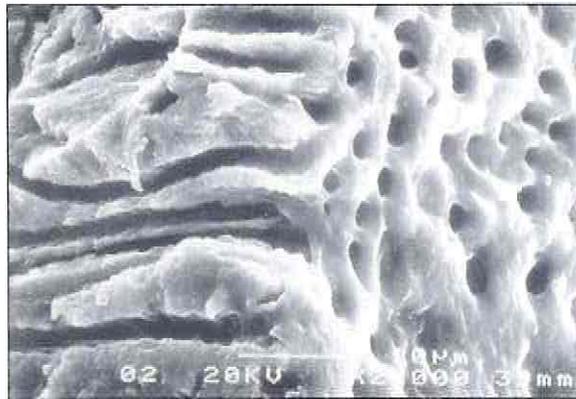


Figura 2.  
Fotografía de MEB con aumento de 2000x, mostrando superficie dentinaria, con túbulos abiertos y libres de smear layer y plugs de smear layer. (Ruddle, 2008)

Este grosor podría depender del tipo y el filo de los instrumentos cortantes y también si la dentina es cortada seca o húmeda (Barnes, 1974 y Gilboe y cols., 1980). El aumento de las fuerzas centrífugas como resultado del movimiento y cercanía o proximidad de los instrumentos a las paredes de dentina forman un smear layer más grueso y resistente (Jodaikin and Austin., 1981) y por lo tanto la cantidad producida durante la instrumentación rotatoria o mecanizada, como con Gates-Glidden será mayor en volumen que la producida por limas manuales (Czontskowsky y cols., 1990). (B. H. Sen y cols., 1995)

Distintas técnicas de instrumentación producirían un smear layer de diferente calidad y cantidad, siendo siempre una barrera en íntimo contacto entre el material obturador y la pared del conducto radicular. A su vez, distintos tipos de irrigantes provocarán diferentes resultados en su remoción (Czontskowsky y cols., 1990). Sin embargo, McComb y Smith (1975), observaron que la instrumentación con escariadores, limas-K y limas Giromatic creaban superficies similares al ser observadas al microscopio electrónico de barrido. (B. H. Sen y cols., 1995)

Eick y cols., 1970, mostraron que el smear layer estaba compuesto por partículas de menos de 0.5um hasta 15 um. Pashley y cols., 1988, descubrieron que estas partículas estaban a su vez compuestas por sub-unidades globulares de aproximadamente 0.05-0.1 um de diámetro las cuales se originaban a partir de fibras mineralizadas. (B. H. Sen y cols., 1995)

Desde un punto de vista químico, el barro dentinario o smear layer está compuesto por dos fases, una orgánica y otra inorgánica. (Dautel- Morazin y cols., 1994)

El **componente orgánico** lo forman restos de tejido pulpar necrótico y/o vital, células sanguíneas, fibras de colágeno de la dentina, glicosaminoglicanos provenientes de la matriz orgánica extracelular, prolongaciones odontoblásticas e incluso bacterias si el conducto está infectado. Esta fase orgánica, sirve como matriz para la fase inorgánica. (Gettleman y cols., 1991) (Madder y cols., 1984) (Dautel-Morazin y cols., 1994).

El **componente inorgánico** lo constituyen las virutas o partículas de los tejidos duros del diente, en este caso de dentina, compuestas por hidroxiapatita que se desprenden durante la instrumentación, y que unido a los fluidos orales y a los líquidos de irrigación forman una sustancia más o menos homogénea. (Pashley y cols., 1981) (Gettleman y cols., 1991) (Weine y cols., 1997). En el barro dentinario se encuentran principalmente P y Ca, pero también Sn, Si, Cr, Zn, Al, Fe, Cu, Mn y Pb, aunque este último se cree que se debe a la contaminación ambiental. El contenido de Ca es mayor que el de la dentina y el esmalte. (Jiménez y cols., 1992)

Estructuralmente, el barro dentinario o smear layer está compuesto por dos capas superpuestas y distintas. Estas capas, observadas al microscopio óptico, tienen un aspecto amorfo, por lo que se denominan en conjunto “costra residual “. (Dautel-Morazin y cols., 1994)

Cameron (1983) y Mader y cols. , (1984) describieron el smear layer en dos partes:

**Zona superficial** es delgada, poco adherente y fácil de eliminar, de 1 a 2  $\mu\text{m}$  de grosor, formada por una matriz amorfa que se deposita sobre la dentina intertubular y los orificios de los túbulos cubriendo toda la pared instrumentada. (Figura. 3)

**Zona profunda** es intratubular, está fuertemente adherida y ocluye los túbulos cortados. (Cameron., 1983) (Cox., 1990) (Baumgartner y Cuenin., 1992). Si bien el grado de penetración de esta capa varía según los autores, se acepta que la profundidad sería sobre 40 $\mu\text{m}$  (Mader y cols., 1984). (B. H. Sen y cols., 1995) (Figura. 3)

También se concluyó que este fenómeno de empacamiento tubular del smear layer se debía a la acción de las fresas y de los instrumentos endodónticos (Brannström y Johnson 1974, Mader y cols., 1984). Sin embargo, Cengiz y cols., 1990 ,propuso que la penetración del smear layer dentro de los túbulos dentinarios podría ser causado por una acción de capilaridad como resultado de las fuerzas adhesivas entre los túbulos dentinarios y este material. Esta hipótesis de capilaridad podría explicar el fenómeno de empacamiento observado por Aktener y cols., 1989, quienes mostraron que esta penetración se incrementaba hasta 110 $\mu\text{m}$  por el uso de agentes tensoactivos como irrigantes durante la instrumentación endodóntica. (Violich y cols., 2010).



Figura 3.  
Fotografía al MEB, se observa capa de smear layer sobre la superficie dentinaria y plug de smear layer dentro del túbulo dentinario

## Implicancias Clínicas

- **Barrera física para bacterias y desinfectantes.**

Las ventajas y desventajas de la presencia del smear layer, y si éste debe o no ser removido de los conductos instrumentados todavía es controversial. El rol del smear layer actuando como barrera física contra bacterias y sus subproductos ha sido respaldado por muchos investigadores. Vojinovic y cols. , 1973 demostró que los plugs dentinarios detenían la invasión bacteriana dentro de los túbulos dentinarios. Michelich y cols. , 1980 y Diamond y Carrell, 1984 también declararon que las bacterias no podrían penetrar en la dentina en presencia de smear layer. Al contrario, Baker y cols. , 1975 y Yamada y cols. , 1983 observaron que las bacterias podrían permanecer en el smear layer y en los túbulos dentinarios a pesar de la instrumentación del conducto radicular y, por lo tanto, podrían sobrevivir, multiplicarse (Brannström y Nyborg 1973) y crecer dentro de los túbulos dentinarios (Olgart y cols., 1974; Akpata y Blechman, 1982; Williams y Goldman, 1985; Meryon y cols., 1986; Meryon y Brook, 1990). (B. H. Sen y cols. , 1995)

También se ha demostrado que la remoción del smear layer facilitaría la penetración pasiva de las bacterias (Olgart y cols., 1974; Michelich y cols., 1980; Haapasalo y Orstavik., 1987; Safavi y cols., 1989; Orstavik y Haapasalo., 1990). La extensión de esta invasión bacteriana es dependiente de la especie bacteriana y el tiempo (Akpata y Blechman., 1982; Meryon y Brook., 1990; Orstavik y Haapasalo., 1990). Williams y Goldman en 1985, mostraron que el smear layer retrasaba la penetración de *Proteus vulgaris* pero no era una barrera completa para esta bacteria. Meryon y cols., 1986, también encontraron que la *Pseudomona aeruginosa* penetraba incluso discos más gruesos de dentina, mediante la eliminación del smear layer y por apertura de los orificios de los túbulos dentinarios posiblemente por la producción de colagenasa. (B. H. Sen y cols., 1995)

Meryon y Brook en 1990 observaron que *A. viscosus* *Corynebaacterium* spp y *S. sanguis* habían digerido el smear layer facilitando de esta manera su penetración. Se ha demostrado también que los subproductos bacterianos podrían penetrar a través de la dentina cortada recientemente (Mjör y Tronstad, 1972; Bergenholtz, 1977; Bergenholtz, 1981) y que el smear layer en sí mismo es permeable incluso a moléculas grandes tales como la albúmina (Pashley y Livingstone, 1978). (B. H. Sen y cols. , 1995). Esta capa por lo tanto no es una barrera estricta para las bacterias. Después de la degradación del smear layer por enzimas proteolíticas liberadas o secretadas por ciertas bacterias (Uitto y cols., 1988) un espacio o fisura se desarrollará entre el material de relleno u obturación y las paredes del conducto, permitiendo la filtración de otras especies bacterianas y sus subproductos a lo largo de las paredes del conducto en los túbulos dentinarios y en los tejidos peri radiculares. Pitt Ford y Roberts en 1990, también enfatizaron la posibilidad de degradación de smear layer como causa de en los fracasos de obturación a retro. (B. H. Sen y cols., 1995)

Cuando el conducto radicular está en gran medida infectado, se pueden encontrar bacterias en lo profundo de los túbulos dentinarios (Brannström, 1984). Incluso después de la instrumentación químico-mecánica del conducto radicular, algunas bacterias permanecen en el conducto y en los túbulos dentinarios (Byström y Sandqvist, 1981, 1983, 1985). Por esta razón la limpieza químico-mecánica es frecuentemente ayudada por el uso de desinfectantes. De acuerdo a algunos autores (Goldberg y Abramovich, 1977; Wayman y cols., 1979; Yamada y cols., 1983;

Baumgartner y Mader, 1987), la presencia de smear layer puede bloquear el efecto antibacteriano de los desinfectantes intraconducto dentro de los túbulos dentinarios. (B. H. Sen y cols. , 1995)

Haapasalo y Orstavik en 1987, encontraron que, en ausencia de smear layer, el monoclórofenol alcanforado líquido desinfectó los túbulos dentinarios rápido y completamente pero el hidróxido de calcio falló en eliminar *Enterococcus faecalis* incluso después de 7 días de incubación. En un estudio posterior, Orstavik y Haapasalo, 1990 demostraron la importancia de remover el smear layer y tener túbulos dentinarios permeables para disminuir el tiempo necesario requerido para lograr el efecto desinfectante de la medicación intraconducto. Concluyeron que el smear layer si retrasaba pero no impedía la acción de los desinfectantes. Byström y Sundqvist, 1985, también demostraron que la presencia de smear layer puede inhibir o retrasar significativamente la penetración de agentes antimicrobianos tales como soluciones irrigantes y medicación intraconducto dentro de los túbulos dentinales. (Torabinejad y cols. , 2002)

### **Smear layer y microfiltración**

Otra consideración importante en endodoncia es la última etapa de sellado final del conducto radicular con el fin de prevenir una posible microfiltración la cual puede ser la causa del futuro fracaso de la obturación. La superficie dentinaria preparada debe estar muy limpia para incrementar o aumentar la eficiencia del sellado de la obturación (McComb y Smith, 1975; Combe, 1986). (B. H. Sen y cols., 1995)

El Smear layer en las paredes del conducto radicular actúa como una barrera física intermedia entre la pared de dentina radicular y el cemento sellador, y puede interferir con la adhesión y penetración de los cementos selladores en los túbulos dentinarios. Lester y Boyde, 1977, encontraron que los cementos selladores con base de óxido de zinc-eugenol (ZOE) fallaron en entrar en los túbulos dentinarios en presencia de smear layer. En dos estudios consecutivos, White y cols en 1984 y 1987 observaron que los materiales de obturación y cementos selladores plásticos penetraron en los túbulos dentinarios después de la remoción del smear layer. Oksan y cols., en 1993, también encontraron que el smear layer obstruyó la penetración de los materiales de obturación; mientras que no se observó penetración tubular de cemento sellador en el grupo control, la penetración en el grupo libre de smear layer osciló de 40 a 60  $\mu\text{m}$ . (B. H. Sen y cols. , 1995)

Sin embargo Gettleman y cols., 1991, no encontró cambios en las fuerzas adhesivas de los cementos selladores Sultan y Sealapex al ser evaluados con y sin presencia de smear layer. (Torabinejad y cols., 2002).

Se puede concluir que tal penetración tubular puede disminuir la interfase entre el material de obturación y la estructura dentinaria, y este proceso puede mejorar la habilidad del material de obturación para prevenir la filtración (White y cols., 1984). Si el objetivo es una penetración máxima dentro de los túbulos dentinarios para evitar la microfiltración, los materiales de obturación se deben aplicar sobre una superficie libre de smear layer y estos deben tener una baja actividad de superficie (Aktener y cols., 1989).

Sin embargo no ha habido en la literatura evidencia suficiente que sugiera una correlación directa entre la microfiltración y la penetración de los materiales de obturación en los túbulos dentinarios. (B. H. Sen y cols. , 1995)

La microfiltración es definida como el paso o pasaje de bacterias, fluidos y sustancias químicas entre la estructura radicular y los materiales de obturación de cualquier tipo. Esto sucede porque existe una brecha o espacio microscópico en la interface del material de obturación y el diente. Pashley y cols., 1989, observaron una extensa red reticular de microcanales alrededor de restauraciones que habían sido puestas en cavidades con smear layer. El espesor de estos canales fue de 1-10µm. El smear layer por lo tanto puede presentar un pasaje para que sustancias filtren alrededor o a través de sus partículas en la interface entre el material de obturación y la estructura del diente. Pashley y Depew, 1986 encontraron que la microfiltración decrece o disminuye después de la remoción del smear layer, pero la permeabilidad de la dentina aumenta. (B. H. Sen y cols. , 1995)

La microfiltración en los conductos radiculares es un tema complicado de abordar, debido a que hay muchas variables que pueden contribuir tales como anatomía, tamaño de instrumentación del conducto radicular, soluciones irrigantes, técnicas de obturación, propiedades físicas y químicas de los cementos selladores y el estado infeccioso del conducto radicular. (Torabinejad y cols., 2002)

Mientras Madison y Krell, 1984 y Evans y Simons, 1986, observaron que la presencia o ausencia del smear layer no tenía un efecto significativo en el sellado apical, Kennedy y cols., 1986 y Cergneux y cols., 1987 concluyeron que la remoción del smear layer podría mejorar el sellado de la obturación. En un estudio, se mostró que la filtración coronal de los conductos obturados fue menor en el grupo libre de smear layer en relación a los grupos que tenían smear layer (Saunders y Saunders 1992). Por otra parte Timpawat y cols., 2001, reportaron que la remoción del smear layer tiene un efecto adverso en la microfiltración de conductos obturados. Estos resultados contradictorios podrían ser atribuibles a diferencias en cuanto a los tipos de cementos selladores, técnicas de obturación, los medios para producir smear layer y la diversidad de bacterias utilizadas en condiciones de laboratorio diferentes. (Torabinejad y cols., 2002)

Además de todos los factores nombrados los resultados contradictorios en los estudios puede ser resultado del uso de diferentes agentes quelantes para la remoción de smear layer. (B. H. Sen y cols. , 1995)

Cuando el smear layer no es removido, la durabilidad del sellado apical debe ser evaluada por un período largo de tiempo. Ya que esta capa no es homogénea y es una estructura pobremente adherida (Mader y cols., 1984), se puede desintegrar lentamente, disolviéndose alrededor de un material de obturación infiltrado, creando así un espacio entre las paredes del conducto radicular y el cemento sellador. (B. H. Sen y cols. , 1995)

El smear layer se puede remover de maneras que discutiremos más adelante. Sin embargo, es algo que se debe tener en mente, ya que existe el riesgo de reinfección de los túbulos dentinales por microfiltración si el sellado fallara después de la remoción del smear layer (Brannström, 1984). (B. H. Sen y cols. , 1995).

A pesar de la controversia respecto del efecto del smear layer en la calidad de la instrumentación y de obturación, varios investigadores (McComb y Smith, 1975; Brannström, 1984

y Pashley, 1984) han encontrado que el smear layer en si mismo puede estar infectado y puede proteger a las bacterias ya presentes en los túbulos dentinales. (Torabinejad y cols. , 2002)

Debido a estas inquietudes, se considera prudente remover el smear layer creado inicialmente en conductos infectados para permitir la penetración de la medicación intraconducto y soluciones irrigantes en los túbulos dentinales. (Torabinejad y cols. , 2002)

Las soluciones irrigantes se han utilizado durante y después de la instrumentación para aumentar la eficiencia de corte de los instrumentos endodónticos y para eliminar los detritus entre otras. Existe un gran número de soluciones irrigantes con características y propiedades distintas y varios factores independientes de ellas que se deben tomar en cuenta al momento de la irrigación para llevar a cabo esta importante parte de la terapia endodontica con éxito.

A continuación pasamos a revisar los irrigantes en endodoncia en general y en particular los que son motivo de la presente investigación.

## **Irrigación en Endodoncia**

### **• Introducción**

Estamos viviendo en la era de la medicina y odontología basada en la evidencia, cualquier nuevo concepto o técnica que sea usado en la clínica, debiera ser evaluado en ensayos clínicos controlados aleatorios (randomizados) y que se comparen con sus respectivos Gold Standard. Sin embargo, esto plantea un problema importante en el campo de la investigación en endodoncia.

Un resultado favorable de un tratamiento de conductos es definido como la reducción de la imagen radiolúcida (lesión) en la radiografía y la ausencia de síntomas clínicos del diente tratado después de un tiempo mínimo de observación de 1 año. (Ørstavik, 1996)

El éxito endodóntico depende de múltiples factores (Ørstavik, 2004) y una etapa del tratamiento que sea defectuosa, por lo tanto, puede ser compensada. Por ejemplo, si microorganismos cultivables permanecen después de una insuficiente desinfección del conducto, estos pueden teóricamente ser encapsulados, encerrados o confinados en el sistema de conductos con una obturación radicular perfecta y el éxito clínico puede todavía lograrse (Sahle y cols., 2004).

Por otra parte, en un estudio clínico metodológicamente válido, cada paso o etapa individual del tratamiento debe ser aleatorio y se deben relacionar con los resultados; de otra manera no se pueden sacar conclusiones y tampoco se pueden establecer relaciones causales.

Las cuestiones antes mencionadas pueden ser vistas como la razón (o la excusa) para el hecho que no existen en la literatura estudios clínicos controlados randomizados en relación al efecto de las soluciones irrigantes y los resultados obtenidos (éxito/fracaso) de los tratamientos endodónticos. Hasta el momento dependemos en gran medida de los datos de estudios in vitro y de ensayos clínicos, con recuperación microbiana después de los tratamientos, como resultado suplente o sustituto.

Recomendaciones clínicas basadas en ese tipo de resultados no son más que deductivos y es necesario que sean interpretados con precaución. Sin embargo, en este tipo de investigaciones se pueden detectar problemas particulares y se pueden obtener datos o información básica. (Zehnder, 2006)

- **Objetivos principales de la irrigación –aspiración.**

1. Limpieza o arrastre mecánico de restos pulpares, sangre líquida o coagulada, virutas de dentina, polvo de cemento temporal, plasma, exudado, restos alimenticios, medicación anterior (Leonardo, 2009) y restos necróticos que pueden actuar como nichos de bacterias (estos restos necróticos al ser llevados a la región periapical pueden causar agudizaciones periapicales y si permanecen en el conducto pueden inhibir o impedir la acción de los medicamentos utilizados como medicación temporal. (Leonardo, 2009)
2. Acción detergente y de lavado.
3. Acción antimicrobiana y desinfectante, eliminando la flora bacteriana residual y sus productos metabólicos. (Leonardo, 2009)
4. Acción lubricante de las paredes dentinarias, facilitando la acción de corte de los instrumentos. (Leonardo, 2009)
5. Eliminación de la llamada capa residual o smear layer. (Leonardo, 2009)

- **Propiedades ideales de un agente irrigante**

1. Ser bactericida o bacteriostático, incluso debe actuar contra hongos y esporas. (Walton y cols., 1991)
2. Tener una actividad antimicrobiana de amplio espectro, y elevada eficacia contra microorganismos anaerobios y facultativos organizados en biofilms. (Zehnder, 2006)
3. Inactivar endotoxinas y LPS bacteriano. (Zehnder, 2006)
4. No mostrar toxicidad local y no ser alergeno (Cohen y Hargreaves, 2008)
5. inocuo para los tejidos peri-radicales. (Cohen y Hargreaves, 2008)
6. Solvente de tejidos o residuos orgánicos e inorgánicos. (Cohen y Hargreaves, 2008)
7. Diferenciar entre tejido necrótico y vital. (Cohen y Hargreaves, 2008)
8. Conservar su efectividad en presencia de tejido duro dental y cuando se mezcla con otros irrigante. (Cohen y Hargreaves, 2008)

9. Poseer baja tensión superficial \*(Cohen y Hargreaves, 2008)
10. Prevenir la formación de smear layer durante la instrumentación o disolver smear layer después de su formación. (Zehnder, 2006)
11. Ser lubricante. (Cohen y Hargreaves, 2008)

Otras propiedades: Aplicación simple, tiempo de vida adecuado, fácil almacenaje, costo moderado, acción rápida y sostenida. (Cohen y Hargreaves, 2008)

La irrigación de la cámara pulpar y de los conductos es una intervención necesaria durante toda la preparación de los conductos, antes de la instrumentación para neutralizar contenido séptico/tóxico de los conductos radiculares, realizada en sentido corono/apical, sin presión (Leonardo, 2009), durante y a intervalos frecuentes, para mantener las paredes húmedas, lubricadas y favorecer así la acción de corte de los instrumentos durante la PBM (Ingle y cols., 1996), y después de la instrumentación para eliminar detritus orgánicos e inorgánicos, que impediría la acción beneficiosa de la medicación tópica intraradicular. (Leonardo, 1994)

Varios autores tales como Tan y Messer, 2002; Peters y cols., 2003; Weiger y cols., 2003; Wu y cols., 2003, han demostrado que grandes áreas de las paredes de los conductos, especialmente en el tercio apical, pero también en conductos ovales y de forma acintada (C shape), no pueden ser limpiados completamente con métodos mecánicos, lo que significa que los microorganismos presentes en esas áreas no alcanzadas por la instrumentación, pueden sobrevivir. Existen bacterias y otros microorganismos residuales tanto en esos espacios difíciles de alcanzar como en los túbulos dentinarios.

La desinfección química es una piedra angular, importante para el éxito del tratamiento, puesto que alcanza las bacterias y hongos presentes en los túbulos dentinarios y en las ramificaciones del sistema de conductos radiculares. (Cohen y Hargreaves, 2008)

Las sustancias usadas para irrigar y limpiar químicamente el sistema de conductos radiculares tienen objetivos diferentes, como la disolución de los tejidos blandos y duros, efecto antimicrobiano e inactivación de los lipopolisacáridos (LPS) bacterianos. Estas sustancias también deben ser lo menos tóxicas posible, para proteger los tejidos periapicales. Por desgracia, las soluciones tóxicas para las células bacterianas suelen serlo para las células humanas; por lo tanto, se debe tener cuidado para evitar la extrusión de los irrigantes a los espacios periapicales. (Cohen y Hargreaves, 2008). En los dientes jóvenes con forámenes apicales anchos, o cuando ya no existe la constricción apical, se debe tener cuidado especial para prevenir la reabsorción o la preparación excesiva del conducto radicular. (Cohen y Hargreaves, 2008).

Un factor crítico es el **volumen empleado del irrigante**. En un estudio que evaluó el efecto de cantidades diferentes de líquidos, se observó que el volumen de irrigante afectaba a la limpieza del conducto radicular (Wu y cols., 2003). El NaOCl y el EDTA administrados en volúmenes mayores produjeron superficies significativamente más limpias del conducto radicular que los volúmenes menores (Wu y cols., 2000).

En un estudio de Park y cols., 2013 se indicó que la **tasa (cantidad) de irrigación** también es relevante y se demostró que excediendo una tasa de 4ml/min no se incrementa la limpieza, pero si aumenta el riesgo de extrusión, concluyendo que, 1ml/15seg entrega el máximo intercambio de irrigante y el mínimo riesgo de extrusión. (Park y cols., 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior es que la **elección de la aguja y jeringa** apropiada para una buena irrigación, también es importante. Aunque las agujas de mayor calibre permiten que el irrigante sea liberado y sustituido con mayor rapidez, el diámetro más amplio de la aguja no permite la limpieza de las aéreas apicales y más estrechas del sistema de conductos radiculares. El exceso de presión o el enclavamiento de las agujas en los conductos durante la irrigación, que impide el reflujó hacia atrás del irrigante (circulación de retorno), se deben evitar (Hülsmann y Hahn, 2000), para prevenir e impedir la extrusión del irrigante a los espacios periapicales.

Investigaciones han demostrado que la solución irrigante no llega más allá de 1mm-2mm apical de la punta, independientemente de la presión aplicada. Además de esto, existe una "dead zone" donde no ocurre intercambio de irrigantes, de esta manera se debe tener en cuenta el modo de descarga o entrega del irrigante. (Gao y cols., 2009). (Figura.4)

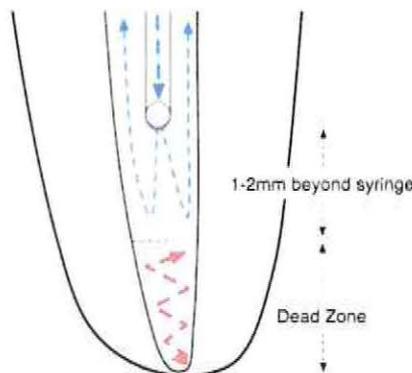


Figura 4. Imagen esquemática de "dead zone".

La penetración de un irrigante en un sistema de conductos instrumentado está en función del diámetro de la aguja para irrigar y en relación al tamaño de la preparación realizada; lima maestra apical (MAF), cuando se utiliza una aguja gauge 30, la preparación apical debe ser de un tamaño ISO #35 a ISO #40, para asegurar una irrigación apropiada del área apical. (Zehnder, 2006)

Por lo tanto, se sugiere la introducción de una aguja de irrigación delgada con una punta segura (safety tip) a longitud de trabajo o 1mm menos de longitud de trabajo, lo cual es un enfoque prometedor para mejorar la eficacia del irrigante en la infectada área apical de los dientes no vitales con lesión radiolúcida apical. (Zehnder, 2006)

## **Irrigación con Presión Positiva o Técnica Convencional**

La irrigación pasiva, es la técnica más común para la descarga del irrigante dentro del conducto, se realiza mediante una aguja y bajo cierta presión ejercida en el embolo de la jeringa. (Figura 5.)

La cánula debe estar holgada para permitir el reflujo de la solución irrigante; se prefieren las de menor calibre que lleguen a mayor profundidad y que permitan el depósito correcto de las soluciones. Algunas cánulas sueltan el irrigante desde su porción más distal y otras más, a través de orificios situados lateralmente. Pero no se ha demostrado que exista una diferencia significativa entre los diferentes tipos de agujas para la limpieza del conducto. (Darcey y cols., 2016)

Esta técnica se ha asociado con dos desventajas, riesgo de extrusión y dificultad para irrigar la región apical, esto último se debe al fenómeno de Vapor Lock. (Darcey y cols., 2016)

## **Fenómeno de Vapor Lock**

Este fenómeno físico presente en nuestros tratamientos, es provocado por un atrapamiento de aire en el interior de los conductos que dificulta alcanzar los milímetros más apicales con sistemas de irrigación por presión positiva y sistemas de activación. (Figura 6.). Se ve favorecido por encontrarnos en conductos radiculares, que actúan como un sistema cerrado al exterior en su zona apical y por una de las principales características del NaOCl y que marca la diferencia respecto a otros irrigantes utilizados, que es la capacidad de disolución de materia orgánica. Este proceso conlleva la formación de gases, principalmente dióxido de carbono y amonio en el interior de los conductos produciéndose atrapamientos de aire que dificultan aún más la penetración a nivel apical del irrigante, así como el recambio a ese nivel. (De Gregorio y cols., 2011)

Un problema añadido es que los sistemas de activación, así como el método dinámico han demostrado una incapacidad de destruir ese bloqueo. Debemos tener en cuenta que la activación que generamos está concebida para activar un fluido, pero las leyes físicas que rigen el comportamiento de los fluidos no son aplicables cuando nos encontramos con un medio fluido y también gaseoso. (De Gregorio y cols., 2011)

Existe poca evidencia científica que analice específicamente este fenómeno y la influencia que sobre él tienen las condiciones en las que se realizan los estudios in vitro. En un estudio realizado por De Gregorio y cols., 2011, se analiza, por medio de un control radiográfico, la penetración de la solución irrigante a la que se le añade Cloruro de Cesio (CsCl) como contraste y empleando en una segunda fase microscopía electrónica de barrido, para observar la limpieza ejercida por la jeringa de irrigación, encontrando una menor eficacia de la presión positiva en cuanto a la limpieza de detritus en el tercio apical cuando ésta se empleaba en un sistema cerrado a pesar de liberar el irrigante a tan sólo 1 mm de la longitud de trabajo. (De Gregorio y cols., 2011)

Este problema se puede minimizar realizando constantemente Patency (patency file manual) confirmando permeabilidad del conducto o utilizar la técnica de irrigación de Presión Negativa. (Darcey y cols., 2016)

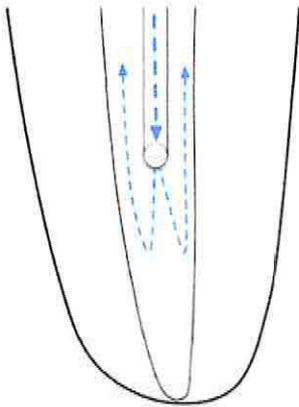


Figura 5. Esquema de técnica de irrigación Presión Positiva (Darcey cols., 2016)

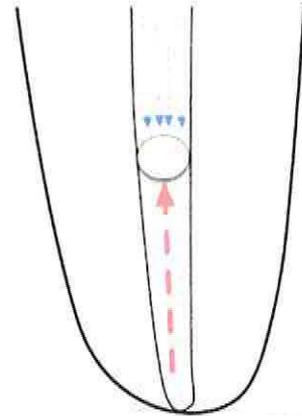


Figura 6. Esquema del fenómeno de Vapor Lok. (Darcey y cols., 2016)

Boutsoukis y cols., en 2010, un estudio en colaboración con Van der Sluis en el que obtienen resultados muy similares a otro artículo de Gao y cols., en 2010, en los que ambos grupos analizan los flujos y patrones de turbulencia de diferentes agujas de liberación, observando que aunque las agujas con salida frontal proporcionan una mayor intensidad en el flujo y en consecuencia una mayor limpieza, generan una presión elevada que puede provocar la extrusión accidental a los tejidos peri-radicales provocando graves consecuencias dado su poder de destrucción tisular. (De Gregorio y cols., 2011)

La aguja puede ser de diversos tipos, aunque se recomienda, del tipo Max i Probe, la cual limpia el conducto hasta el nivel del ápice; en su diseño presenta una única abertura lateral y punta redondeada cerrada, lo cual genera un movimiento o turbulencia de los irrigantes y detritus hacia arriba, la ventana lateral evita que el barrillo dentinario y detritus infectados e irrigantes salga por el foramen apical dañando los tejidos periapicales y la punta redondeada evita los riesgos de perforación en el conducto radicular y del tejido periapical. Se presenta en cinco tamaños de 23, 24, 25, 28 y 30 gauges, siendo este último equivalente a una lima ISO #30. Fig. 7. ([www.rinnncorp.com/pdf/Max-I-Probe%20Flyer\\_0408.pdf](http://www.rinnncorp.com/pdf/Max-I-Probe%20Flyer_0408.pdf))

En estudio de Munley y Goodell, 2007, dicen que “A pesar de todas las agujas de irrigación trabajan con el mismo principio, el Max-i-Probe eliminó significativamente más bacterias”. Este hallazgo está esencialmente en acuerdo con un estudio previo que indica que la ventana lateral única que posee cerca de la punta redondeada, produce una turbulencia con dirección hacia arriba que mejora la limpieza de los conductos radiculares.

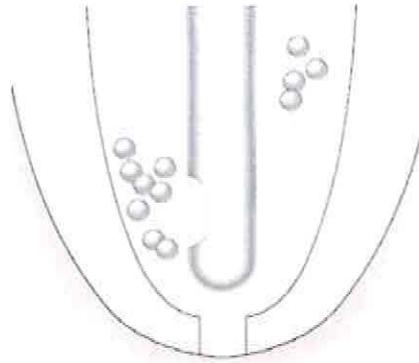


Figura 7. Figura esquemática que muestra la aguja Max i Probe, con su punta redondeada y abertura lateral que promueve un flujo ascendente del irrigante.

Existen en el mercado las agujas Hawe irrigation Probe® (Kerr), que tienen el mismo concepto de acción de las Max i Probe®, tienen un diseño con abertura lateral y puntas redondas, diseñadas para una irrigación suave y segura de los canales radiculares, sin riesgo de perforación del ápice o daños en los tejidos. Tiene un sistema Luer-Lock apta para todas las jeringas estandarizadas, se puede adaptar su forma y viene en 4 tamaños disponibles para las agujas. (Figura 8.)

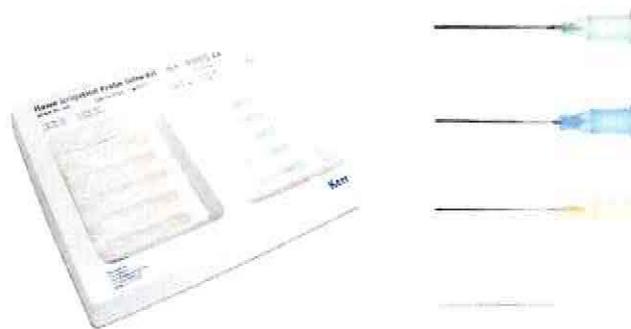


Figura 8. Presentación comercial agujas de irrigación Hawe Irrigation Probe® (Kerr, Poland)

Los agentes irrigantes cumplen importantes funciones físicas y biológicas en el tratamiento endodóntico. Dentro de los irrigantes existen diferentes soluciones para la irrigación de los conductos radiculares.

### **Clasificación de los Irrigantes (Leonardo, 2005)**

#### 1. Compuestos halógenos:

- Solución de hipoclorito de sodio al 0.5% (solución de Dakin)
- Solución de hipoclorito de sodio al 1% + Ácido bórico (solución de Milton)
- Solución de hipoclorito de sodio al 2.5 % (solución de Labarraque)
- Solución de hipoclorito de sodio al 4-6,5% (soda clorada doblemente concentrada)
- Solución de hipoclorito de sodio al 5.25% (preparación oficial, USP)
- Solución de Gluconato de Clorhexidina al 2%

#### 2. Detergentes sintéticos:

- Duponol C – al 1 (alquil – sulfato de sodio)
- Zefirol – cloruro de alquildimetil – bencilamonio
- Dehyquart – A (cloruro de cetiltrimetilamonio)
- Tween – 80 (Polisorbato 80)

#### 3. Quelantes:

- Soluciones de ácido etilendiaminotetracético – EDTA
- Largal ultra (agente quelante comercial)
- Redta (agente quelante comercial)

#### 4. Asociaciones:

- RC Prep (Ácido etilendiaminotetracético + peróxido de úrea + base hidrosoluble y polietilenglicol – Carbox)
- Endo – PTC (peróxido de urea + Tween 80 + Carbowax)
- Glyde File Prep
- MTAD – (Asociación de una tetraciclina isomérica, ácido cítrico y un detergente–Tween 80)
- Smear Clear

#### 5. Otras soluciones de irrigación:

- Agua destilada esterilizada
- Agua de hidróxido de calcio 0.14 g%
- Peróxido de hidrogeno 10 vol.
- Suero fisiológico
- Solución de ácido cítrico

En resumen, la eficacia de las soluciones irrigantes no sólo depende de su naturaleza química, sino también de distintos factores como:

- Volumen o cantidad del irrigante
- Frecuencia de irrigación
- Profundidad de penetración de la aguja dentro del conducto
- Temperatura de la solución irrigante
- Tiempo de contacto con los tejidos y paredes del conducto
- Tipo y diámetro de la aguja
- Tensión superficial de la solución\*
- Antigüedad o tiempo de almacenamiento (Caimi y cols., 2003)

La frecuencia de irrigación debe aumentarse en la medida que los instrumentos se aproximan a la constricción apical. Una cantidad apropiada, es al menos 2ml cada vez que se limpia el conducto o se cambia la lima que se está utilizando. (Caimi y cols., 2003)

La mayoría de los investigadores concuerdan que el aumento de la temperatura de gran parte de los irrigantes incrementa las propiedades antibacterianas. Esto se produciría porque la temperatura aumenta la energía cinética de las partículas en solución, con mayor formación de compuestos moleculares. (Mariani y cols., 2001) (Caimi y cols., 2003)

La humectación de la solución irrigadora depende de la tensión superficial, y es fundamental en la penetración de la solución a los conductos laterales y túbulos dentinarios de preentina. La humectación hace posible que un irrigante aumente la capacidad de penetración a aéreas donde no llegan los instrumentos (Tasman y cols., 2000), al mismo tiempo que crea las condiciones para una mayor eficacia de los medicamentos aplicados en forma tópica (Leonardo, 1994) (Caimi y cols., 2003)

En contraparte Zehnder en un artículo de revisión y actualización de irrigantes publicado en, 2006, dice que "una idea que sigue apareciendo es la noción que reduciendo la tensión superficial añadiendo agentes humectantes mejoraría la efectividad de los irrigantes, ya que estos llegarían y alcanzarían de mejor manera los conductos accesorios y túbulos dentinarios (Ram, 1977; Tasman y cols., 2000). En el estudio que mostraba una mejor penetración de los líquidos con tensión superficial reducida en el sistema de conductos de molares extraídos, no se mencionó si estos dientes estaban secos o se habían mantenido en un ambiente húmedo. In situ los conductos radiculares y las paredes de dentina adyacentes están llenos de líquido o mojadas, y la tensión superficial del líquido que se introduce por lo tanto juegan un papel menor en este ambiente. (Zehnder, 2006)

La infiltración de la dentina por partículas químicos de las soluciones acuosas ocurre por difusión en lugar de intercambio directo de líquido. Por lo tanto, es posible que no sea una sorpresa que reduciendo la tensión superficial de un irrigantes esto no influya en su capacidad de remover smear layer, ni mejora su eficacia antibacterial en el conducto radicular. Es más, reduciendo la

tensión superficial de los irrigantes utilizados durante la instrumentación en realidad puede causar un aumento en la penetración del smear layer en los túbulos dentinarios. (Zehnder, 2006)

Dentro de la gran cantidad de irrigantes de uso en endodoncia, el Hipoclorito de Sodio sigue siendo el irrigante más utilizado en la actualidad, y se viene empleando eficazmente para la preparación de conductos desde hace muchos años.

## **Hipoclorito de Sodio**

En la actualidad la solución de irrigación endodóntica con mejor efecto proteolítico es el NaOCl, a pesar de que no cumple con todos los requisitos del irrigante ideal, el NaOCl se encuentra con facilidad, es barato y se usa ampliamente como irrigante. Con tiempo suficiente, el NaOCl es un potente solvente del tejido pulpar vital y necrótico y de los restos orgánicos, y tiene propiedades antimicrobianas excelentes. (Cohen y Hargreaves, 2008)

A demás de su amplio espectro, su eficacia no especifica de eliminar todos los microorganismos, las preparaciones de Hipoclorito son esporicidas y destruyen virus también y muestra un efecto de disolución de tejidos necrótico mucho mayor que en tejido vital. (Zehnder, 2006)

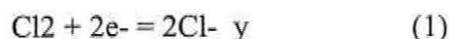
El tejido necrótico y los detritus son disueltos por rotura de las proteínas en aminoácidos a través del cloro libre en el NaOCl. Las concentraciones usadas en clínica oscilan entre el 0,5 y 5,25%. Sin embargo, como el cloro es el componente importante la solución se debe introducir/recambiar con frecuencia durante la preparación del conducto, para compensar las concentraciones más bajas y lograr una renovación constante del líquido dentro del conducto radicular. (Cohen y Hargreaves 2008)

Ha existido mucha controversia en relación a la concentración de la solución de hipoclorito para ser usada en endodoncia. Como la solución de Dakin, hipoclorito al 0.5%, fue creada para tratar heridas abiertas, se pensó que, en el área confinada del sistema de conductos, se deberían usar concentraciones más elevadas. La efectividad antibacteriana y capacidad de disolución de tejidos del hipoclorito de sodio está en función de su concentración, pero también lo es su toxicidad. Parece que la mayoría de los dentistas americanos usan el hipoclorito de sodio al 5,25% (concentración máxima) tal como que se vende para el uso como lejía doméstica. Sin embargo, se han reportado irritaciones severas, cuando tales soluciones fueron forzadas inadvertidamente en los tejidos periapicales durante la irrigación o se filtraron a través de la goma dique (Hülsmann y Hahn, 2000).

Además, esta solución al 5,25% reduce significativamente el módulo elástico y resistencia flexural de la dentina humana en comparación con solución salina, mientras que al 0,5% no se produce esto. Esto ocurre probablemente por la acción proteolítica del hipoclorito concentrado sobre la matriz de colágeno de la dentina. La reducción de la microbiota en el conducto radicular, por otra parte, no es superior cuando se usa hipoclorito al 5% como irrigante en comparación a

hipoclorito al 0,5%. De observaciones in Vitro, aparece que una solución de hipoclorito al 1% debería ser suficiente para disolver el tejido pulpar completamente en el curso del tratamiento endodóntico. Debe tenerse en cuenta que, durante la irrigación, hipoclorito fresco constantemente llega al sistema de conductos, y la concentración de la solución no juega un rol decisivo. La presencia de aéreas sin limpiar puede ser resultado de la incapacidad de la solución de alcanzar físicamente esas aéreas, en lugar de su concentración. Por lo tanto, basado en la evidencia disponible actualmente, no existe razón para usar hipoclorito a concentraciones sobre el 1%. (Zehnder, 2006)

Cloro reactivo en solución acuosa a la temperatura del cuerpo puede, en esencia, tomar dos formas: hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) o ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ). La concentración de estos se puede expresar como cloro disponible mediante la determinación electroquímica de la cantidad equivalente de cloro elemental.



Por lo tanto, 1 mol de hipoclorito contiene 1 mol de cloro disponible. El estado de cloro disponible depende del pH de la solución. Por encima de un pH 7.6 la forma predominante es hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ), bajo este valor es ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ). Ambas formas son extremadamente reactivos agentes oxidantes. Hipoclorito puro como se usa en endodoncia tiene un pH de 12, y por lo tanto el disponible completo está en la forma de  $\text{OCl}^-$  (hipoclorito). Sin embargo; a idénticos niveles de cloro disponible, el ácido hipocloroso es más bactericida que hipoclorito. (Zehnder, 2006)

Una forma de incrementar la eficacia de la solución de hipoclorito, por lo tanto, podría ser la de reducir su pH. También se ha conjeturado que tal solución sería menos tóxica con el tejido vital en comparación con una solución no tamponada. Sin embargo, el hipoclorito tamponado con bicarbonato vuelve la solución inestable con una disminución de su vida útil a menos de 1 semana. Dependiendo de la cantidad de bicarbonato en la mezcla y por lo tanto de su valor de pH, la eficacia antimicrobial de la solución tamponada con bicarbonato es sólo apenas superior o no elevada en lo absoluto en comparación con una solución no tamponada. Finalmente, el potencial cáustico del hipoclorito parece ser influenciado mayormente por el cloro disponible en vez del pH u osmolaridad. (Zehnder, 2006)

Un enfoque alternativo para mejorar la efectividad del hipoclorito en el sistema de conductos puede ser aumentar la temperatura de hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) de bajas concentraciones. Esto mejora su inmediata capacidad de disolución de tejidos. Además, la solución de hipoclorito calentado remueve detritus orgánicos de la dentina más eficientemente que su contraparte no calentada. Las propiedades antimicrobianas de soluciones de  $\text{NaOCl}$  calentado también han sido discutidas. Ya en 1936, el efecto de la temperatura de  $\text{NaOCl}$  en la supervivencia de *Mycobacterium tuberculosis* fue demostrada. Con las taxas probadas hasta ahora, la capacidad bactericida del hipoclorito de sodio es más del doble por cada 5 grados Celsius de aumento de temperatura en el rango de 5 a 60 grados.

La capacidad de NaOCl al 1% a 45 grados Celsius de temperatura, de disolver tejido pulpar, fue encontrado ser igual que una solución de NaOCl al 5,25% a 20 grados Celsius. (Sirtes y cols., 2005)

Se ha promovido también, que la activación ultrasónica del hipoclorito de sodio tiene la capacidad de acelerar las reacciones químicas, crear efectos de cavitación y lograr una acción de limpieza superior (Martin, 1976). (Sirtes y cols., 2005)

Sin embargo, los resultados obtenidos con hipoclorito activado con ultrasonido versus irrigación convencional son contradictorios en relación a limpieza del sistema de conductos y eliminación de la microbiota presente en el sistema de conductos infectados después del procedimiento de limpieza y modelado. (Ahmad y cols., 1987; Jensen y cols., 1999). Los efectos observados de la activación ultrasónica fueron relativamente menores. Además, la naturaleza de estos efectos no es clara. (Zehnder, 2006)

Una lima Endosonic ISO #15 conectada a una pieza de mano ultrasónica introducida 1mm corta de longitud de trabajo ha sido promovido para realizar irrigación pasiva ultrasónica. Usando esta técnica, no se ha observado el fenómeno de "cavitación", que es el crecimiento y el posterior colapso de pequeñas burbujas de gas en el líquido, bajo condiciones de laboratorio en contenedores de vidrio rectangulares. Por lo tanto, la activación del hipoclorito ha sido atribuida principalmente a las microcorrientes acústicas, que es el movimiento como de vórtice del líquido en torno a la lima Endosonic (Ahmad y cols., 1987). Por el contrario, en conductos radiculares de prueba o simulados se observó un flujo o microcorrientes acústicas constante y cavitación estable en diferentes grados, dependiendo del contacto entre la lima y la pared del conducto (Roy y cols., 1994).

Sin embargo, los patrones de las microcorrientes acústicas en un ambiente confinado como el del sistema de conductos con una superficie interna compleja y con patrones de onda de reflexión impredecibles permanecen poco claro. En ninguno de los estudios citados la temperatura del irrigante fue controlada. La energía ultrasónica podría solo producir calor, así, se podría presentar el hipoclorito levemente más activo. No obstante, se han reportado efectos ultrasónicos directos de debridamiento en conductos radiculares (Van der Sluis y cols., 2005). (Zehnder, 2006)

Si se va a realizar activación ultrasónica del hipoclorito, parece importante aplicar el instrumento ultrasónico después, de que la preparación del conducto se ha finalizado. Un instrumento oscilando libremente causará un mayor efecto de ultrasonido en la solución irrigante que un instrumento que se adhiere en contacto con la pared del conducto (Roy y cols., 1994).

Además las limas ultrasónicas pueden causar cortes sin control sobre las paredes dentinarias del conducto especialmente si se usan durante la etapa de preparación Bio- mecánica . Por lo tanto, parece mejor utilizar un instrumento delgado no cortante en una forma controlada después de la preparación mecánica del conducto . (Zehnder, 2006)

Si bien el hipoclorito de sodio parece ser el irrigante endodóntico más deseable, no puede disolver partículas inorgánicas de dentina y de ese modo prevenir la formación de smear layer durante la instrumentación. Agentes desmineralizantes, como EDTA, han sido recomendados como adyuvantes en el tratamiento de conductos.

## Interacciones entre NaOCl y agentes quelantes

La adición de un quelante a NaOCl reduce su pH en una proporción y forma dependiente del tiempo. Esto afecta a las formas de cloro libre en la solución y causa un aumento en ácido hipocloroso y cloro en forma de gas, lo cual posteriormente reduce la cantidad de ion de hipoclorito. La reducción de los valores de pH en la solución de Hipoclorito de sodio provoca la liberación de cloro en forma de gas, lo cual tiene potencialmente efectos nocivos en los seres humanos. (Rossi-Fedele y cols., 2012)

Las consecuencias de la interacción química entre agentes quelantes y NaOCl resulta en una pérdida de cloro libre disponible (CLD) de la mezcla. Los efectos sobre el contenido de cloro libre disponible en una solución de NaOCl al 1% se analizaron mezclándola con EDTA al 17% y con agua (1:1) y se midió por medio de un método de valoración con yodo / tiosulfato. El cloro libre disponible de la solución de NaOCl fue sustancialmente modificado por la presencia de EDTA con una reducción a 0,06% en comparación con el 0,5% del control dilución con agua (Grawher y cols., 2003) Este grupo de investigadores, realizaron luego una investigación en que se estudió el impacto sobre el cloro libre disponible en NaOCl al 1% a partir de la interacción con EDTA al 17% (pH= 8) y ácido cítrico al 10% usando la misma metodología y teniendo en cuenta el factor tiempo. Sus resultados muestran que cuando se mezcla con ácido cítrico, el cloro libre disponible disminuye a 0 en menos de un minuto, mientras que EDTA requiere entre 1 y 60 minutos para reducir el cloro libre disponible a ese mismo nivel (Zehnder y cols., 2005).

Estos resultados fueron confirmados por otro grupo de investigadores que estudió los efectos relacionados con el tiempo (entre 6-18 minutos) en el contenido de cloro activo cuando se diluye con una solución de EDTA (17%, pH=7.5, y con surfactante). Diferentes preparaciones de NaOCl (1%, 1.5%, 4%, y 4.5% con algunas con surfactante) y una mezcla de NaOCl: EDTA en distintas proporciones (9:1, 3:1, y 1:1), fueron testeados o probados a través de valoración iodométrico. Aparte de modificación debido a la dilución, la pérdida de cloro libre disponible fue extrema (hasta el 80% incluso cuando la añaden pequeñas cantidades de EDTA en las primeras etapas del proceso, y luego es cada vez más gradual, lo que indica que una reacción química se produce entre las soluciones). La presencia de surfactante hace la reducción de cloro libre disponible sea menos marcada en el tiempo. Cuando preparaciones de quelantes tipo gel que contienen EDTA al 15% y peróxido de urea al 10% (Rc Prep y Glyde), fueron probadas para ver la interacción con NaOCl al 1%, se mostró que ambos compuestos agotaron el contenido de cloro de la solución después de 5 minutos (Girard y cols., 2005)

La dramática reducción del oxígeno libre disponible en la mezcla de NaOCl y EDTA causada por la interacción química parece explicar la inhabilidad de la mezcla NaOCl y EDTA de disolver tejido blando. Una investigación estudió la disolución de tejido de bovino por NaOCl (1%-2,5%) solo, y combinado con EDTA en diferentes proporciones (2:2 y 1:3), y se mostró que después de 48 horas solo el NaOCl puro, fue capaz de disolver completamente el tejido. (Rossi-Fedelle y cols., 2012)

La degradación y la consecuente inactivación del EDTA después de la interacción con NaOCl es extremadamente lenta, y, por lo tanto, no compromete su performance clínica como quelante con su efecto removedor de smear layer y ablandador de dentina (Grawher y cols., 2003;

Zehnder y cols., 2005). Este fenómeno ha sido estudiado con resonancia nuclear magnética, sin detectar reacción en los primeros 7 minutos, y el proceso no se completó después de 120 minutos. (Rossi-Fedelle y cols., 2012)

NaOCl no reduce la capacidad de quelar el calcio y remover smear layer del EDTA y Ácido Cítrico. (Grawher y cols., 2003, Zehnder y cols., 2005)

En otra investigación, se estudió quelación de calcio y remoción de smear layer de conductos radiculares después de irrigación in vitro. Dientes humanos uniradiculares fueron instrumentados y luego irrigados con una mezcla de agentes quelantes y NaOCl al 1% o agua en una proporción de 1:1. Después de la irrigación, la solución fue analizada en relación a su contenido de calcio, no se encontró una diferencia estadística significativa para EDTA o Ácido Cítrico entre las soluciones que contenían NaOCl o agua. Los dientes luego fueron cortados por la mitad y observados al MEB para ver presencia o ausencia de smear layer, no se encontraron diferencias en cuanto a la combinación de irrigantes descritas anteriormente. La incorporación de NaOCl al EDTA no altera su capacidad de descalcificar dentina humana, y esto se ha demostrado a través de estudios que evaluaron la microdureza Vickers después de agregar NaOCl o agua destilada al EDTA en una proporción de 1:1 y observándolo por 7 minutos. (Rossi-Fedelle y cols., 2012)

Los quelantes pueden disminuir la eficacia antimicrobiana del NaOCl, si los valores iniciales de oxígeno libre disponible son bajos, mientras que la acción de EDTA y Ácido Cítrico no parece ser comprometido, debido a su interacción con NaOCl. El efecto en la capacidad antimicrobiana de NaOCl y la interacción química que se produce con EDTA, se analizó usando test de difusión de Agar para *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* usando NaOCl al 0.5%, EDTA al 8,5%, y una mezcla de NaOCl al 1% y EDTA al 17% (1:1). (Grawher y cols., 2003)

NaOCl puro produjo zonas de inhibición menores en comparación con EDTA puro o mezcla de EDTA/NaOCl, y no hubo diferencias estadísticas significativas entre los grupos que contenían EDTA. (Grawher y cols., 2003)

Estrategia para prevenir esta interacción entre NaOCl es irrigar copiosamente con NaOCl, asegurándose que el intercambio de fluidos ocurra a todos los niveles del conducto para prevenir una estratificación de las soluciones a través del mismo, lo cual dará a lugar a diferentes mezclas de irrigantes a diferentes niveles dentro del conducto. Como alternativa, la aspiración y secado del conducto antes de la irrigación con el siguiente irrigante también puede ayudar. (Rossi-Fedelle y cols., 2012)

## EDTA

La solución quelante más común es el ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA), el cual reacciona con los iones de calcio de la dentina y forma quelatos de calcio soluble.

El EDTA se comenzó a utilizar en endodoncia durante 1957, los quelantes como el EDTA crean un complejo de calcio estable con el barro dentinario o Smear Layer, la capa de detritus y los depósitos cálcicos a lo largo de las paredes de los conductos. Eso puede ayudar a prevenir el bloqueo apical y lateral, y contribuir a la desinfección al mejorar la difusión de las soluciones a través de la eliminación de la capa de Smear Layer. (Cohen y Hargreaves, 2008)

El efecto de los quelantes sobre los conductos calcificados tortuosos y estrechos para establecer la permeabilidad depende de la amplitud del conducto y de la cantidad de sustancia activa disponible cuando continúa el proceso de desmineralización, hasta que todas las moléculas del quelante han formado complejos de calcio. La unión al calcio conduce a la liberación de protones, y el EDTA pierde eficacia en un medio ácido. Así pues, se cree que la acción del EDTA es auto limitada. El estudio demostró desmineralización hasta una profundidad de 50um en la dentina con soluciones de EDTA (Hülsmann y cols., 2003); sin embargo, algunos estudios han demostrado una erosión significativa después de la irrigación con EDTA (Torabinejad y cols., 2003)

Al comparar la inhibición del crecimiento bacteriano se demostró que el efecto antibacteriano del EDTA era más fuerte que el del ácido cítrico y el del NaOCl al 0,5%, pero más débil que el del NaOCl al 2,5% y el de la Clorhexidina al 0,2% El EDTA tuvo un efecto significativamente mejor que el de la solución salina; ejerce su máximo efecto cuando se usa de forma sinérgica con NaOCl, aunque no se pudo demostrar el efecto desinfectante sobre la dentina colonizada. (Cohen y Hargreaves, 2008,)

Estudios recientes han evidenciado que varias sustancias desinfectantes como el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , IKI y CHX son inhibidas por la presencia de dentina. Sin embargo, los análisis químicos indicaron que el cloro, la sustancia activa del NaOCl, es inactivado por el EDTA. (Cohen y Hargreaves, 2008).

Esto es sumamente relevante ya que el EDTA interactúa fuertemente con el hipoclorito de sodio, EDTA inmediatamente reduce el cloro disponible en la solución dejando el hipoclorito de sodio inefectivo contra las bacterias y el tejido necrótico. Por lo tanto, nunca se debería mezclar con hipoclorito durante la preparación biomecánica. Lo mismo ocurre con las preparaciones tipo pasta de EDTA, el efecto burbujeante o efervescencia que se realza en estos productos no es más que la prueba de una reacción química que se produce entre el hipoclorito y EDTA por una parte y con el peróxido de hidrógeno (si es que está presente en el producto quelante en pasta) por otro parte, dando como resultado la evaporación de gas. El Oxígeno se evapora de la mezcla entre peróxido e hipoclorito, y el cloro y oxígeno se evaporan de la correspondiente mezcla entre NaOCl con EDTA. (Zehnder, 2006)

Como se dijo anteriormente un gran número de factores pueden influenciar la eficiencia de los irrigantes en la remoción del smear layer, tales como, el tamaño del último instrumento utilizado en la zona apical, el tamaño de la aguja utilizada para la irrigación, el tiempo utilizado para irrigar y el volumen utilizado del irrigante (Mello y cols., 2010).

En la actualidad, existen opiniones diversas en relación al tiempo y volumen ideal de irrigación y para el EDTA. Sin embargo, incluso con la gran cantidad de investigaciones e información existente, no existe un protocolo de irrigación establecido. Existe desacuerdo, en el agente quelante ideal y el tiempo de uso. Por ejemplo, el tiempo que EDTA se mantienen en contacto con las paredes del conducto se ha reportado que varían desde 30 segundos a 10 min (Goldman y cols., 1981; Abbott y cols., 1991; Garberoglio y Becce, 1994; Lloyd y cols., 1995). (De-Deus y cols., 2006).

Sin embargo, recientemente se ha reportado que EDTA al 17% por un 1min seguido por NaOCl al 5% es capaz de eliminar completamente el Smear Layer. Por otra parte, la aplicación de EDTA por más de 1 min y con volúmenes superiores a 1ml. se ha descrito que están asociados con erosión dentinaria.

Cumpton y cols., 2005 mostró que el Smear Layer fue removido eficientemente usando 1ml de EDTA al 17% por 1 minuto seguido de 3ml de NaOCl al 5,25% como irrigación final. (Khedmat y Shokoubinejad, 2008)

A la luz de esos hechos, además del efecto no demostrado de los lubricantes que contienen EDTA sobre el torque de los instrumentos rotatorios, es probable que el uso de esas soluciones se deba limitar a la primera fase de la instrumentación manual durante la preparación. Además, la solución de EDTA se utiliza preferentemente al final del procedimiento para eliminar el barro dentinario o Smear Layer. Este efecto, junto con un volumen suficiente de NaOCl, proporciona una alta eficacia desinfectante al permitir que el NaOCl penetre incluso a mayor profundidad en las capas de dentina. (Cohen y Hargreaves, 2008)

En resumen, la irrigación es una etapa indispensable del tratamiento del conducto radicular para asegurar la desinfección. Las propiedades de desinfección y disolución de tejidos de NaOCl hacen que en la actualidad se considere el irrigante de elección. Se debe considerar el uso del EDTA al final del procedimiento para eliminar el barro dentinario, seguido por otro irrigante como NaOCl o una solución inerte, como solución salina fisiológica (NaCl). De ese modo se minimiza la inactivación del NaOCl por interacciones químicas. (Cohen y Hargreaves, 2008)

## Ultrasonido

La primera aplicación de energía ultrasónica al campo de la odontología, fue en la preparación de cavidades operatorias. Para su confección se utilizaba un taladro ultrasónico operando a una frecuencia de 29 KHz, usando como abrasivo óxido de aluminio, para efectuar el proceso de corte de los tejidos dentarios. (Walmsley, 1988)

Los dispositivos ultrasónicos han sido utilizados por mucho tiempo en periodoncia antes que Richman en 1957 introdujera el ultrasonido en endodoncia como un medio para debridar los conductos radiculares. Martin en el año 1976, diseñó una unidad ultrasónica comercialmente disponible para uso en endodoncia, para limpieza y desinfección del sistema de conductos, surgiendo la Endosónica o la terapéutica endodóntica con la utilización de dispositivos sónicos o ultrasónicos (Gu y cols., 2009).

Las ondas acústicas se producen por movimientos vibratorios de partículas, que poseen una amplitud y frecuencia. La frecuencia se mide Hertz o ciclos por segundo, clasificándose según esto en:

- **Ondas sónicas**

Energía sonora cuyas ondas acústicas se encuentran en el rango de audición humana, es decir, 16 Hz y 20 KHz

Los sistemas sónicos utilizan el paso de aire a presión, para hacer girar un rotor, produciendo de este modo vibraciones en el rango de 1-6 KHz.

El patrón de oscilación de las limas describe solamente un nodo y un antinodo ubicado este último en el extremo de la lima. (Briones y Guzmán, 1996 ). (Figura 9.)

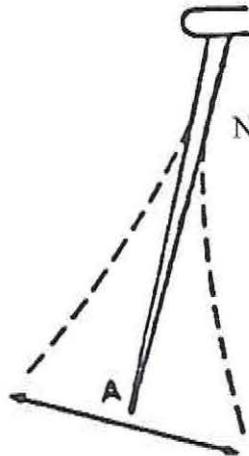


Figura 9. Esquema del movimiento transversal de una lima sónica. Se observa un Nodo (N) y un Antinodo (A) ubicado en el extremo de la lima. (Briones y Guzmán, 1996)

- **Ondas ultrasónicas**

Energía sonora cuyas ondas acústicas tienen una frecuencia por sobre el límite de audición humana (20 KHz.), correspondiendo a un amplio espectro de rangos de frecuencias que van desde los KHz. hasta los MHz. Para propósitos clínicos, el ultrasonido es generado por transducción convirtiendo energía eléctrica en ondas vibratorias ultrasónicas.

La vibración ultrasónica transmitida a la lima, produce en ella un patrón de oscilación transversal caracterizado por múltiples nodos y antinodos, siendo el de mayor amplitud, el antinodo ubicado en la punta de la lima. (Briones y Guzmán, 1996 ). (Figura 10.)

Las altas frecuencias de los MHz., son empleadas en medicina general, mientras que las del rango entre los 20-50 KHz. se utilizan en Odontología (Walmsley, 1987). (Briones y Guzmán, 1996 )

- **Ondas subsónicas**

Energía sonora cuyas ondas acústicas se encuentran bajo los 20 Hz., y por lo tanto no son perceptibles por el oído humano. (Briones y Guzmán, 1996 ).

Las propiedades del ultrasonido que presentan interés en el campo de la endodoncia son, la producción de movimiento oscilatorio del instrumento, la cavitación, la microcorriente acústica y la generación de calor; así como la combinación de estas propiedades con la irrigación, que genera un efecto sinérgico que potencia la acción biológica del irrigante dentro del conducto radicular.

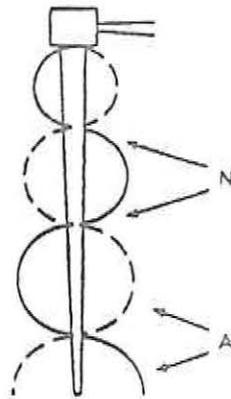


Figura 10.

Esquema de la oscilación ultrasónica de una lima, observando la formación de Nodos (N) y antinodos (A). (Briones y Guzmán, 1996)

En general estos dispositivos ultrasónicos pueden ser de dos tipos; magnetostrictivo o piezoeléctrico, aunque tienen un funcionamiento similar, el diseño piezoeléctrico tiene ventajas en comparación con los sistemas magnetostrictivos. Por ejemplo, generan poco calor; por lo tanto, no es necesaria la refrigeración del contra ángulo, además transfiere más energía a lima que el sistema magnetostrictivo, por lo que la convierte en más potente. (Cohen y Hargreaves 2008)

Con un dispositivo ultrasónico, la lima vibra de una forma ondulada sinusal. A lo largo de la ondulación existen áreas con desplazamiento máximo (antinodos) y zonas sin desplazamiento (nodos). La punta del instrumento se presenta un antinodo, si se aplica demasiada potencia, el instrumento se romperá a causa de una vibración intensa. Es por esta razón que las limas deben utilizar a una potencia adecuada y por un tiempo corto. (Plotino y cols., 2007)

Las limas activadas con ultrasonido tienen el potencial de preparar y debridar los conductos radiculares mecánicamente, cuando son llevadas a oscilar a frecuencias ultrasónicas de 25-30 kHz, lo cual está más allá de los límites del oído humano. Las limas funcionan en una vibración transversal, estableciendo un patrón característico de nodos y anti-nodos a largo de su longitud (Walmsley 1987, Walmsley & William 1989). Desafortunadamente, se ha demostrado que es difícil controlar el corte de dentina durante la preparación de los conductos con ultrasonido, resultando imposible controlar la forma de los conductos radiculares preparado, produciéndose perforaciones apicales y formas irregulares. (Stock, 1991, Lumbey y cols.,1992). Sin embargo, se ha demostrado que las limas activadas con ultrasonido son efectivas para complementar la irrigación de los conductos. (Van der Sluis y cols., 2007)

Con el tiempo se ha producido una evolución en el uso del ultrasonido en los conductos radiculares de una técnica primaria de instrumentación a una técnica pasiva de irrigación. (Munley y Goodell, 2007)

Se han descrito en la literatura dos tipos de irrigación ultrasónica:

El primer tipo consiste en que la irrigación es combinada con una instrumentación ultrasónica simultánea (**UI**). El segundo tipo consiste en una irrigación, sin instrumentación simultánea, llamada irrigación ultrasónica pasiva (**PUI**). (Gu y cols., 2009).

Durante **UI** la lima intencionalmente se pone en contacto con la pared del conducto radicular. **UI** ha mostrado ser menos efectivo en la remoción de tejido pulpar (simulado) del sistema de conductos o smear layer de la pared del conducto radicular en comparación con **PUI** (Weller y cols., 1980; Ahmad y cols., 1987). Esto puede ser explicado porque se produce una reducción de la microcorriente acústica y cavitación (Ahmad y cols., 1987). Como la anatomía del conducto radicular es compleja (Peters, 2004) los instrumentos nunca contactarán con la pared del conducto radicular en toda su extensión (Wu y cols., 2003). En consecuencia, **UI** podría resultar en cortes sin control sobre la pared del conducto, produciendo perforaciones y formas altamente irregulares de los conductos radiculares sin una limpieza del conducto efectiva. (Van der Sluis y cols., 2007)

El término irrigación pasiva ultrasónica (**PUI**) fue usado por primera vez por Weller y cols., 1980 para describir un escenario de irrigación en donde no había instrumentación, ni contacto de ningún

tipo entre las paredes del conducto y las limas endodónticas o instrumentos en general. (Gu y cols., 2009)

El término “pasivo” no describe adecuadamente el proceso, siendo de hecho activo; sin embargo, el término pasivo se introdujo relacionado con la acción no cortante de las limas activadas con ultrasonido. **PUI** se basa en la transmisión de energía acústica de una lima oscilante o alambre liso a un irrigante en el conducto radicular, La energía se transmite por medio de ondas ultrasónicas, produciendo dos fuerzas biofísicas importantes, **cavitación y microcorriente acústica**. (Ahmad y cols., 1987 a, b; Ahmad y cols., 1988; Lumbey y cols., 1991; Ahmad y cols., 1992; Roy y cols., 1994). (Van der Sluis y cols., 2007)

Estas fuerzas biofísicas producen un desprendimiento del material que está unido a la pared del conducto, a distancias lejos de la lima activada con ultrasonido y están relacionadas con la amplitud de oscilación de la lima. (Lea y cols., 2010)

### Mecanismo de acción

- Microcorriente acústica

El fenómeno físico de **microcorriente acústica o flujo acústico** (como lo traduce Cohen en Vías de la pulpa) es la creación de un movimiento pequeño, circular e intenso del fluido (es decir, flujo parásito o remolino) alrededor de los instrumentos. Los remolinos ocurren más cerca de la punta que en el extremo coronal de la lima, con un flujo de dirección apical en la punta. (Cohen y Hargreaves, 2008)

Según Nyborg, se denomina Microcorriente acústica, a un complejo patrón de corrientes no oscilatorias, formadas cerca de un alambre o lima que oscila con una amplitud de deslizamiento relativamente baja, inmerso en un líquido. El patrón característico de estos flujos de líquidos es mostrado diagramáticamente en la Figura 11 y consiste en remolinos internos y externos. La dimensión de los remolinos internos, es aproximadamente 4 $\mu$ m en agua, cuando la frecuencia ultrasónica es de 20 KHz. (Walmsley, 1987) (Figura 11)

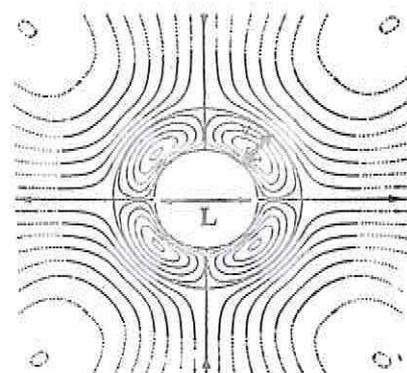


Figura 11  
Esquema de sección transversal de una lima (L) generando un campo de microcorrientes acústicas, donde se aprecian los remolinos internos o vórtices (V). (Briones y Guzmán, 1996)

La oscilación de una lima endosónica produce campos de corrientes acústicas en toda su extensión, generando un gran stress de corte alrededor de los puntos de máximo desplazamiento, tales como la punta de la lima y los antinodos en toda su longitud (Williams, 1983) (Briones y Guzmán, 1996). Estos campos de corrientes, son responsables de muchos de los efectos benéficos atribuidos al ultrasonido, y tendrían un importante rol en el movimiento del irrigante en el interior del conducto. (Walmsley, 1987)

Ahmad y cols. (1987b) describen dos componentes en un campo de corrientes acústicas alrededor de una lima (Briones y Guzmán, 1996).

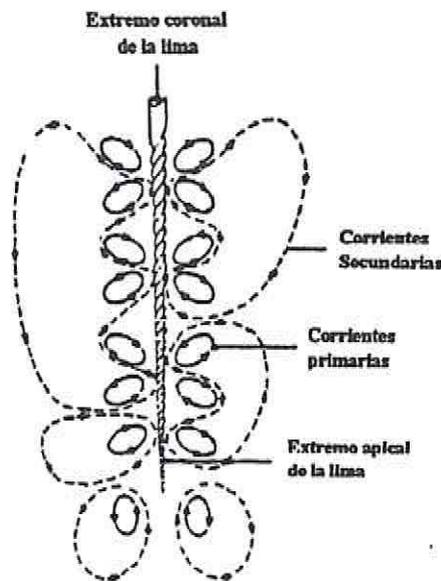


Figura 12.

Figura esquemática de los componentes de un campo de microcorrientes acústicas, que se forman alrededor de una lima

Una corriente PRIMARIA, con movimientos turbulentos en los cuales el elemento fluido oscila cerca de la porción media de la lima. Posee una dirección de rotación del irrigante opuesta al remolino que está al lado (Figura 12)

Corriente SECUNDARIA, con patrones relativamente lentos, y flujos longitudinales simétricos a cada lado de la lima. El fluido es transportado del extremo apical al coronal. (Figura 12)

Además, se observa un rápido remolino a nivel de la punta de la lima, mientras que en el extremo coronal el flujo es relativamente lento.

La velocidad de las microcorrientes acústicas depende de la ubicación de éstas a lo largo de la lima, el tamaño de ésta y su frecuencia de oscilación (Figura 12) (Briones y Guzmán, 1996)

Ahmad, Pittford y Crum (1987), realizaron observaciones de la microcorriente acústica producida por una lima activada por ultrasonido. Observaron que el líquido alrededor de la lima fue transportado de la punta hacia el extremo coronal de ésta, así como la formación de un patrón oscilatorio irregular de movimientos en remolino, que parecían concentrarse en la mitad apical de la lima. Mientras un movimiento en remolino más rápido ocurría en la punta de la lima que en el segmento coronal, el flujo del líquido en la punta era menor (Plotino y cols., 2007)

Laukhuf y cols., (2000), observaron que las microcorrientes acústicas generadas por los dispositivos sónicos tenían más velocidad y mayores fuerzas vibratorias hidrodinámicas que las generadas por los dispositivos ultrasónicos, lo cual, correlacionaron con el patrón de vibración característico de los sistemas sónicos, que permiten una mayor amplitud de desplazamiento en la punta del instrumento, debido al patrón de oscilación de la lima. (Plotino y cols., 2007).

El flujo acústico o microcorriente acústica aumenta el efecto de limpieza de los irrigantes en el espacio pulpar a través de fuerzas hidrodinámicas. La amplitud aumentada que ocurre con los tamaños menores de lima potencia el flujo acústico. Se ha demostrado que este fenómeno tiene gran valor para la limpieza de los conductos radiculares puesto que las soluciones de irrigación convencionales no penetran bien en los espacios pequeños. (Cohen y Hargreaves, 2008)

- **Cavitación.**

El otro fenómeno biofísico que ocurre es la **cavitación**, el cual se produce porque durante la oscilación en un fluido, una presión positiva es seguida de una presión negativa en el fluido. Si durante esta oscilación de gradientes de presión se supera la resistencia a la tensión del fluido, se forma una cavidad a lo largo de la fase negativa. En la siguiente fase de presión positiva, la cavidad implosiona con gran fuerza, este fenómeno se conoce como cavitación. La potencia de las unidades ultrasónicas odontológicas es demasiado baja en condiciones clínicas normales para crear efectos de cavitación significativos en las paredes de dentina. (Cohen y Hargreaves, 2008)

Durante la aplicación de una lima ultrasónica dentro del conducto radicular, el irrigante va a circular por todo alrededor de la lima, debido a que las ondas acústicas van a impulsar a la solución, a circular en todas las dimensiones del sistema de conductos. Este flujo de irrigante acompañado por el movimiento oscilatorio de la lima, va a permitir la generación del efecto de cavitación, resultando en la limpieza y el desalojo de los detritos de la superficie de las paredes del conducto.

La cavitación produce la remoción efectiva de todo residuo orgánico, emulsión y degradación de las proteínas necróticas remanentes y crea un efecto de succión del material orgánico suspendido en el irrigante hacia la corriente principal del movimiento de irrigación permitiendo así su desalojo. (Plotino y cols., 2007)

Según Nyborg y Williams, citados por Walmsley, en 1987, de acuerdo a la frecuencia de oscilación de la energía acústica, la cavitación puede variar de una forma estable, donde las burbujas vibran

sin fragmentarse, hasta una forma transitoria, donde existe una rápida formación y colapso de las burbujas generando calor y campos vibratorios hidrodinámicos. Estos campos pueden ocasionar una ruptura electrolítica de la molécula de agua, generando radicales libres (H y OH) que podrían producir productos intermedios como el peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que podrían resultar en un riesgo biológico al reaccionar con los tejidos vivos, así como también producir algún efecto antimicrobiano. (Plotino y cols., 2007)

La combinación del efecto del ultrasonido con el líquido irrigante va a producir que las ondas de choque producidas por el fenómeno de cavitación, viajen a través del líquido, pero no tienen la capacidad de remover la capa de desecho dentinario de las paredes del conducto radicular por sí misma. La energía ultrasónica potencia la acción biológica de la solución irrigante e incrementa su efecto de limpieza sobre las paredes del conducto radicular. (Plotino y cols., 2007)

Ahmad, Pittford y Crum, 1987, realizaron un estudio *in Vitro* por medio de un análisis fotométrico para evaluar el comportamiento del sistema ultrasónico Cavi-Endo (Caulk, Dentsply, York, PA). En dicho estudio no obtuvieron evidencias de la formación de cavitación transitoria, de lo cual concluyeron que el sistema ultrasónico estudiado, aparentemente fallaba en generar la energía ultrasónica suficiente para resultar en la adecuada amplitud de presión acústica para inducir la cavitación. (Plotino y cols., 2007)

El contacto de la lima ultrasónica con las paredes del conducto radicular va a reducir el efecto de cavitación, debido a que el posible contacto de la pared, impide el movimiento de oscilación de la lima y disminuye la amplitud del movimiento oscilatorio, reduciendo la cavitación (Walmsley y Williams 1989).

Resultados preliminares de la medición de la actividad cavitacional que ocurre al alrededor de la lima endosónica, han sugerido que la cavitación transitoria es pequeña o simplemente no ocurre (Lair y Walmsley, 1991) (Briones y Guzmán, 1996), la razón de esto sería, que el nivel de energía utilizado, está lejos del rango al cual ocurre cavitación.

- **Generación de calor**

La generación de calor es otra de las propiedades físicas que produce la aplicación de ultrasonido dentro del conducto radicular. La generación de calor y el consiguiente aumento de la temperatura resulta como producto de la energía liberada durante el efecto de cavitación, debido a la implosión de las microburbujas de gas, o también puede producirse por la fricción generada por el contacto de la lima oscilatoria con las paredes del conducto radicular. (Walmsley y Williams, 1989).

El aumento de la temperatura potencia la acción biológica del hipoclorito de sodio. Cunningham y Balekjian (1980), observaron que el aumento de la temperatura a soluciones de hipoclorito de sodio, de una concentración de 2.6%, potenciaba su capacidad de disolver tejidos orgánicos, igualando la capacidad de soluciones, de concentración de 5.0%, utilizadas a temperatura ambiente. (Plotino y cols., 2007)

## Mecanismo de acción de PUI

Después que el conducto ha sido conformado o modelado hasta la lima maestra (independiente de la técnica de preparación utilizada), una lima o alambre liso pequeño (por ejemplo, tamaño #15) es introducido en el centro del conducto, hasta la región apical. Entonces el conducto es llenado con una solución irrigante y la lima con la oscilación ultrasónica activa el irrigante. Como el conducto ya ha sido conformado, la lima o el alambre pueden moverse libremente y el irrigante puede penetrar con mayor facilidad en la zona apical del sistema de conductos (Krell y cols., 1988) y el efecto de limpieza será más intenso (Ahmad y cols., 1987 a, b, 1988, 1992, Lumley y cols., 1991, Roy y cols., 1994). Usando esta metodología no cortante, el potencial de crear formas aberrantes dentro el conducto se reducirá al mínimo. (Van der Sluis y cols., 2007)

Para maximizar los efectos de las microcorrientes acústicas, se deben usar limas pequeñas (#15) dentro del espacio del conducto. Ahmad y cols., 1987 demostró que las limas más pequeñas generaban mayor microcorriente acústica. Una lima más grande que una #15 o #20 sólo oscilará libremente en un conducto ancho, una lima #25 puede, de hecho, producir menos corriente acústica que una lima #15 o #20 (Ahmad y cols., 1987b). En consecuencia, usar una lima más grande que un tamaño #20 puede ser considerado fundamentalmente diferente de los principios básicos de **PUI**. (Van der Sluis y cols., 2007)

El mejor efecto se obtiene cuando la lima o alambre es de diámetro pequeño, la amplitud de desplazamiento es grande y la frecuencia es alta. El diámetro del conducto preparado es importante, porque puede influir en la amplitud de desplazamiento. (Van der Sluis y cols., 2005)

Dependiendo del tamaño y la potencia de la punta de la lima, la vibración puede tener una amplitud de 20 a 140 mm, lo que requiere un tamaño del conducto correspondiente a una lima ISO #30 o #40 para permitir la oscilación libre. (Cohen y Hargreaves, 2008)

La aplicación del irrigante durante **PUI** puede ser de dos maneras; una es la descarga constante de irrigante (**DCI**) desde la pieza de mano del ultrasonido o puede ser una descarga intermitente del irrigante (**DII**) usando una jeringa para transportarlo a la región apical del conducto y se debe reponer después de cada activación con ultrasonido. Ambos métodos de descarga del irrigante fueron igualmente efectivos en la remoción de detritus de dentina del conducto cuando el tiempo de irrigación fue de 3 minutos de acuerdo al estudio realizado por Van der Sluis y cols., en 2006. (Van der Sluis y cols., 2007)

Sin embargo, en un estudio publicado 2009 por el mismo autor, al comparar los dos métodos de descarga, continua e intermitente, concluyó, que un minuto de **PUI** combinado con descarga intermitente es igual de efectivo en la remoción de detritus de dentina de zona apical que **PUI** combinado con descarga continua por 3 minutos. (Van der Sluis y cols., 2007)

Otro factor a tener en cuenta es el tiempo de irrigación, aunque la influencia del tiempo de irrigación en la eficacia de **PUI** no está clara. Un estudio afirmó que hubo un aumento de remoción de Smear Layer después de 5 min de **PUI** en contraposición con 3 min. (Cameron, 1983). En el estudio de Sabins., y cols., 2003, no hubo diferencias significativas entre 30 segundos y 60

segundos de PUI en la remoción de detritus del conducto. En su estudio, en lugar de un flujo continuo de NaOCl durante PUI, el NaOCl fue inyectado en el conducto radicular con una jeringa y no fue reemplazado durante la activación ultrasónica de NaOCl. (Van der Sluis y cols., 2007)

Por otra parte, en unos estudios de Gutarts y cols., 2005 y Burleson y cols., 2007, se demostró que 1 minuto de irrigación ultrasónica continua produjo conductos e istmos significativamente más limpios en dientes vitales y necróticos, utilizando como dispositivo de irrigación un adaptador para sostener una aguja creado por Nussein, en 2005, en este dispositivo se utilizó una aguja de 25 gauge para la activación ultrasónica y simultáneamente se iba introduciendo a través de ella el irrigante. (Gu y cols., 2009,)

La eficacia de la limpieza de PUI implica la eliminación efectiva de los restos de dentina, microorganismos (planctónico o en biofilm) y tejido orgánico del conducto radicular. Debido a la transmisión activa del irrigante su potencial de contacto con una superficie mayor de la pared del conducto se verá aumentado. (Van der Sluis y cols., 2007).

## **Irrigación Sónica**

Tronstad y cols., en 1985 fueron los primeros en reportar el uso de instrumentos sónicos para endodoncia .

La irrigación sónica es diferente de la irrigación ultrasónica, en la sónica se opera a una frecuencia más baja (1-6 KHz) y producen stress de corte o cizallamiento más bajo ( Ahmad y cols., 1987). La energía sónica también genera un movimiento de amplitud significativamente mayor o un mayor movimiento hacia adelante y atrás de la punta de los instrumentos. (Gu y cols., 2009)

Por otra parte, los patrones de oscilación de los dispositivos sónicos son diferentes en comparación con los instrumentos accionados con ultrasonido. Una oscilación mínima de la amplitud se puede considerar un nodo, mientras una máxima oscilación de la amplitud representa un antinodo. Ellos tienen un nodo cerca de donde se fija la lima y un antinodo en la punta de la lima. (Walmsley y cols., 1989) . (Gu y cols., 2009)

Cuando el movimiento de la lima sónica es contenido o restringido, la oscilación lateral desaparece. Esto resulta en una oscilación puramente longitudinal de la lima. Este modo de vibración ha mostrado ser particularmente eficiente en debridar el sistema de conductos, ya que no se ve afectada por la carga y exhibe grandes amplitudes de desplazamiento (Walmsley y cols., 1989) (Gu y cols., 2009)

## **Efecto de la irrigación sónica**

La activación sónica ha mostrado ser un método efectivo para la desinfección del sistema de conductos radiculares , Sabins y cols., 2003 y Stamos y cols., 1987 declararon que los poderosos sistemas ultrasónicos removieron más detritus de dentina del conducto radicular que los menos poderosos sistemas de irrigación sónicos. La relación positiva entre velocidad de la corriente

acústica y frecuencia podría explicar la eficiencia superior de los sistemas ultrasónicos sobre los sistemas sónicos. (Gu y cols., 2009)

En contraste con esos hallazgos, Jensen y cols., 1999 no encontraron diferencias significativas en relación a presencia de detritus residuales entre estas 2 técnicas de agitación endosónica. Sin embargo la pre- conformación de las paredes del conducto no fue mencionada en el estudio de Jensen y cols., lo cual podría haber influido en sus resultados. Otra posibilidad que el tiempo para la irrigación sónica se estableció en 3 minutos en el estudio de Jensen , el cual es superior a los 30 o 60 segundos usados en los estudios de Sabins y cols., y Stamos y cols. Por lo tanto, es razonable asumir que cuando se aplica irrigación sónica por un período de tiempo superior o mayor, probablemente no habrá diferencias en relación a los restos remanentes entre estas 2 técnicas de agitación endosónica. Esta hipótesis debe ser probada en futuros trabajos. (Gu y cols., 2009)

Convencionalmente, la irrigación sónica se realiza usando limas Rispisonic unidas a una pieza de mano sónica MM 1500 (Medidenta International, Inc, Woodside, NY) después de la conformación del sistema de conductos. Las limas Rispisonic tienen un taper no uniforme que aumenta con los tamaños de lima. Debido a que son barbados, estas limas podrían inadvertidamente enganchar las paredes del conducto y dañar la preparación terminada durante la agitación del irrigante. El sistema EndoActivator (Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK) es el sistema de irrigación sónico más recientemente introducido en el mercado (Gu y cols., 2009)

### **Sistema EndoActivator**

El sistema EndoActivator ®(Dentsply Tulsa Dental Specialties) está compuesto por una pieza de mano y por varias puntas de polímero de distintos tamaños. Este sistema sónicamente impulsado fue diseñado para activar de forma segura varios reactivos dentro del sistema de conductos y producir vigorosamente el fenómeno hidrodinámico. Es importante decir, que la activación sónica ha mostrado ser un método efectivo para mejorar la desinfección del sistema de conductos (Walmsley y cols., 1989; Pitt, 2005; Jensen y cols., 1999). (Ruddle, 2008)

Con esta tecnología se pretende proveer de un método más seguro, mejor y más rápido para desinfectar el sistema de conductos al compararlo con los otros sistemas actualmente disponibles. Las investigaciones han demostrado y muestran que el sistema EndoActivator® es capaz de debridar en lo profundo de la anatomía lateral, remueve el smear layer, y desprende cúmulos de biofilm simulado dentro de conductos curvos de molares, según estudios de Caron, 2007; Gulavila, 2006. (Ruddle, 2008)

En un conducto bien instrumentado, la eficacia clínica de EndoActivator se aprecia inmediatamente. Durante el uso la acción de la punta el EndoActivator frecuentemente produce una nube de desechos que pueden observados dentro la cámara pulpar llena de fluido. La función primaria de EndoActivator es la agitación vigorosa del fluido dentro del conducto mediante o a través a microcorriente acústica . Esta activación hidrodinámica sirve para mejorar la penetración, circulación y flujo del irrigante en las regiones más inaccesibles del sistema de conductos. (Guerisoli y cols., 2002).

La limpieza del sistema de conductos proporciona una apertura para una obturación tridimensional y éxito a largo plazo.

Investigaciones han mostrado que la agitación de una solución es un método para remover más efectivamente hidróxido de calcio desde surcos o hendiduras experimentales dentro de conductos preparados. (van der Sluis y cols., 2007).

Una investigación preliminar muestra que la utilización de EndoActivator® con puntas de polímero, es un método seguro y efectivo para adaptar y remover hidróxido de calcio desde un conducto instrumentado o conformado. Además esta tecnología se puede utilizar, en conductos rectos o conductos mas curvos, para llevar o colocar MTA® (MTA, Dentsply Tulsa Dental Specialties) en dientes inmaduros con conductos con formación incompleta, o en perforaciones patológicas o defectos iatrogénicos. En situaciones de retratamientos, ensayos clínicos han mostrado que el EndoActivator® sirve para romper y remover remanentes de material de obturación previamente utilizados. (Ruddle, 2008)

### **Pieza de mano sónica**

La pieza de mano es inalámbrico, contra angulada y ergonómica (Figura 13). La pieza de mano funciona al oprimir el o interruptor de encendido/apagado con lo cual se activan las puntas de polímero que son fuertes y flexibles. El motor de la pieza de mano provee de 3 velocidades, 10.000, 6.000 y 2.000 ciclos por minuto (cpm). Cuando la pieza de mano se activa, el valor de energía por defecto es 10.000 cpm, lo cual según investigaciones ha mostrado ser la velocidad recomendada para maximizar el debridamiento y ruptura del smear layer y el biofilm. (Caron, 2007; Gulavila, 2006).

Las otras velocidades más bajas son seleccionadas basándonos en diferentes aplicaciones clínicas y la velocidad necesaria para realizar esas tareas.



Figura 13.  
Imagen de pieza de mano del sistema sónico EndoActivator®

## Puntas de EndoActivator

Las puntas del EndoActivator tienen un diseño que permite fácilmente engancharlas y soltarlas, también tienen un código de color amarillo, rojo y azul, que corresponde a un tamaño pequeño, mediano y grande respectivamente (Figura 14). Específicamente las puntas codificadas por color, amarillo, rojo y azul corresponden en forma cercana a la nomenclatura de las limas, 20/02, 25/04, y 30/06, respectivamente. Las puntas son fabricadas con un polímero de calidad médica, resistente y flexible y miden 22mm de largo. Las puntas de polímero no cortan dentina, y por lo tanto, no se producirán escalones, transportación apical o perforación radicular. (Ruddle, 2008)



Figura 14.  
Imagen esquemática de las puntas de polímero,  
relacionando colores, diámetros y taper

Cada punta tiene anillos indicadores de longitud posicionados a 18, 19 y 20mm. Estas puntas son desechables, es un dispositivo de un solo uso, el cual no se debe esterilizar en autoclave. En los casos que sean necesarios se puede, usando un alicate de ortodoncia, hacer una curva suave en cualquiera de las puntas para facilitar su colocación, también, se puede cortar la extensión apical de cualquier punta, y acortar la longitud total, para facilitar la colocación o posicionamiento y tratamiento propiamente tal. (Ruddle, 2008)

Una posible desventaja de la punta de polímero usado en el EndoActivator® es que son radiolúcidas. A pesar, que estas puntas fueron diseñadas para ser desechables y no se rompen fácilmente durante el uso, podría ser difícil de identificar si una parte de la punta se fractura dentro del conducto. Probablemente estas puntas podrían ser mejoradas incorporando un radiopacificador en el polímero. (Gu y cols., 2009)

## **Selección de la punta**

En conductos totalmente preparados, se selecciona una punta que penetre holgadamente en el conducto radicular y a 2mm de la longitud de trabajo. Una punta suelta se moverá libremente, mejorando la irrigación dinámica (Ahmad y cols., 1987). Un conducto con una preparación insuficiente o la selección de una punta que es demasiado grande restringirá el movimiento de la punta lo que a su vez limitará su capacidad para agitar la solución irrigante. (Ruddle, 2008)

Investigaciones han mostrado que con solo mover un cono de gutapercha cónico o punta de polímero de arriba hacia abajo en cortos movimientos verticales de 2-3mm en una preparación cónica produce un sorpresivo efecto hidrodinámico, según Caron, 2002 y Machtou, 1980. (Ruddle, 2008)

Cuando la punta seleccionada se mueve a través de la longitud de trabajo completa, entonces su forma se aproxima más a la forma del conducto preparado. Esto, a su vez, sirve para desplazar cualquier reactivo lateralmente, al tiempo que permite el reflujo del irrigante coronalmente en forma segura. La vibración de la punta en combinación con el movimiento corto vertical de arriba y abajo, sinérgicamente produce un poderoso fenómeno hidrodinámico. En general, se ha mostrado que 10.000 cpm optimiza el debridamiento y promueve la ruptura del smear layer y biofilm. (Caron, 2007; Gulavila, 2006).

## **Protocolo clínico**

Conductos bien conformados y completamente cónicos contienen un efectivo reservorio de irrigante que, cuando se activan, pueden potencialmente circular, penetrar, y disolver tejido, y además sirve para desprender detritus de todos los espacios del sistema de conductos. Aunque esta turbulencia es una observación excitante, se han requerido investigaciones científicas para entender el grado o medida de este fenómeno dentro de un conducto bien preparado. Como tal, para apreciar mejor el fenómeno hidrodinámico bajo el orificio de entrada del conducto, varios estudios científicos, Ahmad y cols, 1987a y 1987b; Van der Sluis y cols., 2007 se han realizado para visualizar los resultados de la cavitación, flujo acústico así como también, el flujo primario y secundario dentro del sistema de conductos. (Ruddle, 2008)

El grupo del Dr. Machtou, en dos diferentes estudios, han demostrado los beneficios del EndoActivator, para debridar tejido y remover smear layer ( Caron, 2007). En un estudio preliminar, Gulabivala mostró que el EndoActivator® remueve biofilm artificial en dientes extraídos. Además, él ha mostrado que los fenómenos hidrodinámicos están en función de la forma del conducto, el tamaño de la punta seleccionada, el tiempo de activación, el volumen de irrigante, el movimiento realizado con la punta del EndoActivator y la temperatura del irrigante. (Gulavila, 2006)

### **Protocolo recomendado**

Después de la preparación del conducto radicular, irrigar y enjuagar el conducto radicular con una solución de NaOCl a máxima concentración, luego aspirar para eliminar el irrigante. Luego inundar conductos y cámara pulpar con una solución de EDTA al 17% y usar el EndoActivator para agitar la solución dentro del conducto por 60 segundos.

La agitación de un irrigante sirve para mover los debris o residuos en la solución, y como tal, requiere de una voluminosa irrigación y succión para eliminar estos residuos sueltos. Este proceso debe repetirse en cada conducto hasta que el fluido en la cámara pulpar aparezca limpio o transparente. Después del uso de EDTA al 17%, aspirar y remover esta solución. Irrigar con una solución de NaOCl con concentración máxima y utilizar el EndoActivator® para agitar esta solución dentro del conducto por 30 segundos.

Como es lógico, una limpieza profunda del conducto mejora el potencial de una obturación radicular completa o tridimensional y un éxito a largo plazo.

Basado en la revisión bibliográfica, este trabajo de investigación busca responder a la siguiente pregunta de investigación:

**Activación Sónica (EndoActivator®) obtiene resultados diferentes al compararlo con ultrasonido y técnica convecional, en relación a la eficiencia en la remoción del Smear Layer en el tercio apical?**

## HIPÓTESIS

Conductos radiculares irrigados con protocolo final de irrigación NaOCL al 2.5%+EDTA al 17% activado con dispositivo Sónico (EndoActivator®), obtienen resultados diferentes en la remoción de Smear Layer en comparación con protocolos de irrigación final activado con ultrasonido y sin activación en el tercio apical.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### Objetivo General

- Comparar, *in vitro*, la efectividad de EndoActivator (Sónico) con otros dos protocolos de irrigación final en la remoción del smear layer en el tercio apical de conductos radiculares rectos.

### Objetivos Específicos

- Determinar cualitativamente cuál técnica de irrigación final es más eficiente en la remoción de smear layer.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El siguiente estudio, de tipo **experimental e *in vitro***, consistió en comparar la eficiencia en la remoción del Smear layer de tres protocolos de irrigación final, luego de realizar la preparación quimio-mecánica con el sistema rotatorio Protaper® hasta F5. (Dentsplay-Maillefer).

- NaOCl al 2.5%+EDTA al 17%, sin activación
- Activado con Ultrasonido
- Activado con EndoActivator® (Sónico) (Dentsplay-Maillefer)

Para realizar la investigación se definieron dos variables:

1. Variable dependiente (explicada): Grado de remoción de Smear Layer en tercio apical a 3mm del ápice . Cualitativa ordinal .
2. Variable independiente (explicatoria): Protocolos de irrigación final utilizada. Cualitativa nominal

La muestra se obtuvo de un universo de dientes humanos, anteriores y premolares, superiores e inferiores, obtenidos por indicación de exodoncia entre los meses junio y noviembre del 2012, donados por los pacientes del Servicio de Especialidades Odontológicas del Hospital Antonio Tirado Lanas, en Ovalle-Chile.

Previamente los pacientes fueron informados y consultados si querían donar el diente extraído, para ser parte de la investigación, para esto se les entregó un consentimiento informado, que fue debidamente leído, firmado y archivado.

### Tamaño muestral

Para el cálculo de tamaño de la muestra a investigar, se tomó como referencia una tasa de éxito de la técnica sónica de un 70%, es decir, obtención de Score 1 o 2 ( Caron y cols., 2010) , considerándose como mínimo clínicamente relevante, una diferencia de un 22% entre las técnicas. Así, con una prueba de log-verosimilitud para modelos logísticos, considerando una confianza de 95% y una potencia del 80% se obtienen 11 unidades muestrales por grupo.

La muestra se conformó con 38 dientes anteriores y premolares superiores e inferiores humanos extraídos y seleccionados según los siguientes criterios de inclusión.

### Criterios de Inclusión

- Dientes unirradiculados y con un conducto
- Apicoformación completa
- Conductos aparentemente rectos.

### **Criterios de Exclusión**

- Dientes con rizálisis.
- Calcificaciones u otras lesiones, detectadas al exámen clínico y radiográfico
- Dientes que ya han sido tratados endodónticamente.
- Dientes muy largos o muy cortos.
- Dientes con fracturas radiculares

### **Etapas Experimental**

#### Protocolo Operatorio

1. Se realizó el corte de las coronas clínicas de los dientes con un motor Dremel y discos de diamante montados en un porta disco para pieza de mano, para que todos los dientes de la muestra tengan la misma longitud 16mm y de esta manera facilitar las etapas siguientes del experimento. (Figura 15)
2. Con una lima K # 10 o 15 (K-File 25mm Maillefer Dentsply, Stgo-Chile) se llevó a cabo la permeabilización de los conductos hasta visualizar en el ápice el extremo de la lima, se registró dicha medida y se le restó 1 mm, corroborándose de este modo la longitud de trabajo (LRD- 1mm).
3. Se realizó un control radiográfico de todos los dientes para verificar que los conductos sean rectos, únicos y para descartar rizálisis u otras lesiones. Para esto se numeraron los dientes correlativamente (1-38) y se montaron en un rectángulo de Plumavit sobre el cual se fijaron las raíces y se tomaron las radiografías en sentido mesio-distal de a dos raíces por película radiográfica. (Película periapical Kodak-Eastman Kodak Company, NY).
4. Para prevenir que las soluciones irrigantes se extruyan a través del foramen apical durante la preparación biomecánica, se posicionó una pequeña cantidad de cera rosada en la punta de cada raíz (Wax). (Figura 16)



Figura 15. Diente de la muestra, marcado a 16mm para proceder al corte de la corona clínica



Figura 16. Diente de la muestra, cortado a 16mm, permeabilizado y con cera en la punta de la raíz.

- Los dientes de la muestra fueron instrumentados utilizando el sistema rotatorio ProTaper® hasta F5 (*Dentsply – Maillefer, Ballaigues, Switzerland*), según lo indica el fabricante. Para esto se utilizó un micromotor endodóntico X-Smart® (*Dentsply – Maillefer, Ballaigues, Switzerland*) con reducción de velocidad y control de torque. (Figura 17).

Cada set de limas ProTaper® fue descartado después de su uso en 5 dientes de la muestra.

- Se utilizaron jeringas desechables de 5ml con agujas Hawe Irrigation Probe® (Kerr, Poland) de calibre 30 G, calibradas a longitud de trabajo menos 1mm. Se irrigó con 1ml de hipoclorito de sodio al 2,5% entre cada instrumento hasta finalizar la Preparación bio-mecánica (PBM). (Figura 18.)



Fig. 17. Campo operatorio, previa a realizar preparación bio-mecánica (PBM) de las muestras



Fig. 17. Preparación bio-mecánica, con sistema ProTaper®



Figura 18. Irrigación con agujas Hawe Irrigation Probe® durante PBM

6. Después de finalizar PBM y mediante asignación aleatoria se conformaron 4 grupos de estudio: Grupo Control, Grupo Convencional, Grupo Ultrasónico y Grupo Sónico (EndoActivator®)

**Los protocolos de irrigación para cada grupo fueron los siguiente**

- **Grupo Control: 5 dientes.**

Como irrigación final 3 ml de suero

- **Grupo Convencional (sin Activación): 11 dientes.** (Figura 19)

Como Protocolo de irrigación final, 3ml de hipoclorito de sodio al 2.5%, seguido de 3ml de EDTA al 17% dejándolo actuar por 1 minuto y para finalizar se irrigó con 3ml de suero. (Shehab y Ahmed, 2011)

- **Grupo Ultrasónico (PUI): 11 dientes** (Figura 20)

Como protocolo irrigación final se activaron con Ultrasonido 3ml de hipoclorito de sodio al 2,5% por 1 minuto, luego se activaron 3 ml de EDTA al 17% líquido por 1 minuto con ultrasonido, mediante un instrumento no cortante, espaciador digital Spreaders #2 taper 20 (Dentsply – Maillefer, Ballaigues, Switzerland), al cual se le retiró el mango de plástico amarillo y mediante un adaptador para limas manuales se conectó a el equipo de ultrasonido. Se utilizó un equipo de ultrasonido Scaler Piezo Ultrasonico UDS-P® (Woodpecker, China) (Fig. 21) a potencia 3 recomendada en la literatura para irrigación pasiva ultrasónica (PUI), para finalizar se irrigó con 3 ml de suero fisiológico. (Shehab y Ahmed, 2011)

- **Grupo Sónico (EndoActivator®): 11 dientes** (Figura 22)

Como protocolo irrigación final cada conducto fue irrigado con 3ml de hipoclorito de sodio al 2.5% activando con EndoActivator® (Sónico) la solución por 30 segundos, realizando un movimiento de arriba a abajo vertical 2-3mm, luego se irrigó con 3 ml de EDTA al 17%

y se activó por 1 minuto con EndoActivator utilizando la punta de polímero color azul 2mm de LT, a una velocidad de 10kHz segundos. Para finalizar se neutralizó con 3ml de suero fisiológico. (Lea y cols., 2010)



Figura 19. Campo operatorio previa a protocolo de irrigación final Grupo Convencional.



Figura 20. Activación con ultrasonido del irrigante



Figura 21. Scaler Piezo Ultrasónico UDS-P® (Woodpecker, China)



Figura 22. Pieza de mano EndoActivator® para irrigación final con activación sónica

7. Luego de finalizar la preparación Bio-Mecánica y la irrigación final establecida, según el protocolo asignado a cada grupo, se secaron los conductos con conos de papel y la entrada de los conductos se sellaron con un cemento temporal Cavit ®. (3M, ESPE).

Esta primera etapa del experimento se realizó en el Servicio de Especialidades Odontológicas del Hospital Antonio Tirado Lanas, en Ovalle-Chile

8. Preparación de la muestra para la observación al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca Jeol modelo J SM-6380LV año 2004.
  - Los dientes fueron criofracturados longitudinalmente, para esto fueron estriados a lo largo de la superficie bucal y lingual con un disco de diamante a baja velocidad, luego cada diente se sumergió en nitrógeno líquido y fueron fracturados en dos mitades, ejerciendo una fuerza mediante un alicate. (Figura 23)
  - Los dientes que no se fracturaron apropiadamente para exponer el tercio apical del conducto radicular fueron eliminados de la muestra, luego se seleccionó la mitad que estuviera en mejores condiciones para ser observada.



Figura 23. Procedimiento de estriado de las muestras.



Figura 23. Muestra sumergida en nitrógeno líquido



Figura 23. Muestra estriada y congelada



Figura 23. Una raíz de la muestra siendo fracturada en forma longitudinal.



Figura. 23.Foto muestra las mitades obtenidas luego de la fractura.

- Primero fueron llevadas a una estufa de **secado** (marca Memmert), por 10 min a 40 grados Celsius. (Figura 24A )
- Luego se **montaron las muestras** sobre un porta muestras, se colocaron dos muestras por soporte, para ser llevadas al metalizador.
- **Metalizado de la muestra**, en el metalizador marca Edwards S 150 Sputter Coater, en el cual se procedió a cubrirlas con oro puro al 100%, formando una lámina de 300-500 Å de espesor sobre las muestras. (Figura 24B)
- Almacenamiento de las muestras hasta el momento de su observación



Figura 24A. Estufa de secado



Figura 24B. Proceso de metalizado de las muestras

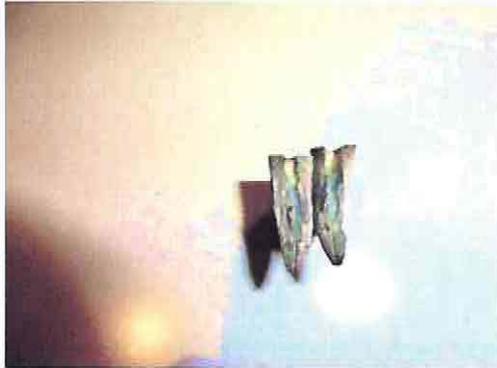


Figura 24B. Dos raíces metalizadas

9. Finalmente se procedió a observar las muestras al Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca Jeol modelo J SM-6380LV año 2004, con una magnificación de 1000x para ser fotografiadas en el tercio apical del conducto, a 3mm del ápice. (Figura 25)



Figura 25 Soporte de las muestras metalizadas para ser llevadas al MEB



Figura 25. MEB marca JEOL, utilizado para observar las muestras



Figura 25. Foto del porta muestras que se posiciona dentro del MEB para realizar las observaciones

Esta etapa del experimento se realizó en el Centro de Espectroscopía y Microscopía (CESMI) de la Universidad de Concepción-Chile

## Calibración de los Observadores

Antes de la evaluación de las fotografías según escala de medición, se procedió a calibrar a los tres observadores (Profesores de la UV) relacionando imágenes y los Scores de la escala de Hülsmann modificada.

Posteriormente cada observador en forma individual, evaluó un set de imágenes según los Scores de la escala de Hülsmann, luego el resultado de esta evaluación fue sometido al Test de Kappa, para evaluar concordancia entre los observadores.

## Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de concordancia interoperador, mediante el estadístico de Kappa. Para un total de 38 unidades de análisis y 3 evaluadores independientes. Se puede apreciar que para la categorización de Score 1 el grupo de investigadores obtuvo un índice de Kappa "Fuerte" como se puede apreciar en la Tabla I.

Respuesta	Kappa	p-valor	Interpretación
1 Score	0.8978	0.0000	Fuerte
2 score	0.6889	0.0000	Moderado
3 score	0.7125	0.0000	Moderado
4 score	0.7430	0.0000	Moderado
5 score	0.9443	0.0000	Casi perfecto
Global	0.8080	0.0000	Fuerte

Tabla I : Valores de Kappa de Cohen para cada una de los niveles de evaluación y su interpretación.

La Tabla II, nos muestra la concordancia entre evaluadores, agrupados en pares. Esto sirve para identificar si es que alguno del grupo de investigación requiere volver a estandarizarse y calibrar.

	Observador (1)		Observador (2)		Observador (3)	
	% Acuerdo	Kappa	% Acuerdo	Kappa	% Acuerdo	Kappa
Observador (1)			88.6%	0.856		
Observador (2)					85.7%	0.8196
Observador (3)	80%	0.749				

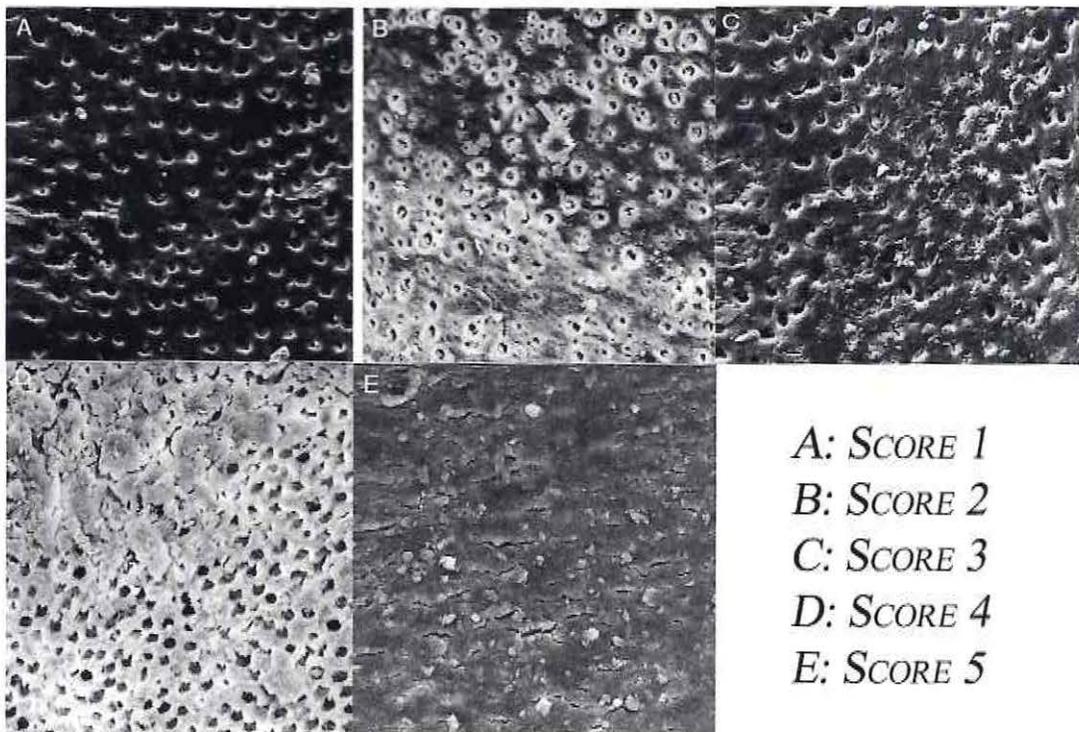
Tabla II : Valores de Kappa de Cohen por parejas de evaluadores.

Ahora al hacer una comparación entre los distintos evaluadores podemos notar que entre el observador (1) y el (2) se expresa el mayor índice, siendo este fuerte. Mientras que entre el (1) y (3) este es de carácter moderado. Por lo que podría esperarse que sacando los resultados del observador (3) el índice de Kappa pudiese aumentar, aunque el resultado de concordancia interoperadores en conjunto indica que es fuerte.

De esta manera, los tres observadores calibrados, mediante la técnica de simple ciego, evaluaron las imágenes de MEB, según la escala de medición.

**Escala de Hülsmann modificada.** (Caron y cols., 2010) (Figura 26)

- **Score 1:** Sin Smear Layer y túbulos dentinarios abiertos.
- **Score 2:** Escasa cantidad de Smear Layer dispersa y túbulos dentinarios abiertos.
- **Score 3:** Delgada capa de Smear Layer y túbulos dentinarios parcialmente abiertos (Imágen característica de media luna)
- **Score 4:** Cobertura parcial de los túbulos dentinarios, por una gruesa capa de smear layer
- **Score 5:** Cobertura total de los túbulos dentinarios por una gruesa capa de smear layer



(Figura 26)

*A: SCORE 1*  
*B: SCORE 2*  
*C: SCORE 3*  
*D: SCORE 4*  
*E: SCORE 5*

## **Análisis estadístico**

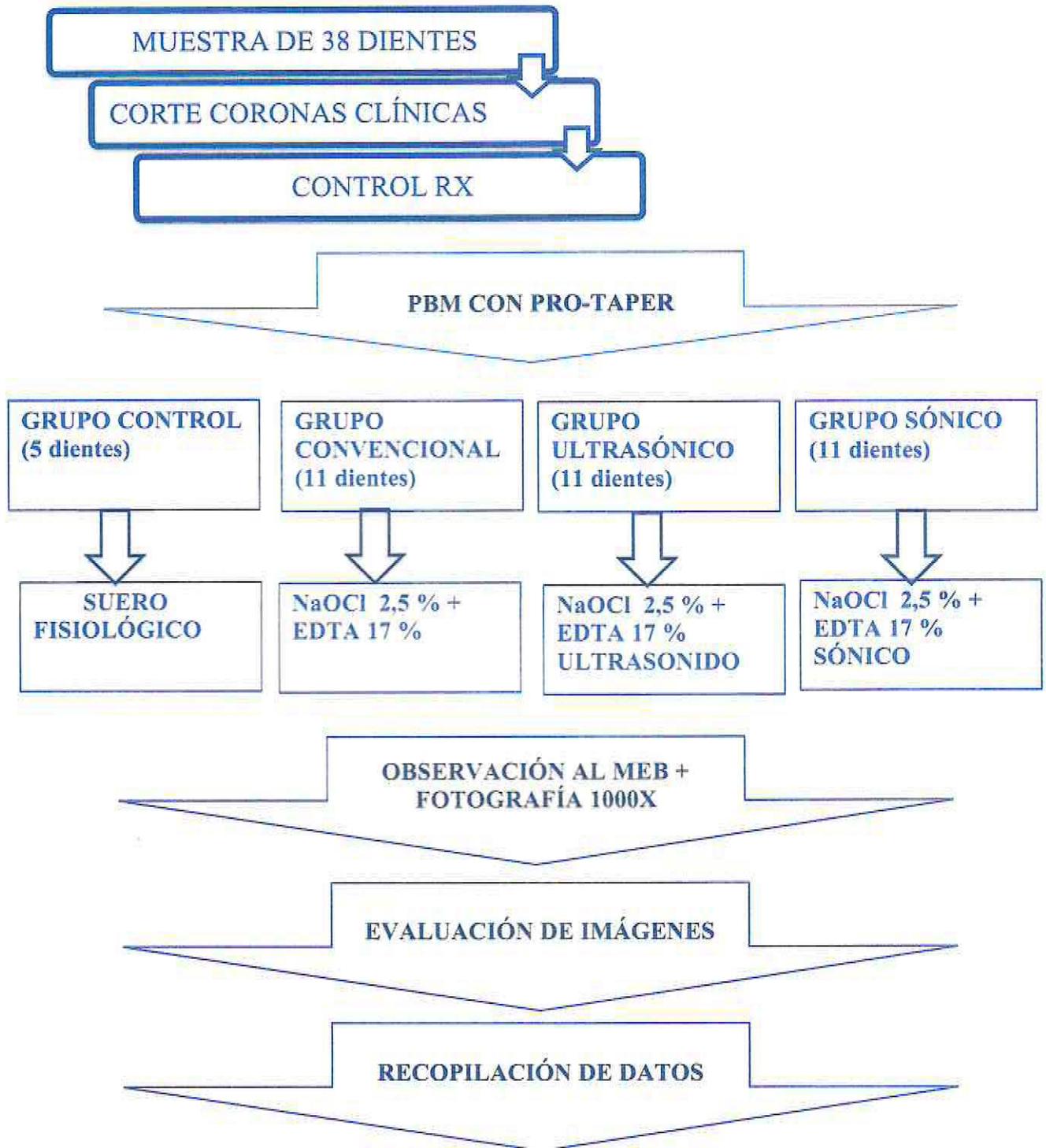
Dado la naturaleza de las variables (cualitativas) y los objetivos de investigación se realizó primeramente un análisis descriptivo a través de medidas de frecuencia absoluta ( $n$ ) y relativa (porcentaje) con sus respectivos intervalos de confianza a través del ajuste de Wald. Para ello se utilizó un 95% de confianza como lo sugiere la literatura biomédica.

Para el análisis inferencial, se utilizó un modelo de regresión logística ordinal en el cual se buscó conocer el rol de cada una de las técnicas en la obtención del Score. Posteriormente se analizaron las diferencias entre cada uno de los grupos mediante el ajuste de Bonferroni.

Análisis no paramétrico para la comparación de medianas con test de Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn, para comparación entre pares.

Para todos los casos se consideraron significativos p-valores menores a 0.05 y se utilizó el software de libre distribución GPOWER 3.1.9 en el cálculo de la potencia de la prueba y STATA 15.0 con licencia disponible en la Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso-Chile para el análisis de resultados propiamente tal.

## ESQUEMA DE PROCEDIMIENTOS.



## RESULTADOS

### Análisis descriptivo

Para realizar el análisis, en primer lugar se decidió separar la variable dependiente de forma dicotómica para hacernos una idea generalizada de lo que ocurrió con el experimento observándose lo siguiente:

- Se observó que el grupo con activación sónica (EndoActivator®) obtuvo el menor porcentaje de unidades con presencia de Smear Layer y el grupo con mayor porcentaje fue el grupo control con 100% de unidades, seguido del grupo técnica convencional o sin activación.
- Así mismo el grupo con activación sónica obtuvo el mayor porcentaje de unidades sin presencia de Smear Layer, y el grupo control no obtuvo unidades (n) 0%, en ausencia de smear layer

	Ausencia de Smear Layer (Score 1)				Presencia de Smear Layer (Score, 2, 3, 4 y 5)			
	n	%	IC95%		n	%	IC95%	
CONTROL	0				4	100.0%		
CONVENCIONAL	1	9.1%	1.1%	48.2%	10	90.9%	51.8%	98.9%
ULTRASONIDO	3	27.3%	8.2%	61.3%	8	72.7%	38.7%	91.8%
SONICO	5	45.5%	18.7%	75.1%	6	54.5%	24.9%	81.3%

Tabla III: Análisis dicotómico de los score por técnica de activación

Al analizar en detalle cada uno de los Score por cada una de las técnicas de irrigación final utilizada se obtuvo el siguiente resultado:

- Para el caso del grupo control encontramos un 25% obtuvo Score 4 y el 75% Score 5

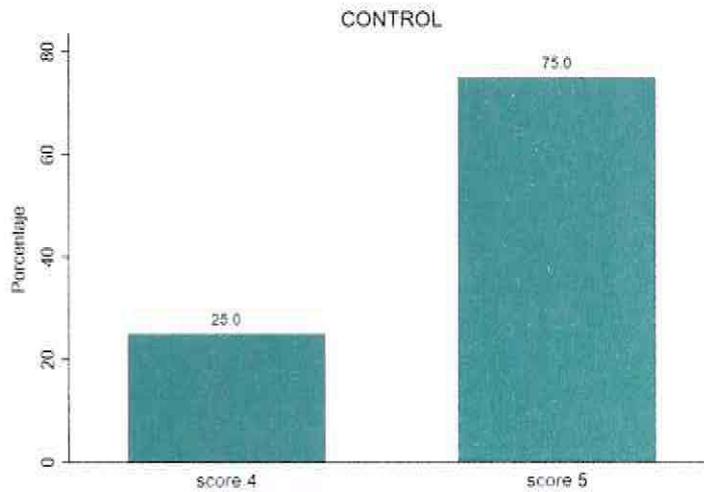


Gráfico 1: Frecuencia de distribución en % entre los distintos Score. Grupo Control

**El Grupo Control**, sólo se irrigó con suero antes de secar el conducto, presentó mayoritariamente muestras con gran cantidad de smear layer cubriendo las paredes del conducto, observándose cobertura total de túbulos dentinarios y escasa presencia de túbulos dentinarios abiertos. (Figura 27A y B)



Fig. 27A



Fig. 27B

Figura 27. Foto MEB 1000x, Grupo Control, cobertura total de superficie dentinaria A y escasa presencia de túbulos dentinarios abiertos B

- El Grupo Convencional o sin activación se observa que mayoritariamente el score 4 fue el que estuvo presente.

	N	%	IC95%	
Score 1	1	9.1%	0.9%	53.7%
Score 2	2	18.2%	3.5%	58.0%
Score 3	1	9.1%	0.9%	53.7%
Score 4	4	36.4%	11.7%	71.2%
Score 5	3	27.3%	7.2%	64.6%

Tabla IV: Frecuencias, porcentajes e intervalos de confianza del Grupo Convencional o sin activación

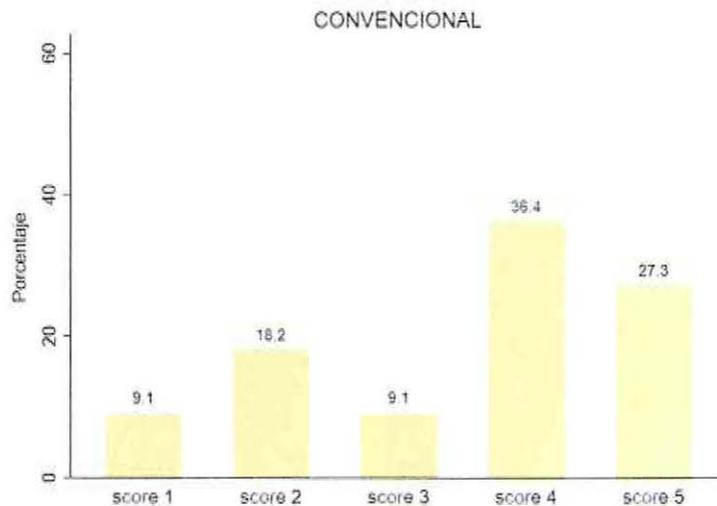


Gráfico 2: Frecuencia de distribución en % entre los distintos Score. Grupo Convencional

**El Grupo Convencional (sin activación)**, en cual se utilizó Hipoclorito de Sodio al 2,5% y EDTA al 17% por un minuto, presentó un patrón de remoción similar en la mayoría de las fotos, observándose en la mayoría de las microfotografías, un número reducido de túbulos abiertos y /o abertura parcial de túbulos y presencia de una espesa capa de smear layer, además se observó presencia de residuos amorfos superficiales en algunas muestras (Figura 28A, B).

También se observaron muestras con escasa presencia de smear layer y gran cantidad de túbulos abiertos, pero esto fue minoritario.

Fig.28A

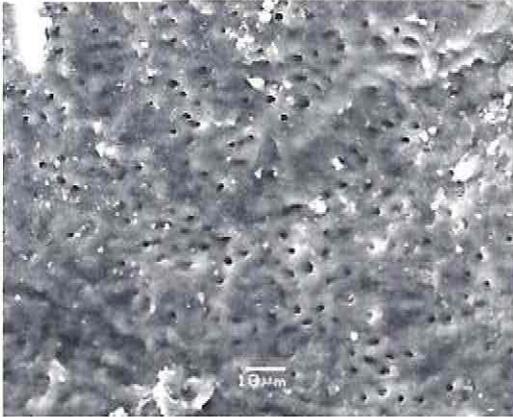


Fig. 28B

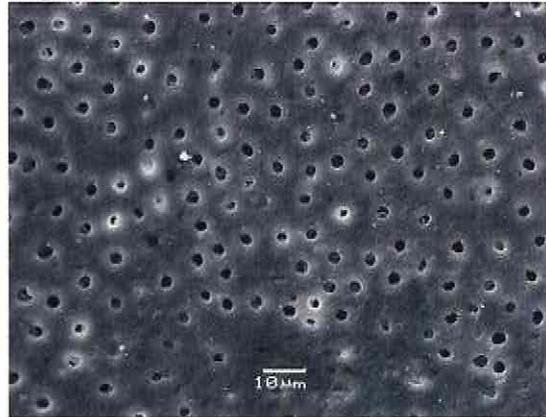


Figura 28, Foto al MEB a 1000X, se observan muestras del Grupo Convencional, Foto **A** presencia de Smear Layer y escasos túbulos abiertos. Foto **B**, túbulos dentinarios abiertos, escasa presencia de smear layer

- En el Grupo Ultrasónico notamos que no hubo presencia del Score 2 y que los porcentajes más altos están en los grupos 1 y 3.

	N	%	IC95%	
Score 1	3	27.3%	7.2%	64.6%
Score 3	4	36.4%	11.7%	71.2%
Score 4	2	18.2%	3.5%	58.0%
Score 5	2	18.2%	3.5%	58.0%

Tabla V: Frecuencias, porcentajes e intervalos de confianza del grupo de activación ultrasónica.

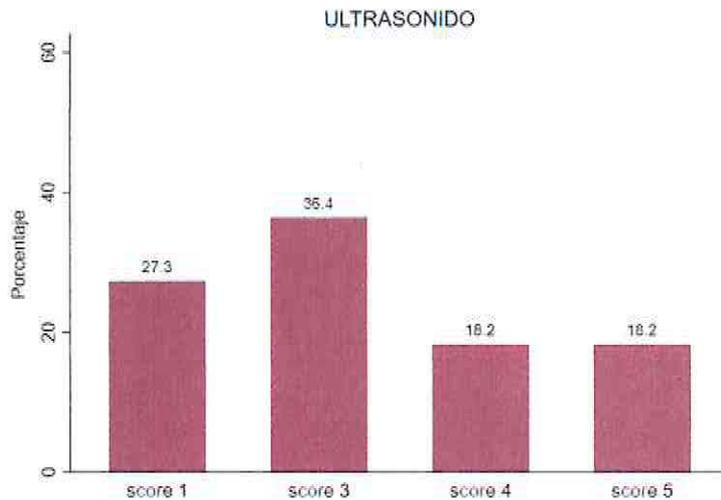


Gráfico 3: Frecuencia de distribución en % entre los distintos Score. Grupo Ultrasonido

**Grupo Ultrasonido**, se observaron en un porcentaje mayor superficies dentinarias más limpias, es decir, con menos cantidad de smear layer y mas túbulos dentinarios abiertos, sin embargo tambien hubo muestras que presentaron los Scores (4-5) más bajos con espesa capa de smear layer presente y pocos o ningún túbulo dentinario observable, a pesar de esto ya se observa una tendencia en la mayoría de las muestras observadas a aparecer más limpias. (Figura 29A, B) Tambien se observó en una muestra erosión dentinaria representada por superficies irregulares y/o un excesivo aumento del diámetro de la entrada de los túbulos. (C).

Fig. 29A

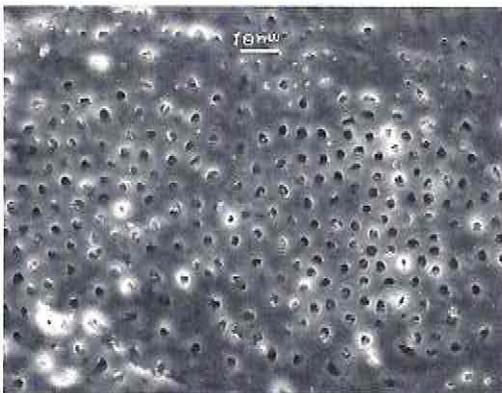


Fig. 29B



Fig. 29C

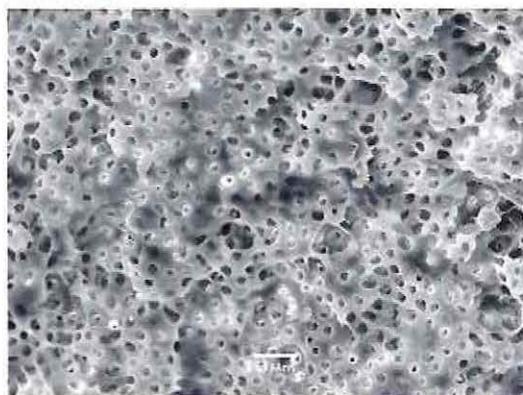


Figura 29. Foto al MEB a 1000X, **A**, se observa superficie limpia, con túbulos dentinarios visibles. **B**, se observa espesa capa de smear layer con detritus y escasos túbulos dentinarios visibles. **C**, se observa ligera erosión peritubar e intertubular en algunas zonas, nótese mayor diámetro de túbulos dentinarios y superficie irregular.

- Finalmente en el Grupo de activación Sónica, notamos que no existen unidades con score 4 o 5 y que la mayoría presenta valor 1.

	n	%	IC95%	
Score 1	5	45.45%	0.1683	0.7743
Score 2	4	36.36%	0.1167	0.712
Score 3	2	18.18%	0.0345	0.58

Tabla VI: frecuencias, porcentajes e intervalos de confianza de activación sónica.

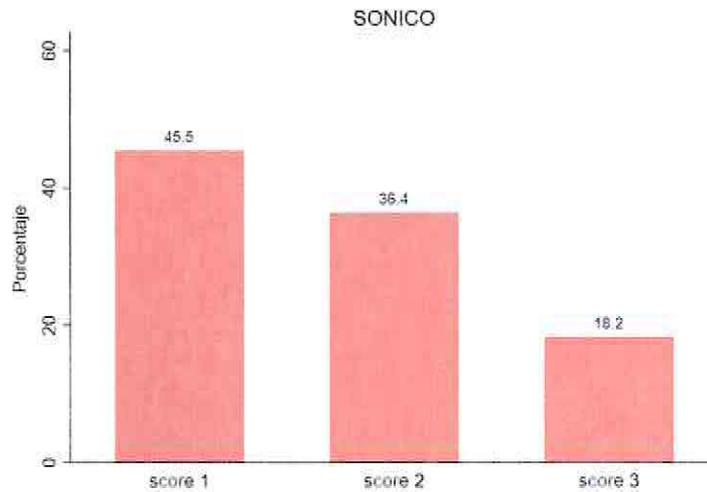


Gráfico 4: Frecuencia de distribución en % entre los distintos Score. Grupo Sónico

- Grupo Sónico**, se observaron mayoritariamente muestras con superficies dentinarias sin smear layer y túbulos dentinarios abiertos, no se observaron muestras con gruesa capa de smear layer. Figura 30A y B  
 En este grupo de estudio, también se observaron dos muestras con erosión dentinaria (Figura 30C)

Fig. 30A

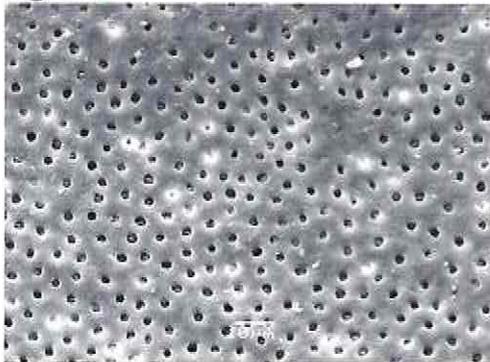


Fig. 30B

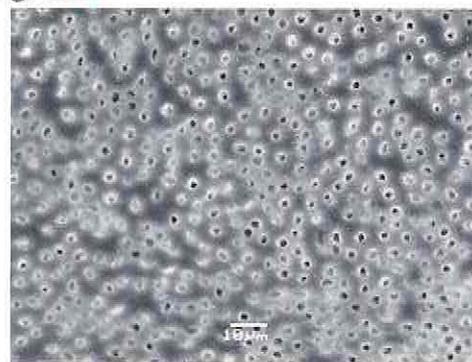


Fig. 30C

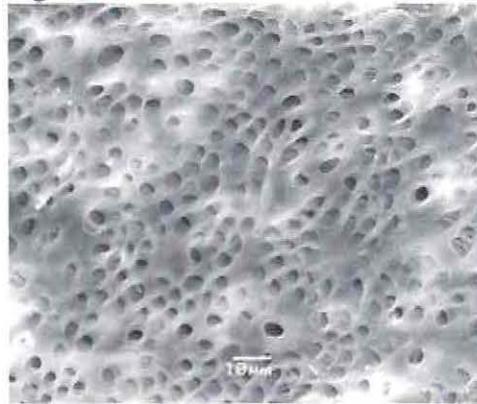


Figura 30. Foto MEB a 1000X, **A**, se observa superficie dentinaria con escaso smear layer, túbulos dentinarios abiertos, **B**, mayor presencia de túbulos dentinarios, sin smear layer. **C**, muestra con erosión intertubular y peritubular con diámetro de túbulos dentinarios aumentado.

	Control		Convencional		Ultrasónico		Sónico	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Score 1			1	9.10%	3	27.30%	5	45.45%
Score 2			2	18.20%		0%	4	36.36%
Score 3			1	9.10%	4	36.40%	2	18.18%
Score 4	1	25%	4	36.40%	2	18.20%		0%
Score 5	3	75%	3	27.30%	2	18.20%		0%

Tabla N° VII: Tabla descriptiva conjunta sin intervalos de confianza

### Análisis inferencial

Podemos notar que las técnicas en su conjunto resultan explicativas del valor obtenido de score, ya que resulta ser estadísticamente significativo (p-valor: 0.0004), mientras que la variabilidad obtenida en el score es solamente explicada en alrededor de un 16% por la técnica (o grupo). Cabe destacar que el método convencional no resultó significativo en la explicación de los score (p-valor: 0.086) al compararse con el control.

MODELO	PVALOR	0.0004	R <sup>2</sup>	0.1553
Grupo de referencia: CONTROL	OR	P-VALOR	IC 95%	
CONVENCIONAL o SIN ACTIVACIÓN	0.110	0.086	0.009	1.362
ULTRASONIDO	0.049	0.022	0.004	0.644
SONICO	0.008	0.001	0.001	0.126

Tabla VIII: Resumen del modelo de regresión logística ordinal

Ahora al hacer las comparaciones entre los grupos, se aprecia que no existen diferencias significativas entre el grupo control y convencional (p-valor: 0.086), pero si con el ultrasónico (p-valor: 0.022), y con el sónico (p-valor: 0.001). Entre el grupo ultrasónico y sónico existirían diferencias estadísticamente significativas (p-valor: 0.03). Así, el método sónico presenta diferencias significativas con el control, el convencional y ultrasónico resultando el grupo que presenta resultados diferentes al resto.

Comparaciones			OR	P-valor	IC 95%	
CONVENCIONAL	vs	CONTROL	0.110	0.086	0.009	1.362
ULTRASONIDO	vs	CONTROL	0.049	0.022	0.004	0.644
SONICO	vs	CONTROL	0.008	0.001	0.001	0.126
ULTRASONIDO	vs	CONVENCIONAL	0.440	0.306	0.091	2.12
SONICO	vs	CONVENCIONAL	0.076	0.003	0.014	0.414
SONICO	vs	ULTRASONIDO	0.174	0.033	0.035	0.869

Tabla IX : Comparaciones entre los grupo para predecir el score, con ajuste de Bonferroni.

Si analizamos ahora de acuerdo a cada score y cuales son las probabilidades de que una determinada técnica arroje dicho Score, podemos notar lo siguiente:

- Para el Score 1, el protocolo de irrigación sónico es la que presenta mejores probabilidades de dar éste, siendo de un 52.3% (IC 95% [25 - 75]), seguido por el ultrasónico con un 16%(IC 95%[0 - 34]), Convencional con un 7% (IC 95% [0 - 18.1]) y el grupo control 0.09% (IC 95% [0 - 3]), resultando significativo solamente el grupo sónico para la obtención de Score 1 (p-valor: 0.0001) (Gráfico 5)

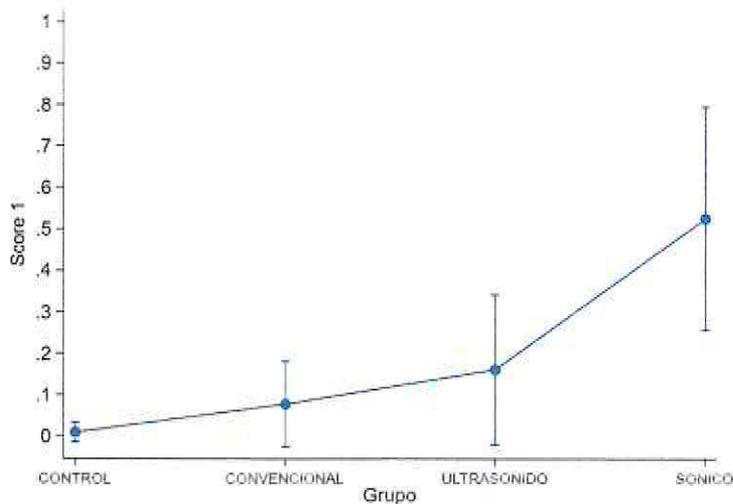


Gráfico 5: Probabilidades predichas para Score 1 por cada técnica

- Para el caso del Score 2, se mantiene el orden al igual que el Score 1, pero las probabilidades de obtenerlo son menores, así el grupo sónico tiene una probabilidad de 22.2% (IC 95% [5 - 39]), el grupo ultrasónico un 17.8% (IC95% [2 - 33]), convencional 10.6% (IC95% [0 - 22.5]) y control 1.5% (IC 95% [0 - 5]). En este caso, el grupo sónico y ultrasónico resultaron estadísticamente significativos para la obtención de Score 2 (p-valores: 0.009 y 0.024, respectivamente).

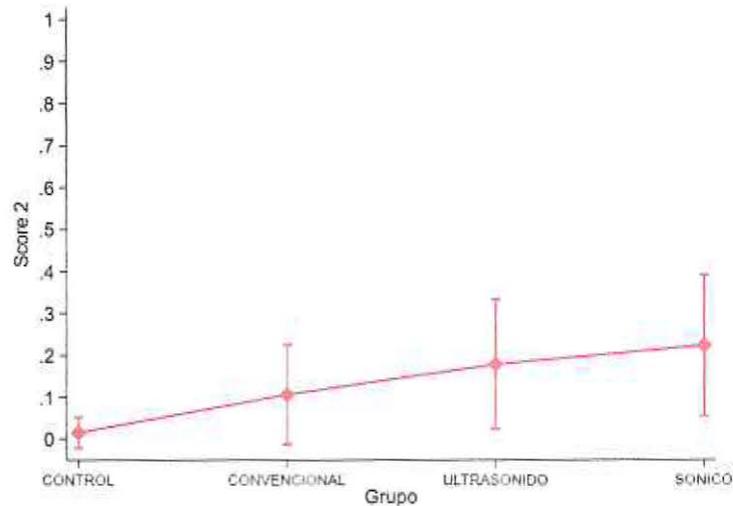


Gráfico 6: Probabilidades predichas para Score 2 por cada técnica.

- En el caso del Score 3 la situación cambia, siendo el más alto el grupo ultrasónico con un 28,2% (IC 95% [9.8 – 46.5]), seguido por el convencional con un 23.5% (IC 95% [6 - 41]), el sónico con un 15.8% (IC95% [1.7 – 29.7]) y el control con un 4.9% (IC 95% [0 – 15.6]). Resultaron significativos en la obtención de este score, todas las técnicas menos el control, ultrasonido (p-valor: 0.03), convencional (p-valor: 0.009) y sónico (p-valor: 0.027).

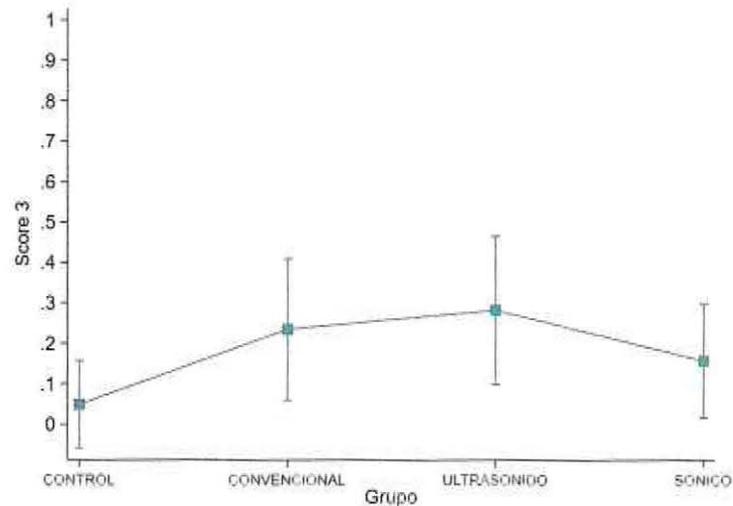


Gráfico 7: Probabilidades predichas para Score 3 por cada técnica.

- Por otro lado, en el score 4 se modifica el orden anterior con lo que primero es el grupo convencional 31.4% (IC 95% [10.9 – 51.8]), seguido por el ultrasónico con un 24.1% (IC 95% [5.6 – 42.6]), el control con un 15.8% (IC 95% [0 – 41.2]) y el sónico con un 6.9% (IC 95% [0 – 15.5]). Siendo significativos para este score la técnica convencional (p-valor: 0.003) y la ultrasónica (p-valor: 0.011).

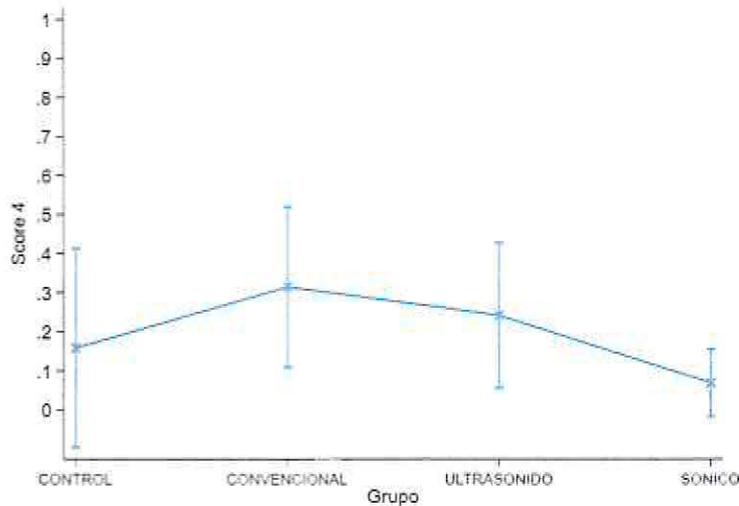


Gráfico N° 8: Probabilidades predichas para Score 4 por cada técnica

- Finalmente, para el score 5 notamos que es la tendencia inversa a la del Score 1, teniendo la más alta probabilidad de ocurrencia el grupo control con un 76.8% (IC 95% [37.3 - 100]), seguido por la técnica convencional con un 26.8% (IC 95% [3 – 50.5]), la técnica ultrasónica con un 13.8% (IC 95% [0 – 30.2]) y la sónica con un 2.7% (IC 96% [0 – 6.9])

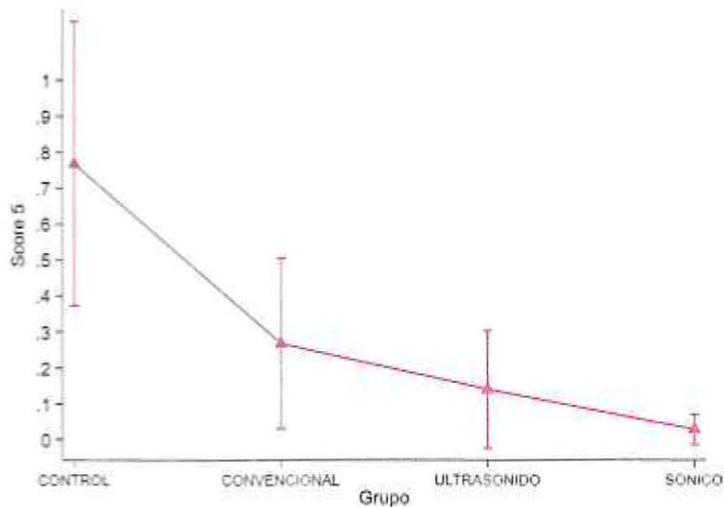


Gráfico N° 9: Probabilidades predichas para Score 5 por cada técnica.

Al asumir la variable cualitativa, como cuantitativa el análisis seguiría de la siguiente forma: Calculando el promedio de cada score que cada grupo estudiado obtuvo, tomando los valores del 1 al 5

Grupo	Promedio	DE	Mediana
CONTROL	4.75	0.5	5
CONVENCIONAL	3.55	1.37	4
ULTRASONIDO	3	1.48	3
SONICO	1.73	0.786	2
Total	2.97	1.5	3

Tabla X: Medidas descriptivas de tendencia central de score por grupo

En la tabla anterior (X) se muestran las medidas descriptivas de tendencia central de la variable score, luego de ser tratada como cuantitativa y respetando los 5 grupos

p-valor Kruskal Wallis : 0.0021				
		CONTROL	CONVENCIONAL	ULTRASONICO
CONVENCIONAL	Dif	-1.200		
	P-valor	0.083		
ULTRASONICO	Dif	-1.75	-0.55	
	P-valor	0.021	0.191	
SONICO	Dif	-3.02	-1.82	-1.27
	P-valor	0	0.002	0.026

Tabla XI: p-valor de Test de Kruskal Wallis y comparaciones múltiples de Dunn. Incluye diferencias entre grupos.

La tabla anterior (XI) resume el test de Kruskal-Wallis con su comparación post-hoc conocida como test de Dunn. Acá podemos apreciar que existen diferencias significativas en el valor mediano de score, siendo el control diferente con el grupo ultrasónico y sónico, mientras que este último presenta diferencias con todos los otros.

Grupo	Promedio	DE	Mediana
CONTROL	3	0	3
CONVENCIONAL	2.36	0.924	3
ULTRASONIDO	2.09	0.831	2
SONICO	1.18	0.405	1
Total	2	0.913	2

Tabla XII: Medidas descriptivas de tendencia central de score por grupo

La tabla XII muestra las medidas descriptivas de tendencia central de la variable score, luego de ser tratada como cuantitativa pero recodificando en 3 grupos (1 y 2 =1 ; 3=2 ; 4 y 5=3).

## DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue evaluar y comparar tres protocolos de irrigación final, activación sónica, activación ultrasónica y convencional (sin activación), en relación a la eficiencia en la remoción de smear layer en tercio apical de conductos rectos.

La Remoción de tejido pulpar vital o necrótico, microorganismos y sus toxinas, detritus y smear layer del sistema de conductos radiculares, además de la obturación tridimensional del mismo es esencial para el éxito en la terapia endodóntica (Gu y cols., 2009). A pesar que esto debería ser logrado a través de la preparación químico-mecánica, es imposible modelar y limpiar el sistema de conductos en su totalidad, en especial en el tercio apical, debido a la intrincada naturaleza y complejidad de la anatomía de los conductos radiculares, (Gu y cols., 2009)

Por lo mismo la irrigación es una parte esencial del tratamiento endodóntico, debido a que permite limpiar áreas donde la instrumentación no lo logra. El gold standard de los irrigantes sigue siendo el hipoclorito de sodio, el cual se asocia con EDTA para lograr eliminar el smear layer, el cual se forma durante la PBM, por acción de corte, sobre la dentina de los instrumentos utilizados (manuales o mecanizados). (Caron y cols., 2010)

El smear layer puede potencialmente estar infectado, y su remoción permite una penetración y acción más eficiente de la medicación dentro de los túbulos dentinarios y una mejor adaptación de los cementos selladores a las paredes del conducto radicular. (Caron y cols., 2010).

La remoción de smear layer se ha convertido en una práctica aceptada y difundida en los tratamientos actuales de endodoncia, Violich y Chandler en una revisión realizada en 2010, concluyeron que los datos encontrados indicaban que, la remoción de smear layer promovía una desinfección más completa del sistema de conductos, así como una mejor adaptación de los materiales de obturación a las paredes del conducto, a pesar que no hay datos clínicos que sustenten esto.

Así estos autores sugirieron que se deben seguir realizando investigación para determinar el papel real que juega el smear layer en resultados de la terapia endodóntica.

Los informes de literatura generalmente muestran que independientemente de las técnicas de instrumentación e irrigación, la efectividad de los irrigantes permanece limitada en el tercio apical, particularmente para los conductos curvos pero también en los conductos rectos (Caron y cols., 2010). Por lo tanto, el mejoramiento de protocolos de irrigación es esencial durante el tratamiento de los conductos radiculares para lograr una mayor eficiencia de limpieza, especialmente en la compleja área apical.

Para mejorar la limpieza, los irrigantes deben estar en contacto directo con las paredes del conducto radicular. La técnica de irrigación convencional con aguja permite que el irrigante fluya entre 0.1mm y 1mm de la punta de la aguja. Esto es insuficiente para la completa limpieza de la compleja anatomía del sistema de conductos (conductos laterales, isthmus, aletas de dentina, conductos accesorios, delta apical etc. El fenómeno de Vapor Lock, en el cual se produce un atrapamiento de aire en el tercio apical también ha sido considerado, porque podría obstaculizar el

intercambio de irrigantes y afectar negativamente su capacidad de limpieza. (Mancini y cols., 2013).

Actualmente, existen varias técnicas y sistemas disponibles, se ha reportado que mejorarían la irrigación final, aumentando flujo y distribución de los irrigantes, sobre todo en tercio apical antes de la obturación. Sin embargo no hay consenso en el volumen, tiempo de aplicación o método de activación. (Mancini y cols., 2010)

Los resultados del presente estudio muestran que el protocolo de irrigación final Sónico (EndoActivator®), resultó ser más eficiente en la remoción de smear layer, al compararlo con el grupo control, grupo ultrasónico y grupo convencional (sin activación), estos resultados concuerdan con los resultados encontrados por otros autores. (Mancini y cols., 2013; Caron y cols., 2010; Rödíg y cols., 2010; Blank-Goncalvez y cols., 2011)

Mancini y cols., 2013, reportaron resultados similares, determinaron que la irrigación Sónica (EndoActivator®) fue más eficiente en la remoción de smear layer a 3mm del ápice cuando se le comparó con el grupo convencional, y con la irrigación ultrasónica. En este estudio se utilizó un protocolo de irrigación final similar pero con mayor volumen de irrigación (5ml), 1 minuto de activación con potencia 5. Las imágenes fueron obtenidas mediante un Microscopio Electrónico de Barrido (Field Emission)

Esto también concuerda con un estudio realizado por Caron y cols., 2010, en el cual se determinó que EndoActivator® con EDTA+NaOCl mostró significativamente mejor remoción de smear layer cuando se lo comparó con el grupo sin activación en el tercio apical, usando la misma escala de medición, cabe mencionar que en este estudio no se encontró diferencia significativa entre el grupo EndoActivator y ultrasonido, en su estudio se señala que los mejores resultados obtenidos por EndoActivator®, podrían ser debido en parte al movimiento de arriba abajo 2-3mm vertical usado como parte del protocolo que promueve una circulación dinámica coronal-apical de las soluciones irrigantes, lo cual es lo mismo que se realizó en este estudio.

Similares resultados muestra el estudio de Rödíg y cols., 2010, donde se determinó que EndoActivator® fue superior en la remoción de smear layer en el tercio apical cuando se compara con grupo sin activación, pero ellos lo evaluaron en conductos curvos.

Blank-Goncalvez y cols., 2011, evaluaron la efectividad de los mismos protocolos de irrigación final, se determinó que la irrigación sónica y ultrasónica logró eliminar significativamente más smear layer en el tercio apical que el grupo con irrigación convencional, resultando el método ultrasónico, ligeramente superior 80% frente a un 75% el método sónico, esto concuerda con lo observado por De Gregorio y cols., quienes usando activación sónica y ultrasónica, en conductos laterales simulados, encontraron una mejor penetración del irrigante que la observada con la irrigación convencional con aguja.

En contraste con los resultados observados en el presente estudio, Urroz-Torres y cols., 2010 muestran que EndoActivator® no mejoró la remoción de smear layer al compararlo con la irrigación convencional (MAX-I-Probe) usando Hipoclorito de Sodio y EDTA, esto podría

explicarse por el menor volumen de EDTA utilizado, solo 1ml en comparación con este estudio que utilizó 3ml, además del diámetro apical de #40/04, el cual es inferior al del presente estudio #50/05., a demás no se realizó el movimiento vertical de arriba abajo con la pieza de mano del EndoActivator®, durante la activación sónica.

En este estudio, al comparar eficiencia de remoción de smear layer entre el grupo ultrasónico y sónico se encontraron diferencias estadísticamente significativas, lo que ha sido previamente reportado en la literatura (Rödig y cols., 2010, Gu y cols., 2009). Posiblemente se podría explicar este pobre resultado de ultrasonido al poco tiempo de activación (1 minuto) y baja intensidad o potencia (3), además del volumen (3ml) de irrigante utilizado, y al contacto inadvertido del instrumento activado con ultrasonido con las paredes del conducto (Técnica sensible)

La sensibilidad de la técnica de activación del ultrasonido, dependiente del operador, donde un instrumento de diámetro pequeño debe permanecer centrado y sin contacto con las paredes del conducto por un tiempo determinado, podría ocurrir un contacto accidental de la lima ultrasónica con las paredes del conducto radicular, lo cual va a reducir el efecto de cavitación y de microcorrientes acústicas, debido a que este contacto impide el libre movimiento de oscilación de la lima y disminuye la amplitud del movimiento oscilatorio, reduciendo su efectividad.

En relación al tiempo de activación Hong-Guan y cols., 2009, determinaron que 1min o 3 min de activación ultrasónico del EDTA no presentaba diferencias significativas en la remoción del smear layer en el tercio apical, lo cual concuerda con lo reportado por Soito y cols., 2010, quienes determinaron que una irrigación final de 1ml de EDTA al 17% por 1 min seguido por 3ml de NaOCl al 6% es eficiente es la remoción del smear layer después de la instrumentación. Tiempo de exposición sobre 1 min con EDTA podría producir un efecto quelante excesivo, lo que podría afectar la adhesión de los cementos selladores endodónticos y disminuir la microdureza de la dentina (Calt y Seper, 2002).

En relación a la potencia utilizada, en un estudio de Lea y cols., 2004 se concluyó que el fenómeno de cavitación es dependiente de la amplitud de desplazamiento lo cual se ha demostrado ocurre cuando la lima puede oscilar libremente con amplitud de vibración mayor a 135um. Esta magnitud de vibración se obtiene activando las limas a una potencia superior a la recomendada para procedimientos endodónticos. La amplitud de desplazamiento obtenida en este estudio fue menor a la teóricamente necesaria para producir el fenómeno de cavitación.

El mejor desempeño de EndoActivator® también podría ser explicado debido a que en el presente estudio, se ensanchó el diámetro a 0.50 con conicidad de 5%, lo cual es superior a lo realizado en otros estudios, permitiendo una mayor amplitud de desplazamiento de la punta de polímero del EndoActivator®, aumentando de esta manera los fenómenos hidrodinámicos responsables de su efectiva acción.

Contrariamente a los resultados obtenidos en este estudio, muchos autores reportan que ultrasonido es más efectivo en la remoción de smear layer en comparación con irrigación convencional y sónica. ( Jiang y cols., 2010; Sabins y cols., 2003, Salman y cols., 2010)

El en el estudio de Jiang y cols., 2010, se utilizó el ultrasónido con un instrumento de #20 pero con una potencia de 4 (30.000 Hz) , lo cual es superior a la potencia utilizada en este estudio, se utilizó el mismo tiempo 1 min, pero también varió la técnica, puesto que la activación sónica se realizó sin movimiento de la punta, es decir sin el movimiento vertical de arriba abajo 2-3mm , lo cual podría explicar los peores resultados obtenidos por la activación sónica.

### **Limitaciones del estudio**

Este estudio no permite determinar cómo era la dentina a observar, antes de aplicar los distintos protocolos de irrigación final; sin la posibilidad de visualizar el estatus preoperatorio de la dentina, es imposible garantizar si las áreas libres de smear layer fueron producidas por la acción de lo quelantes o es solamente un área no instrumentada.

La tendencia de ocurrir sesgo en algunos observadores es alta en evaluación al MEB cuando se trabajan con altas magnificaciones, el área observada es insignificante al compararlo con el área total del conducto. Es bien conocido que hay un sesgo con los operadores de MEB con tendencia a seleccionar áreas libres de smear layer en vez de áreas de dentina cubiertas de smear layer. En otras palabras, la evaluación es siempre subjetiva y cualitativa, como la selección del área a ser observada no es aleatoria y es directamente operador dependiente

En los estudios de microscopía electrónica de barrido tradicionales, existe una falla metodológica que deber ser considerada como una motivación para el desarrollo de modelos innovadores con mejores y confiables instrumentos de medición.

## CONCLUSIÓN

Basados en los resultados obtenidos en el presente estudio, al comparar eficiencia en la remoción del smear layer de tres protocolos finales de irrigación.

- El protocolo de irrigación con activación sónica (EndoActivator®), es más eficiente en la remoción de smear layer comparado con los protocolos de irrigación final con activación ultrasónica y sin activación.
- También se determinó que el protocolo con activación ultrasónica presenta una tendencia a presentar mejores resultados que la técnica convencional en la remoción del smear layer, pero esto no fue estadísticamente significativo.
- Derivado de los resultados obtenidos del presente estudio, se sugiere que el protocolo de irrigación final esté asociado a un método de activación (sónico o ultrasónico), que potencie la acción de los irrigantes y lograr de esta manera aumentar la remoción de smear layer en tercio apical.

## SUGERENCIAS

Se sugiere, realizar una comparación, utilizando los mismos protocolos de irrigación final en conductos curvos, para complementar la información entregada.

Se recomienda basado en los resultados obtenidos, realizar un estudio modificando el protocolo de irrigación final ultrasónico, aumentando la potencia del ultrasonido, para determinar si éste fue de alguna manera determinante en la menor eficiencia en la remoción de smear layer en comparación con protocolo de irrigación sónico.

Se sugiere realizar estudios para evaluar la extrusión de irrigantes que podría producirse al activar sónica y ultrasónicamente los irrigantes a 1-2 mm de la constricción apical.

Como sugerencia en general, se recomienda buscar un modelo experimental que sea reproducible y además longitudinal, en el cual un área de dentina determinada pueda ser observada en distintos momentos, con modelos experimentales de mayor sensibilidad y de resultados cuantitativos.

Obtener programas computacionales capaces de extraer automáticamente datos cuantitativos de la morfología de la dentina y minimizar el sesgo humano

Determinar el verdadero rol que juega el smear layer en el éxito o fracaso de los tratamientos de endodoncia, mediante estudios longitudinales.

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio *in vitro*, fue comparar la eficacia de tres protocolos de irrigación final, en la remoción del smear layer en el tercio apical de conductos rectos. Para esto se recolectó una muestra de 38 dientes anteriores y pre-molares superiores e inferiores, los cuales fueron instrumentados con Sistema Rotario ProTaper® hasta F5, irrigando con NaOCl al 2.5% entre cada instrumento. Luego se separó la muestra en 4 grupos de estudio, y fueron sometidos a los siguientes protocolos de irrigación final, Grupo control (n=5), irrigación final con suero; Grupo Convencional (n=11), NaOCl al 2.5%+EDTA al 17%, sin activación; Grupo Ultrasonido (n=11) y Grupo EndoActivator® (sónico) (n=11).

Luego las raíces fueron divididas longitudinalmente, observadas y fotografiadas al MEB con una magnificación de 1000x a 3mm del ápice, las imágenes fueron evaluadas por tres observadores, según una escala de medición de 5 scores. (Hülsmann modificada) y analizados estadísticamente mediante test de regresión logística ordinal, Kruskal-Wallis y Post-hoc de Dunn, con un  $p < 0.05$ .

**Resultado:** Grupo activado con EndoActivator (Sónico) fue significativamente más eficiente en la remoción del smear layer al compararlo con el Grupo Control, Grupo Convencional (sin activación) y con Grupo Ultrasónico. Los Grupos donde hubo activación sónica y ultrasónica resultaron más eficientes que el Grupo Control. El Grupo Ultrasónico no logró diferencias estadísticamente significativas con el Grupo Convencional (sin activación).

**Conclusión:** Activación Sónica (EndoActivator®), se presenta como un excelente método de activación para complementar la irrigación convencional de NaOCl +EDTA, y lograr superficies dentinarias libres de smear layer

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad M; Pitt Ford T; Crum L. (1987): Ultrasonic debridement of root canals: An insight into the mechanisms involved. *J Endod.* 13: 93-101.
- Briones, R; Guzmán, P. (1996): Preparación sónica de conductos radiculares. "Estudio clínico comparativo entre la preparación biomecánica convencional y la técnica del Sonic Air MM1500". Seminario de Tesis, Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso, Chile
- Calt, S; Serper, A. (2002): Time-dependent Effects os EDTA on dentin structures. *J Endod.* 28:17-19
- Caimi, P; Cueto, R; Molina, A.M. (2003): Evaluación in vitro de tres preparaciones comerciales de EDTA, en combinación con NaOCl en la remoción del smear layer. Seminario de Tesis, Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso, Chile.
- Caron, G; Nham, K; Bronnes, F; Machtou, P. (2010): Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. 36:1361-65
- Cohen, S; Hargreaves, K.M. (2008): Limpieza y conformación del sistema de conductos radiculares. En: *Vías de la pulpa*, Miguel Roig, Fernando Duran-Sindreu Ferol, Madrid: Editorial Elsevier, pp. 296-364
- Crumpton, B.J; Goodell, G.G; McClanahan, S.B. (2005): Effects on Smear Layer and debris Removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation
- Czonstkowsky, M; Wilson, E.G; Holstein, F.A. (1990): The Smear Layer in Endodontics. *Dent Clin North Am.* 34:13-25.
- Darcey, J; Jawad, S; Taylor, C; Roudsari, V; Hunter, M. (2016): Modern Endodontic Principles Part 4: Irrigation. *Dent Update.* 43: 20–33
- Da Silva, L.A.; Sanguino, A.C; Rocha, C.T.; Leonardo, M.R.; Silva, R.A. (2008): Scanning electron microscopic preliminary study of the efficacy of SmearClear and EDTA for smear layer removal after root canal instrumentation in permanent teeth. *J Endod.* 34:1541-4
- Dautel-Morazin, A; Vulcain, J.M; Bonnaure-Mallet, M. (1994): An Ultrastructural Study of the Smear Layer. Comparative Aspects using Secondary Electron Image and Backscattered Electron Image. *J Endod.* 20: 531-34
- De-Deus, G; Paciornik, S; Pinho Mauricio, M.H; Prioli, R. (2006): Real-Time atomic force microscopy of root dentine during demineralization when subjected to chelating agentes. *Int Endod.* 39:683-692

- De-Deus, G; Reis, C; Paciornik, S. (2011): Critical appraisal of published smear-layer studies: methodological issues. *Oral Surg Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 112:531-543
- De Gregorio, G; Estévez, R; Navarrete, N; Cohenca, N. (2011): Penetración real de la irrigación en el interior del sistema de conductos cerrados, una revisión bibliográfica. *AEDE.* 29: 85-94
- Gao, Y; Haapasolo, M; Shen, Y. (2009): Development and validation of a Three-dimensional computational dynamics model of root canal irrigation. *J. Endod.* 35: 1282-1287
- Gettleman, B.H; Messer, H.H.; ElDeeb, M.E. (1991): Adhesion of sealer cements to Dentin with and without the Smear Layer. *J Endod.* 17:15-20
- Girard, S; Paque, F; Badertscher, M. (2005): Assessment of a gel-type chelating preparation containing 1-hydroxyethylidene-1, 1 biphosphonate. *Int Endod.* 38:810-6
- Grawehr, M; Seber, B; Waltimo, T. (2003): Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod.* 36:411-5
- Gu, L.S; Kim, J.R; Ling, J; Choi, K.K.; Pashley, D.H.; Tay, F.R. (2009): Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 35:791-804
- Guerisoli, D.M; Marchesan, M.A; Walmsley, A.D; Lumley, P.J. (2002): Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *Int Endod.* 35: 418-421
- Hülsmann, M; Hahn, W. (2000): Complications during root canal Irrigations-literature review and case report. *Int Endod.* 33:186-93
- Hülsmann, M; Heckendorff, M; Lennon, A. (2003): Mode of action and indications for their use. *Int Endod.* 36:810-814
- Ingle, J.L; Bakland, L.K; Peters, D.L; Buchanan, L.S; Mullaney, T.P. (1996): Preparacion de la cavidad endodóntica. En: *Endodoncia.* Ingle, J.L.; Barkland, L.K. Mexico: Editorial Interamericana McGraw-Hill, pp. 187-93
- Jimenez, P; Navarro, J.L.; Murtra, J (1992): Estudio de morfología y composición del barro dentinario. *Oris:* 19-27
- Khedmat, S; Shokoubinejad, N. (2008): Comparison of the Efficacy of Three Chelating Agents in Smear Layer Removal. *J Endod* 34:599-602.
- Laird, W; Walmsley, A. (1991): Ultrasound in dentistry. Part 1-biophysical interaccctions. *J Dent.* 19:14-17

- Lea, S.C.; Walmsley, A.D.; Lumley, P.J. (2010): Analyzing Endosonic root canal file oscillations: an in vitro evaluation. *J Endod* 36: 880-3
- LEE, S.J; Wu, M.K; Wesselink, P.R. (2004): The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod.* 37:672-678
- Leonardo, M.R. (1994): Preparación biomecánica de los conductos radiculares. En: Tratamiento de conductos radiculares. Leonardo, MR; Leal, JM, Buenos Aires: Editorial Medica Panamericana, pp. 189-99.
- Leonardo, M.R. (2005): Endodoncia: Tratamiento de Conductos Radiculares. Principios, Técnicas y Biológicas. Sao Paulo Editorial: Artes Médicas Latinoamericanas., pp. 435-455.
- Leonardo, M.R (2009): Preparación de conductos radiculares en sentido corono-apical (Crown Down) sin presión. Técnica de Oregon modificada. En: Endodoncia: Conceptos Biológicos y recursos tecnológicos. M.R Leonardo, Renato de Toledo Leonardo, São Paulo: Editorial Artes Medicas, pp. 57-79
- Mader, C.L; Baumgartner, J.C.; Peters, D.D. (1984): Scanning electron microscopic investigation of the smear layer on root canal walls. *J Endod.* 10:477-83
- Mancini, Manuele; Cerroni, Loredana; Iorio, Lorenzo. (2013): Smear Layer Removal and Canal Cleanliness Using Different Irrigation Systems (EndoActivator, EndoVac, and Passive Ultrasonic Irrigation): Field Emission Scanning Electron Microscopic Evaluation in an In Vitro Study. *J Endod.* 39: 1456-60
- Mariani, A; Ortega, R; Valdés, Ch. (2001): Estudio in vivo de la eficacia antimicrobiana del gluconato de clorhexidina al 2% e hipoclorito de sodio al 2, 5% como irrigantes en endodoncia. Seminario de Tesis, Facultad de Odontología, Universidad de Valparaíso, Chile.
- Mayer, B.E; Peters, A.O.; Barbakow, F. (2002): Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod.* 35: 582-589
- McComb, D; Smith, D.C (1975): A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod.* 1: 238-42.
- Mello, I; Alvarado, B; Yoshimoto, D; Skelton Macedo, M.C.; Antoniazzi, J.H. (2010): Influence of Final Rinse Technique on Ability of Ethylenediaminetetraacetic Acid of Removing Smear Layer. *J Endod.* 3:512-514.
- Munley, P.J; Goodell, G.G. (2007): Comparison of Passive ultrasonic debridement between fluted and nonfluted instruments in root Canals. *J Endod* 33:578-80

- Park, E; Shen, Y; Khakpour, M. (2013): Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive pressure irrigation in an in vitro root canal model. *J Endod.* 39:511-515.
- Plotino, G; Pameijer, C.H.; Grande, N.M.; Somma, F. (2007): Ultrasonics in Endodontics: A Review of the literature. *J. Endod.* 33: 81-95
- Rödiger, T; Döllmann, S; Konietzschke, F; Drebenstedt, S; Hülsmann, M. (2010): Effectiveness of different irrigant techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: A scanning electron microscopy study. *J Endod.* 36:1983-87
- Rossi-Fedele, G; Dogramaci, E.J; Guastalli, A.R; Steir, L; Poli de Figueiredo, J.A (2012): Interactions between Sodium Hypochlorite, Chlorhexidine, EDTA, and Citrid Acid. *J Endod.* 38:426-431
- Roy, R.A; Ahmad, M; Crum, L.A. (1994): Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod.* 27:197-207
- Ruddle, C.J. (2008): Endodontic disinfection, Tsunami irrigation. *Endodontic Practice.* Feb: 7-15
- Sen, B.H; Wesselink, P.R.; Türkün, M. (1995): The Smear Layer: a phenomenon in a root canal therapy. *Int Endod.* 28:141-8
- Sirtes, G; Waltimo, T; Schaetzle, M; Zehnder, M. (2005): The Effects of temperatura on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity; and antimicrobial efficacy. *J Endod.* 31:669-671.
- Tasman, F; Chereli, Z; Ogan, C; Etikan, I. (2000): Surface tensión of root canal irrigants *Endod* 26: 586-87.
- Torabinejad, M; Khademi, A.A.; Babagoli, J; Cho, Y; Johnson, W.B; Bozhilov, K; Kim, J; Shabahang. (2003): A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 29:170-175
- Uroz-Torres y col (2010): Effectiveness of the EndoActivator System in Removing the Smear Layer after Root Canal Instrumentation. *J Endon.* 36: 308-11
- Van der Sluis, L.W, Versluis, M; Wu, M.K.; Wesselink, P.R. (2007): Passive ultrasonic Irrigation of the root canal: A review of the literatur. *Int Endod.* 40:415-426
- Van der Sluis, L.W; Wu, M.K; Wesselink, P.R. (2005): A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentin debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod* 38: 593-6.

- Violich, D. R; Chandler, N. P. (2010): The smear layer in endodontics- a review". Int Endod 43: 2-15
- Walmsley, A; Williams, A. (1989): Effect of constraint on the oscillatory pattern of endosonic files. J Endod. 15: 189-94.
- Walmsley, A. (1987): Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. Int Endod. 20: 105-111.
- Zehnder, M. (2006): Root Canal Irrigants. J Endod. 32: 389-96.
- Zhender, M; Schmidlin, P; Sener, B. (2005): Chelation in root canal reconsidered. J Endod. 31:817-820
- [www.rinncorp.com/pdf/Max-I-Probe%20Flyer\\_0408.pdf](http://www.rinncorp.com/pdf/Max-I-Probe%20Flyer_0408.pdf)