



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FO
FACULTAD DE
ODONTOLOGÍA



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**IRRIGACIÓN: LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN DEL SISTEMA DE
CONDUCTOS**

ALUMNO: Od.Roberto Cohn

DIRECTORA: Esp. Od Gimena Reyes

MENDOZA, Noviembre 2023

ÍNDICE

Resumen.....	Pág. 3
Introducción.....	Pág. 4
Caso Clínico.....	Pág.27
Discusión.....	Pág.32
Conclusión	Pág.39
Bibliografía.....	Pág.40

RESUMEN

Las bacterias juegan un papel clave en el desarrollo de la enfermedad pulpar y periapical, por lo que el control de la infección es un objetivo esencial del tratamiento de conducto para prevenir o curar la periodontitis apical

La irrigación del sistema de conductos es el procedimiento mediante el cual se eliminan restos y sustancias que puedan estar contenidos en la cámara pulpar o conductos radiculares. Este es un paso en la terapia endodóntica tan importante como lo son la correcta instrumentación, conformación y obturación de los conductos, no resulta posible dar forma y limpiar completamente los canales radiculares únicamente con el uso de instrumentación rotatoria. Con la irrigación se pretende la desinfección completa del sistema de conductos para así poder garantizar el éxito del tratamiento.

El hipoclorito de sodio es el irrigante más utilizado en el tratamiento endodóntico. En este producto, se puede encontrar más ventajas que desventajas por lo que con su correcto uso podemos obtener resultados óptimos en cuanto a limpieza y desinfección de los conductos. También son necesarios el uso de otros productos que ayudaran a lograr la limpieza y la conformación correcta como los quelantes, la clorhexidina, solución fisiológica, agentes que disminuyan la tensión superficial y de algunas combinaciones de dos o más soluciones para combinar sus propiedades deseadas.

Para lograr el objetivo de que estos irrigantes lleguen a estos sitios de difícil acceso se deben utilizar los correctamente los sistemas de dosificación asegurando un correcto flujo y volumen. También es posible optimizar la acción de los diferentes tipos de soluciones de irrigación como por ejemplo el uso de activación manual, sónica o ultrasónica

El objetivo que se busca en este trabajo es desarrollar los beneficios que se obtienen en la preparación del sistema de conductos con el uso de soluciones de irrigación, profundizando las características individuales de cada irrigante y las técnicas existentes para su óptima acción.

Se desarrolla un caso clínico con el que se ejemplifica que el uso de la irrigación permitió la permeabilidad de los conductos junto con su correcta conformación y obturación.

INTRODUCCIÓN

Las bacterias juegan un papel clave en el desarrollo de la enfermedad pulpar y periapical (Chávez de Paz, 2007), por lo que el control de la infección es un objetivo esencial del tratamiento de conducto para prevenir o curar la periodontitis apical (Ørstavik, 2019). Durante mucho tiempo, el desbridamiento y la desinfección del sistema de conductos radiculares se habían considerado principalmente una función de los instrumentos, mientras que se prestaba menos atención a los irrigantes (Schilder, 1974). Sin embargo, la evidencia acumulada reveló gradualmente que los instrumentos no pueden alcanzar una gran parte del sistema de conductos radiculares (Peters, 2004). Como resultado, la importancia percibida del riego creció considerablemente en las últimas décadas y esto finalmente condujo a un cambio de paradigma. Hoy en día, la instrumentación se considera en gran medida un medio para proporcionar acceso a la anatomía apical a los irrigantes, que luego se espera que realicen la mayor parte de la limpieza y desinfección (Gulabivala *et al.*, 2005). El cambio de paradigma motivó un renovado interés por la irrigación de conductos radiculares, que se manifiesta en la gran cantidad de estudios que se han publicado en los últimos 20 años.

Las infecciones del conducto radicular son causadas por biopelículas microbianas de múltiples especies adheridas a las superficies dentinarias (Svensäter y Bergenholtz, 2004), y esto constituye el principal desafío para los irrigadores del conducto radicular. Una biopelícula madura consta de múltiples capas de microorganismos incrustados en una sustancia polimérica extracelular de producción propia y utiliza varios mecanismos para resistir la acción de los agentes antimicrobianos (Costerton *et al.*, 1999). La matriz de sustancia polimérica extracelular crea una barrera física que dificulta la difusión de los antimicrobianos hacia el biofilm y también los neutraliza (Costerton *et al.*, 1999; del Pozo & Patel, 2007). La organización de los microorganismos en una estructura multicapa también conduce a gradientes de concentración de nutrientes y oxígeno a través de la biopelícula, lo que obliga a las células de las capas internas a entrar en estados metabólicos de crecimiento lento o de hambre (células inactivas) que son inherentemente menos

susceptibles a antimicrobianos (Chávez de Paz *et al.*, 2008; Costerton *et al.*, 1999). Además, la exposición al estrés (como los antimicrobianos de bajo nivel) desencadena la diferenciación de algunas células en una variante fenotípica altamente persistente. Estas células están bien adaptadas a las condiciones de estrés; permanecen en una fase estacionaria de crecimiento y exhiben resistencia a múltiples fármacos. Cuando las condiciones se vuelven más favorables, las células persistentes pueden proliferar y formar una nueva población con susceptibilidad normal (Costerton *et al.*, 1999; Hall-Stoodley *et al.*, 2004; Lewis, 2007).

Un problema adicional surge de la compleja anatomía del sistema de conductos radiculares. Además del conducto radicular principal, la biopelícula también puede residir en aletas que se extienden lateralmente desde el conducto principal, istmos que conectan conductos radiculares adyacentes en la misma raíz (Vertucci, 2005), conductos accesorios y ramificaciones apicales (Gulabivala *et al.*, 2005; Ricucci *et al.*, 2013). Los restos de dentina producidos durante la instrumentación también pueden acumularse en estas áreas y se cree que actúan como aislamiento protector para la biopelícula subyacente (Paqué *et al.*, 2009, 2011). Además, las bacterias invaden los túbulos dentinarios permeables, que se encuentran principalmente en el tercio medio y coronal del sistema de conductos radiculares (Vasiliadis *et al.*, 1983a), 1983b), con distinta profundidad (Love y Jenkinson, 2002). Los microorganismos que evaden la acción de los instrumentos y los irrigantes se consideran actualmente la principal causa de fracaso después del tratamiento primario y del retratamiento no quirúrgico (Gorni y Gaglianni, 2004; Zehnder y Paqué, 2011).

La anatomía del sistema de conductos radiculares crea una serie de obstáculos físicos para los irrigantes. El conducto radicular principal y la mayoría de las complejidades anatómicas, incluidos los túbulos dentinarios, son cavidades cerradas, por lo que la penetración del irrigante es inherentemente difícil.

El flujo de irrigación abundante, el mecanismo de transporte más eficiente y la eliminación de biopelícula, se limita principalmente al conducto radicular principal y a amplias áreas adyacentes debido a las limitaciones impuestas por el espacio disponible y la viscosidad del irrigante (Boutsioukis, 2019). La difusión de las moléculas y iones activos es un

proceso extremadamente lento e ineficiente (Verhaagen *et al.*, 2014 a). Evidentemente, incluso el irrigante más potente no será eficaz si no puede alcanzar sus objetivos dentro del sistema de conductos radiculares en cantidad suficiente. El efecto burbuja de aire atrapado (vapor lock) que no permite el paso de los irrigantes al tercio apical del conducto radicular es otro factor a tener en cuenta.

Las soluciones de irrigación más utilizadas actualmente son químicamente activas y su reacción directa con la biopelícula se considera la base de su efecto antimicrobiano. Sin embargo, estas soluciones también reaccionan con una variedad de otros sustratos dentro del sistema de conductos radiculares, por ejemplo, dentina u otros irrigantes. Estas reacciones a menudo se consideran efectos secundarios de la irrigación, no sólo porque las moléculas/iones activos del irrigante se consumen en reacciones no deseadas en lugar de atacar la biopelícula (Haapasalo *et al.*, 2000; Portenier *et al.*, 2001; Tejada *et al.*, 2001), sino también porque, las alteraciones de los componentes orgánicos e inorgánicos de la dentina podrían afectar a sus propiedades mecánicas o a la adaptación de los materiales de obturación (Augusto *et al.*, 2021; Pascón *et al.*, 2009).

La decoloración del diente como resultado de interacciones de los irrigantes también es una preocupación en algunos casos (Tay y Mazzoni, 2006).

Los efectos químicos no deseados de los irrigantes pueden extenderse más allá del sistema de conductos radiculares. La extrusión inadvertida del irrigante a través del agujero apical puede provocar daños en los tejidos periapicales y sintomatología pronunciada (Boutsioukis *et al.*, 2013 a; Guivarc'h *et al.*, 2017).

Las características más destacadas que deben tener las soluciones de irrigación son el bajo costo, poseer acción de lavado, mejorar el corte de la dentina por los instrumentos, control de la temperatura durante la instrumentación, buena penetración dentro del sistema de canales, no reaccionar con consecuencias negativas con otros materiales dentales y no debilitar a la dentina de conductos radiculares. La acción bacteriostática o bactericida, la capacidad de disolución sobre el tejido orgánico e inorgánico, la acción rápida y sostenida, así como un mecanismo de fácil aplicación, figuran entre los objetivos más importantes que debe cumplir un agente de irrigación ideal. Basrani 1999.

El hipoclorito de sodio (NaOCl), es el irrigante más popular y se considera ampliamente el irrigante de elección (Dutner *et al.*, 2012) debido a su excepcional acción antimicrobiana, particularmente contra las bacterias organizadas en biopelículas (Arias-Moliz *et al.*, 2009; Ruiz-Linares *et al.*, 2017; Wong & Cheung, 2014; Yang *et al.*, 2016) y su capacidad única para disolver componentes de biopelículas y restos de tejido pulpar (Burns DR, Hugh 1993). Además, puede reducir los factores de virulencia bacteriana como las endotoxinas y los ácidos lipoteicoicos (Hong *et al.*, 2016), también sirve como un lubricante eficaz para instrumentos rotatorios (Boessler *et al.*, 2007). Su bajo costo y amplia disponibilidad también pueden haber contribuido a su uso generalizado.

Químicamente está compuesto por un átomo de cloro (Cl), un átomo de sodio (Na) y un átomo de oxígeno (O). Además, es un agente proteolítico y tiene poder para disolver tejido orgánico.

Las soluciones de NaOCl son fuertemente alcalinas e hipertónicas. El NaOCl es También, un solvente orgánico eficiente que causa degeneración en la dentina debido a la disolución del colágeno por la ruptura del enlace entre los átomos de carbono y la desorganización de la estructura proteica primaria (T. Rödiger *et al.*, 2010).

Debido a que las moléculas de cloro son muy volátiles, la solución se torna inestable, es por ello que la misma debe ser almacenada en una botella no reactiva, hermética, de color oscuro y en un lugar fresco (Darcey *et al.*, 2016). El mecanismo de acción del NaOCl sobre el tejido orgánico se manifiesta a través de tres reacciones: una reacción de saponificación, una reacción de neutralización de aminoácidos y una reacción de cloraminación. En la reacción de saponificación actúa como un solvente orgánico y de grasas, degradando los ácidos grasos y transformándolos en sales de ácidos grasos (jabón) y glicerol (alcohol), lo cual reduce la tensión superficial de la solución. Sobre los aminoácidos reacciona neutralizándolos, formando agua y sal con la salida del ion hidroxilo, resultando en una reducción del pH (Estrela *et al.*, 2002).

En referencia a la reacción de cloraminación, el ácido hipocloroso presente en el hipoclorito de sodio, al entrar en contacto con el tejido orgánico, actúa como un solvente y libera cloro. Luego, éste se combina con una proteína del grupo amina formando

cloramina, la cual interfiere en el metabolismo celular. Además, el cloro, al ser un fuerte oxidante, tiene una acción antimicrobiana inhibiendo las enzimas bacterianas y llevando a una oxidación irreversible a los grupos sulfidrilos de las mismas (Estrela *et al.*, 2002). Las tres reacciones descritas ocurren ante la presencia de microorganismos y de tejido orgánico, conduciendo a un efecto antimicrobiano y al proceso de disolución de tejidos. Por otra parte, el ion hidroxilo daña el componente lipídico de la membrana bacteriana y el ADN; su alto pH desnaturaliza las proteínas y perjudica las condiciones celulares ideales. Asimismo, el ion cloro rompe los enlaces peptídicos disolviendo las proteínas y liberando, además, cloramina que es un compuesto antibacteriano. Por consiguiente, la solución de hipoclorito de sodio continúa siendo considerada una solución gold standard dentro de los irrigantes endodónticos (Darcey *et al.*, 2016).

En la literatura se puede encontrar que el NaOCL puede ser usado en concentraciones del rango de 0,5 a 6%. Las altas y bajas concentraciones son igualmente eficientes en reducir el número de bacterias en sistemas de conductos infectados pero el efecto de disolución de tejidos está directamente relacionado a la concentración (Estrela *et al.*, 2002).

El NaOCL se encuentra en diferentes presentaciones: NaOCl al 0.5%, Solución de Dakin,; NaOCl al 1% + ácido bórico, Solución de Milton; NaOCl al 2% , Solución de Labarraque, NaOCl al 4-6, 5%, Soda clorada doblemente concentrada y NaOCl al 5.25%, Preparación oficial USP.

El régimen de irrigación más efectiva es NaOCL al 5,25% por 40 min. La irrigación con concentraciones de 1,3 % y 2,5% para el mismo intervalo de tiempo es inefectivo para remover *E. faecalis* desde los túbulos dentinarios (Retamozo *et al.*, 2010).

El volumen es más importante para la desinfección que la concentración. La irrigación frecuente con NaOCL fresco es importante y el uso de gran cantidad de irrigante compensa las bajas concentraciones que pudieran utilizarse. Hay que tener en cuenta que el NaOCL inactivará estos componentes muy rápido por lo que solución irrigante fresca deberá ser agregado al sistema de canales constantemente. El ion cloro, el cual es responsable de la disolución y capacidad antibacteriana del NaOCL, es inestable y consumido rápidamente

durante la primera fase de disolución de tejidos, probablemente dentro de los 2 min., lo cual proporciona la razón para el continuo recambio.

En referencia al tiempo necesario para alcanzar niveles óptimos de acción química, algunos artículos refieren la acción bactericida en 30 min. usando NaOCL al 0,5%. Si más alta es la concentración se necesitará solo 30 seg. para hacer el mismo trabajo. Es importante recordar que la presencia de materia orgánica, exudado inflamatorio, restos de tejido y la biopelícula microbiana consume las moléculas de NaOCL y en consecuencia debilita su efecto. El tiempo óptimo que un irrigante con hipoclorito en una concentración determinada necesita permanecer en un sistema de conductos es aún un problema pendiente de respuesta (Zehnder, 2006).

Por otra parte, podemos modificar la eficacia del NaOCL alterando el pH ya que sus propiedades antibacterianas y disolución de tejidos decrece cuando se lo diluye en agua dando la siguiente reacción: $\text{NaOCL} + \text{H}_2\text{O} = \text{NaOH} + \text{HOCL}$ (ácido hipocloroso). En solución acuosa, el ácido Hipocloroso se disocia en anión hipoclorito (OCL⁻). El cloro disponible es la suma de HOCL y la concentración de OCL⁻ en la solución y puede ser definido como una medida de la capacidad oxidante y es expresada en término de la cantidad de cloro elemental (Zehnder, 2006).

El ácido hipocloroso se considera un oxidante más fuerte que el ion hipoclorito. La molécula del HOCL es responsable de la fuerte cloración y la acción oxidante sobre los tejidos y microorganismo. La disociación de este ácido hipocloroso depende del pH, a un pH 10, básicamente todo el cloro está en la forma de anión hipoclorito, lo contrario ocurre a un pH 4,5, donde el cloro está en la forma de ácido hipocloroso. Las propiedades desinfectantes decrecen con pH altos.

Un aumento de la temperatura en el NaOCL de baja concentración mejora su capacidad de disolver tejidos y remueve virutas de dentina más eficientemente. Es así como, la capacidad del NaOCL al 1 % a 45°C en disolver la pulpa dental humana es igual a una solución al 5,25% a 20°C (Zehnder, 2006).

La profundidad de penetración del NaOCL en los túbulos dentinarios varía entre 77 y 300 µm, y depende de la concentración, el tiempo y la temperatura (Zou *et al.*, 2010).

Desafortunadamente, aunque el NaOCl tiene muchas de las propiedades ideales, también tiene limitaciones como la toxicidad. Las características químicas responsables de la hidrólisis del biofilm produce efectos devastadores en células del tejido vivo siendo extremadamente citotóxico. Se han descrito algunos efectos tóxicos en tejidos vitales, resultando en hemólisis, ulceración cutánea y necrosis. Otras posibles complicaciones al utilizar este irrigante durante el tratamiento endodóntico son el daño ocular al ser inoculado accidentalmente, la inyección de NaClO más allá del foramen apical y también se han descrito reacciones de hipersensibilidad al hipoclorito de sodio en algunos pacientes (Mohammadi, 2008). Por tal motivo debe ser usado adecuadamente y con las medidas de precaución necesarias en un tratamiento endodóntico. Además, es inefectivo en la remoción del smear layer, corrosivo, puede causar decoloración y posee olor desagradable.

Aumentar la concentración también puede amplificar los efectos indeseables de la solución.

El NaOCl reacciona con el colágeno de la matriz dentinaria, especialmente después de una exposición previa a un agente quelante, y esto puede alterar el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y flexión y la microdureza de la dentina (Pascon *et al.*, 2009). Sin embargo, tales hallazgos no deben interpretarse como evidencia irrefutable.

Algunos investigadores enfatizan la importancia de remover el smear layer para permitir al irrigante, medicación y cementos penetrar dentro de los túbulos dentinarios y mejorar la desinfección. El componente orgánico del mismo logra ser degradado por la solución de NaOCl, no así el componente inorgánico. Para ello es necesario la utilización de agentes químicos de otra naturaleza como son los quelantes.

Los agentes quelantes pueden ser clasificados en débiles o fuertes; dentro del grupo de los quelantes fuertes se encuentran: Ácido etildiaminotetraacético (EDTA), Ácido cítrico y Ácido maleico mientras que un quelante débil es el Ácido etidrónico o etidronato (HEBP). El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es sugerido como irrigante porque puede quelar y remover la porción mineralizada del smear layer. Tiene la capacidad de captar

iones metálicos di y tricatiónicos como el Ca 2+ y el Fe 3+ que después de estar unidos al EDTA, permanecen en suspensión, pero presentan reactividad disminuida.

En exposición directa por tiempo extendido, el EDTA extrae proteínas de la superficie bacteriana por combinación con iones metálicos, lo cual puede eventualmente provocar la muerte bacteriana. Los quelantes tales como el EDTA, se unen a los iones Ca disponibles formando complejos estables, logrando un equilibrio sin tener lugar ninguna disolución adicional, por lo tanto, el EDTA es autolimitante (Hülsmann, Heckendorff and Lennon, 2003).

Sin embargo, para que pueda remover el smear layer efectivamente, un componente proteolítico como el NaOCL, debe usarse para remover el componente orgánico del mismo.

Un enjuague final continuo de 3 minutos con 5 ml de EDTA al 17%, remueve el smear layer de las paredes del conducto radicular, descalcificando la dentina a una profundidad de 20 a 30 μm en 5 min., sin mostrar erosión peritubular, lo que si se ve cuando el EDTA se usa como primer enjuague seguido por NaOCL al 5,25% (Saito *et al.*, 2008).

Las investigaciones que estudiaron la interacción del EDTA con NaOCL concluyeron que el EDTA mantuvo su capacidad de formar complejos con el Ca cuando se lo mezclaba con NaOCL, pero el EDTA causaba que el NaOCL perdiera su capacidad de disolver tejidos. Clínicamente, esto sugiere que el EDTA y NaOCL deben usarse separadamente.

En la endodoncia moderna, EDTA es usado por alrededor de 1 min. una vez que se completó la limpieza y conformación de los conductos, pudiéndose activar ultrasónicamente para una mejor penetración en los túbulos dentinarios. Cabe destacar que los quelantes tienen un rango de temperatura en la que trabajan mejor, cuando el EDTA es calentado de 20 a 90°, la capacidad de unirse al Ca decrece (Hülsmann, Heckendorff and Lennon, 2003) (Zehnder *et al.*, 2005).

Considerando la escasa acción del EDTA sobre el tejido orgánico, su moderada citotoxicidad y limitada acción bactericida se hace indispensable emplear una técnica alternada y secuencial de irrigación con NaOCl, la cual ha demostrado ser la más efectiva en cuanto a disolución del tejido pulpar, eliminación de microorganismos, eliminación de

la capa de desecho dentinario, facilita la instrumentación y finalmente aumenta la capacidad de sellado de los materiales de obturación.(Abbott , et al 1991). Desde el punto de vista biológico la ventaja principal que ofrece esta técnica de alternar secuencialmente estos agentes, se encuentra la difusión facilitada del hipoclorito de sodio (NaOCl) hacia el interior de los canalículos dentinarios, lo cual permite una mejor acción antibacteriana del NaOCl y una penetración superior del mismo.

Asimismo, cuando el EDTA interactúa con la CHX, se forma un precipitado blanco el cual el 90 % es EDTA o CHX, con menos de 1% de un producto de descomposición formado por agua, gluconato y sodio. La CHX no es degradada por el EDTA bajo condiciones normales, este precipitado es una sal formada por neutralización electrostática de cationes de CHX y aniones de EDTA. La significancia clínica de este precipitado es aún desconocida (Rasimick *et al.*, 2008).

El ácido cítrico es un ácido orgánico débil utilizado como irrigación final por su buena acción en remover el smear layer cuando se lo utiliza a una concentración del 10%, demostró ser menos citotóxico y agresivo en la respuesta inflamatoria que el EDTA al 17% (Mohammadi *et al.*, 2017).

El EDTA ejerce solo un efecto antimicrobiano débil (Arias-Moliz *et al.*, 2008, 2009; Ordinola-Zapata *et al.*, 2012), pero parece alterar la matriz de la biopelícula promoviendo así su desprendimiento (Bryce *et al.*, 2009; Busanello *et al.*, 2019), por lo que también puede complementar el efecto anti-biopelícula del NaOCl. A pesar de que una pequeña proporción de odontólogos parece utilizarlo como irrigante primario (Dutner *et al.*, 2012), actualmente no hay evidencia que respalde el uso de EDTA o cualquier otro quelante en lugar de NaOCl durante la preparación quimiomecánica. El EDTA es más biocompatible que el NaOCl (Vouzara *et al.*, 2016) y también es económico y está ampliamente disponible.

Otros quelantes fuertes menos populares que podrían usarse en lugar de EDTA son el ácido cítrico (Wayman et al. 1979, Pérez-Heredia *et al.*, 2006, Prado *et al.*, 2011) y el ácido maleico (Ballal *et al.*, 2009 a, 2016). Ambos son biocompatibles (Amaral *et al.*, 2007), pero también reaccionan con NaOCl y consumen su cloro disponible (Ballal *et al.*, 2011;

Zehnder *et al.*, 2005a). La actividad antimicrobiana del ácido cítrico es muy limitada (Arias-Moliz *et al.*, 2009), pero el ácido maleico es capaz de matar bacterias organizadas en biopelículas (Ferrer-Luque *et al.*, 2010). Recientemente, varios quelantes débiles han llamado la atención como candidatos para la quelación continua en un esfuerzo por simplificar el protocolo de irrigación (Wright *et al.*, 2020; Zehnder *et al.*, 2005). Estos agentes se pueden mezclar con NaOCl sin consumir su cloro libre disponible a corto plazo (Biel *et al.*, 2017; Zehnder *et al.*, 2005), por lo que la mezcla mantiene las propiedades antimicrobianas y de disolución de tejidos del NaOCl y también puede eliminar restos de tejido duro y la capa de barro, aunque después de una exposición más prolongada (De-Deus *et al.*, 2008a ;Lottanti *et al.*, 2009 ;). Por lo tanto, se puede utilizar una mezcla recién preparada como único irrigante durante la preparación del conducto radicular (Arias-Moliz *et al.*, 2014; Biel 2017 *et al.*). El HEDP (1-hidroxietilideno 1,1-difosfonato), también conocido como ácido etidróico o etidronato, fue uno de los primeros quelantes débiles propuestos (Zehnder *et al.*, 2005), pero también se están investigando otras soluciones, como el EDTA tetrasódico (Solana *et al.*, 2017; Tartari *et al.*, 2017) y el clodronato (Wright *et al.*, 2020).

Otro agente irrigante ampliamente utilizado por los profesionales para la preparación de los conductos radiculares es el gluconato de clorhexidina (CHX) que es una sal fácilmente soluble en agua, muy estable, la cual posee una molécula fuertemente básica con un pH entre 5,5 y 7. Químicamente pertenece al grupo polibiguanida que consiste en dos aros simétricos de 4-clorofenol y dos grupos biguanida conectados por una cadena central de hexametileno (Zehnder, 2006). Este compuesto tiene una actividad de amplio espectro contra bacterias Gram positivas, negativas y antifúngico, como resultado de la disrupción de la pared de la célula bacteriana debido a su carga catiónica capaz de unirse electrostáticamente a la superficie cargada negativamente de la bacteria, dañando las capas exteriores de la pared celular y haciéndola más permeable. Debido a la falta de acción de disolución de tejidos orgánicos del canal radicular (Naenni *et al.*, 2004; Okino *et al.*, 2004) excluye su uso como irrigante primario, excepto en casos muy raros (Dandakis *et al.*, 2000). Uno de los principales argumentos a favor de CHX es su capacidad para unirse a

la dentina y ejercer un efecto antimicrobiano prolongado (sustantividad), que puede prevenir la recolonización bacteriana después del tratamiento de conducto (Komorowski *et al.*, 2000; Rosenthal *et al.*, 2004). Contrariamente a la creencia popular, la CHX es igual o más citotóxico que el NaOCl en la misma concentración (Scott *et al.*, 2018). La clorhexidina ha sido reconocida como un efectivo agente antimicrobiano oral utilizado en la terapia periodontal, prevención de caries y como agente terapéutico en las infecciones orales en general. Del mismo modo se señala el potencial de la clorhexidina cuando es utilizada como solución de irrigación y/o medicamento entre sesiones en la terapéutica endodóntica, tomando ventaja de su poder antimicrobiano. Es una base fuerte y es más estable en forma de sales. La preparación más común es la sal de digluconato por su alta solubilidad en agua. Entre las principales propiedades de la clorhexidina para su aplicación en Endodoncia se destaca el efecto bactericida y bacteriostático, en altas concentraciones la clorhexidina induce la precipitación o coagulación del citoplasma celular. La actividad antimicrobiana de la clorhexidina se debe a que es absorbida por la pared celular causando rotura y pérdida de los componentes celulares (Yesilsoy *et al.*, 1995). Genera un efecto bacteriostático en bajas concentraciones, sustancias de bajo peso molecular, como el potasio y el fósforo pueden disgregarse ejerciendo dicha acción. Esto ocurre debido a la lenta liberación de la clorhexidina. Se ha dicho que el efecto bacteriostático de la clorhexidina es de mayor importancia que el efecto bactericida (Fardal y Turnbull, 1986). Tiene actividad antimicrobiana de amplio espectro, es activa contra un amplio rango de organismos gram +, gram -, levaduras, hongos, anaerobios facultativos, y aerobios. Fardal y Turnbull (1986) afirman que los estafilococos, *Streptococcus mutans*, *salivaris* y la *Escherichia coli* son altamente susceptibles a la clorhexidina; el *Streptococcus sanguis* posee susceptibilidad intermedia y la *klebsiella* baja susceptibilidad. También afirman que la clorhexidina tiene la capacidad de desnaturalizar los *Proteus* y las *Seudomonas*.

Una de sus principales propiedades es la sustentividad, el gluconato de clorhexidina es adsorbido por la hidroxiapatita de la superficie dental y las proteínas salivales y es

subsecuentemente liberado cuando disminuye la cantidad del mismo en el medio bucal (Fardal y Turnbull, 1986).

La adsorción de iones de CHX cargados positivamente a la pared dentinaria previene su colonización durante un periodo que excede la aplicación del medicamento. Algunos estudios indican que la sustantividad de CHX al 2% es de 2 a 3 días, sin embargo, en otros se informa que podría persistir de 4 a 12 semanas (Mohammadi *et al.*, 2014).

En altas concentraciones (2%) presenta un efecto bactericida, haciendo precipitar el contenido citoplasmático. En bajas concentraciones (0,2%) provoca la salida de calcio y potasio de la célula, actuando como un elemento bacteriostático (Mohammadi y cols., 2014).

Al ser un potente antiséptico en odontología es utilizado en concentraciones de 0,1 a 0,2% para el control químico de la microbiota de la cavidad oral y en concentración de 2% como irrigante y como medicamento intracanal. No obstante, al no tener capacidad de disolver tejido orgánico, no puede reemplazar al NaClO durante el tratamiento endodóntico (Zehnder, 2006).

Debido a las propiedades anteriormente mencionadas, varios investigadores han sugerido el uso de la clorhexidina como solución de irrigación de los conductos radiculares. Los resultados del estudio realizado por Delany *et al.* (1982) sostienen que la solución de clorhexidina al 2% es un agente antimicrobiano efectivo cuando es utilizada como solución irrigante de los conductos radiculares. Al ser utilizada la clorhexidina para estos fines, hubo una drástica reducción de la flora bacteriana dentro del conducto radicular luego de la instrumentación.

Los irrigantes que más se utilizan en la práctica diaria o cotidiana son el gluconato de clorhexidina e hipoclorito de sodio, varios estudios científicos señalan que al mezclar dichos irrigantes su potencial no aumenta favorablemente, al contrario, produce una reacción química que da como resultado la formación de un precipitado rojo anaranjado oscuro llamado Paracloroanilina, (Basrani *et al.*, 2007; Jeong *et al.*, 2021) dando la posibilidad de obstruir el conducto radicular, manchar la pieza dentaria llevando a un fracaso estético del tratamiento, pero si se usa el hipoclorito de sodio primero y como

irrigante de refuerzo complementario algún quelante, como el EDTA, ayudará a erradicar la parte bacteriana y destruirá los microorganismos que estén presentes.

El compuesto paracloroanilina mostró ser tóxico en humanos con exposiciones cortas, resultando en cianosis la cual es una manifestación de la formación de metahemoglobina. Esta interacción se evita o se minimiza irrigando el conducto con agua destilada o solución fisiológica entre ambos irrigantes o usando por ejemplo EDTA después del NaOCl y antes de CHX o alternativamente secando los canales con puntas de papel.

Los irrigantes necesitan desempeñar una variedad de funciones y, dado que aún no se ha encontrado el irrigante ideal, se han desarrollado mezclas de dos o más soluciones para combinar sus propiedades deseadas. Un ejemplo son la combinación de NaOCl y quelantes débiles que ya se han comentado.

Los irrigantes de uso común, como NaOCl, EDTA y CHX, a veces se combinan con tensioactivos para reducir su tensión superficial. Esta idea surge de la idea errónea generalizada de que una tensión superficial más baja puede mejorar la penetración del irrigante en el sistema de conductos radiculares (Abou-Rass & Patonai, 1982; Giardino *et al.*, 2006;). Sin embargo, la tensión superficial solo actúa en las interfaces formadas entre fluidos inmiscibles y ninguna de dichas interfaces restringe la penetración del irrigante en el conducto radicular in vivo (Boutsioukis, 2019). La adición de tensioactivos no mejora la actividad antimicrobiana del NaOCl (Baron *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2012) o su capacidad de disolución tisular (Clarkson *et al.*, 2012; De-Deus *et al.*, 2013;). Por el contrario, puede incluso acelerar el consumo de su cloro libre disponible (Guastalli *et al.*, 2015). La combinación de CHX con tensioactivos parece tener un efecto más fuerte contra la biopelícula que el de la CHX sola (Shen *et al.*, 2011;), pero esto probablemente se debe a que la acción muy débil de CHX se complementa con la acción directa y el efecto antimicrobiano del surfactante en lugar de la reducción de la tensión superficial (Wang *et al.*, 2012). La eliminación de los restos acumulados de tejido duro y la capa de barrillo o la quelación del calcio tampoco parecen verse afectadas por la adición de tensioactivos a diversos irrigantes (De-Deus *et al.*, 2008b; Guerreiro *et al.*, 2020;).

Algunas mezclas disponibles, como BioPure MTAD (Dentstply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU.), Tetraclean (Ogna Laboratori Farmaceutici, Muggiò, Italia) y QMix (Dentstply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU), contienen un antimicrobiano, un agente quelante y uno o más tensioactivos. Aunque estas mezclas se han recomendado principalmente para un enjuague al final de la preparación en lugar de EDTA para eliminar la capa de barro y complementar el efecto antimicrobiano del NaOCl (Giardino *et al* 2007; Stojicic *et al.*, 2012; Torabinejad *et al.*, 2003), la evidencia actualmente disponible sugiere que no proporcionan ninguna ventaja clara sobre el uso concertado de EDTA y NaOCl después de la instrumentación (Baumgartner *et al.*, 2007; Dai *et al.*, 2011). La resistencia bacteriana y la decoloración de los dientes debido a la doxiciclina que contiene (Tay y Mazzoni, 2006) son otras preocupaciones con respecto a MTAD y Tetraclean.

Existen algunos parámetros q debemos respetar para administrar el irrigante a todo el sistema de conductos radiculares para que entre en estrecho contacto con la mayor superficie de dentina posible; refrescar el irrigante frecuentemente para compensar su consumo; desarrollar un flujo inverso para sacar los materiales desprendidos y el irrigante magotado fuera del sistema de conductos radiculares y así evitar la extrusión inadvertida del irrigante a través del foramen apical.

La irrigación con jeringa sigue siendo la técnica más popular para administrar irrigantes dentro de los conductos radiculares tanto entre los endodoncistas como entre los odontólogos generales. Las jeringas de plástico de diferentes tamaños (1 a 20 ml) se utilizan comúnmente para irrigación y aunque las de gran volumen potencialmente permiten algunos ahorros de tiempo, son más difíciles de controlar la presión y pueden ocurrir accidentes por extravasación de irrigante. Por lo tanto, para maximizar la seguridad y el control, se recomienda el uso de jeringas de 1 a 5 ml. Todas las jeringas para irrigación endodóntico deben tener un diseño Luer-Lok y debido a las reacciones químicas entre muchos irrigantes, deben utilizarse jeringas separadas para cada solución. La eficacia de la irrigación con jeringa depende de la proximidad de las agujas al extremo apical del conducto radicular (Boutsioukis *et al.*, 2010 a, 2010 b; Chen *et al.*, 2014), el espacio disponible en el tercio apical (Boutsioukis *et al.*, 2010c; Boutsioukis & Gutierrez Nova,

2021) y, en determinados casos, también del caudal del irrigante (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021).

La evidencia actual sugiere que las agujas de irrigación son de dos tipos: agujas que permiten que el irrigante fluya directamente a través de su punta independientemente de su forma particular (extremo abierto) y agujas con una punta cerrada que impide el flujo directo, por lo que el irrigante fluye a través de uno o más agujeros laterales (cerrados) (Boutsioukis *et al.*, 2010a). Debido a la dirección y la intensidad de los chorros de irrigación creados, las agujas abiertas parecen más efectivas que las agujas cerradas del mismo tamaño en términos de penetración e intercambio de irrigante (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Boutsioukis *et al.*, 2010 a, 2010 b; Shen *et al.*, 2010;), pero también corren un mayor riesgo de extrusión inadvertida de irrigante a través del apical foramen (Psimma *et al.*, 2013a , 2013 b). La posición óptima para las agujas de extremo abierto es entre 2 y 3 mm menos que la longitud de trabajo (mientras que las agujas de extremo cerrado deben colocarse a 1 mm de la longitud de trabajo (Boutsioukis *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c; Chen *et al.*, 2014), siempre sin presión contra las paredes del conducto (Psimma *et al.*, 2013b). Por lo tanto, es imperativo utilizar agujas finas y flexibles (27-31G) que puedan alcanzar estas posiciones incluso en conductos radiculares curvos. Hoy en día, la aguja 30G puede considerarse como el estándar clínico, pero dadas las tendencias en la instrumentación del conducto radicular (Gluskin *et al.*, 2014), las agujas 31G pueden convertirse en el estándar en un futuro próximo. Es de destacar que las agujas grandes (21-25G) tan comúnmente utilizadas en el pasado (Brown & Doran, 1975; Chow, 1983; Druttman & Stock, 1989 ;) solo permitió que el irrigante alcanzara hasta el tercio medio del conducto radicular, lo que puede haber tenido implicaciones para la efectividad de los irrigantes.

Cuando se utilizan agujas de 30-31G, el conducto radicular debe ampliarse a un tamaño apical mínimo de 30-35 para evitar que se atasquen. El agrandamiento hasta este tamaño también es importante para la penetración del irrigante apicalmente a la aguja debido a la viscosidad del irrigante que limita el flujo en áreas estrechas del sistema de conductos radiculares (Boutsioukis, 2019; Boutsioukis *et al.*, 2010c). El irrigante no puede llegar

hasta la longitud de trabajo en conductos radiculares preparados con un tamaño apical de 25 o menos, independientemente del tipo y tamaño de la aguja (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021). La penetración mejora enormemente en conductos radiculares más grandes (Boutsioukis *et al.*, 2010c; Chen *et al.*, 2014) y permite que el irrigante demuestre mejor su actividad antimicrobiana. Un estudio clínico no encontró diferencias significativas en la reducción de los recuentos bacterianos después de la instrumentación a un tamaño apical de 20 a 25 y NaOCl al 2,5% o irrigación salina, pero la diferencia se volvió significativa después de una preparación adicional a un tamaño de 35 a 50 (Rodrigues *et al.*, 2017). Un aumento en el tamaño apical también reduce el riesgo de extrusión involuntaria de irrigante a través del agujero apical (Psimma *et al.*, 2013a). La conicidad del conducto radicular, por otro lado, parece ser menos importante para la penetración del irrigante en el tercio apical (Boutsioukis *et al.*, 2010d).

El caudal de irrigación es quizás uno de los parámetros que más se pasa por alto en la irrigación de conductos radiculares. En primer lugar, se afecta la penetración del irrigante apicalmente en una aguja de extremo cerrado; a caudales $<0,05$ ml/s, el irrigante apenas llega hasta la punta de la aguja, mientras que puede alcanzar hasta 1-1,5 mm apicalmente hasta la punta cuando el caudal se aumenta a 0,15-0,20 ml/s (Boutsioukis & Gutiérrez Nova, 2021 ; Boutsioukis *et al.*, 2009 ; Verhaagen *et al.*, 2012). Cuando se utilizan agujas de punta abierta, la penetración del irrigante es menos susceptible a cambios en el caudal (Boutsioukis & Gutierrez Nova, 2021; Park *et al.*, 2013). En segundo lugar, el caudal afecta el gradiente de velocidad cerca de la pared del conducto radicular. Un caudal de irrigación relativamente alto (0,17 ml/s) y la limpieza mecánica resultante parecen ser más importantes que la concentración de NaOCl en lo que respecta a la eliminación de biopelículas durante la irrigación con jeringa *in vitro* (Pereira *et al.*, 2021).

La irrigación con jeringa parece ser bastante efectiva en el conducto radicular principal cuando se cumplen los requisitos antes mencionados. Varios estudios *in vivo* y un ensayo clínico no encontraron ninguna diferencia significativa entre la irrigación con jeringa y una variedad de otros métodos, incluida la irrigación con presión negativa y la activación sónica y ultrasónica, con respecto a la eliminación de restos de tejido blando, desechos de

tejido duro y bacterias o biopelícula del conducto radicular principal o la curación de la periodontitis apical en dientes con un solo conducto radicular y una anatomía relativamente simple (Adcock *et al.*, 2011; Bhuva *et al.*, 2010; Brito *et al.*, 2009; Howard *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2011; Klyn *et al.*, 2010;). Por el contrario, los estudios que llegaron a la conclusión opuesta generalmente no ampliaron los canales a un tamaño adecuado o colocaron las agujas demasiado lejos de la longitud de trabajo (Azim *et al.*, 2016; Hockett *et al.*, 2008; Huang *et al.*, 2008; Kishen *et al.*, 2018; Nielsen & Baumgartner, 2007; Villalta-Briones *et al.*, 2021). Por lo tanto, la irrigación con jeringa parece ser un método de irrigación suficiente para dientes con un solo conducto radicular y anatomía simple. Sin embargo, el flujo desarrollado no puede penetrar mucho dentro de las irregularidades anatómicas como las aletas (Amato *et al.*, 2011; Conde *et al.*, 2017; Jiang *et al.*, 2012; Rödig *et al.*, 2010a;), istmos (Adcock *et al.*, 2011; Burleson *et al.*, 2007; Gutarts *et al.*, 2005; Leoni *et al.*, 2017; Paqué *et al.*, 2011; Versiani *et al.*, 2016) y canales laterales (Al-Jadaa *et al.*, 2009a; de Gregorio *et al.*, 2010), por lo que los métodos de activación de los irrigantes pueden ser útiles en casos con anatomía más compleja.

La compleja anatomía presente en el sistema de conductos limita nuestra habilidad para limpiar y desinfectar de manera predecible. La remoción de cualquier resto pulpar vital y necrótico, microorganismos y sus toxinas, así como el barrillo dentinario que se produce durante la instrumentación, es esencial para el éxito del tratamiento de conductos.

Durante los últimos años se han desarrollado nuevas técnicas de irrigación, empleando sistemas de activación y liberación, con el objetivo de mejorar la técnica convencional y lograr que el irrigante acceda a las zonas más inaccesibles del entramado radicular, como son: áreas no instrumentadas, conductos laterales, deltas apicales, etc. Estas técnicas las podemos dividir en tres tipos diferentes: activación manual, activación sónica y activación ultrasónica.

La agitación manual es una de las técnicas básicas de activación dinámica de los irrigantes. Ésta puede ser realizada con limas manuales, cepillos o cono de gutapercha adaptado con movimientos hacia arriba y abajo del espacio del conducto mientras se libera el irrigante. Hay que tener cuenta que la activación dinámica manual comienza tempranamente

durante la preparación del canal cuando la primera lima exploradora es ubicada dentro del mismo y su progresión mueve el irrigante más allá de la punta y una vez que la longitud de trabajo ha sido conseguida, el movimiento recíprocante vertical usado permite a la solución involucrar todo el espacio del canal (Vera *et al.*, 2012).

Obviamente, en este estadio del procedimiento la cantidad de irrigante es pequeña, durante la conformación del canal, el uso repetido de la lima de permeabilidad después de cada instrumento ayuda a romper las burbujas de gas y mueve el irrigante fresco en apical mezclándolo con la solución estancada de la “zona muerta” (Gao *et al.*, 2009).

Después que el conducto ha sido conformado, es llenado con el irrigante y un cono maestro de gutapercha es insertado, y luego se bombea hacia arriba y abajo con movimientos rápidos de 3 mm. Esto puede superar el vapour lock y facilita el recambio del irrigante cerca de la longitud de trabajo final, mientras que al mismo tiempo desinfecta el cono de gutapercha previo a la cementación (Darcey *et al.*, 2016).

La agitación dinámica manual es aún una manera de ayudar al irrigante a estar en contacto con las paredes del conducto, alcanzar la porción apical del mismo y desalojar el efecto vapour lock. Genera altos cambios de presión intracanal durante el movimiento de entrada y salida del cono y la alta frecuencia de los golpes crea turbulencias y mejora la difusión, además posee la ventaja de no corte de las paredes, por lo tanto, no hay riesgo de generar nuevo smear layer o transportación externa del foramen. La presencia de un espacio delgado entre el cono y las paredes del canal es crítica para permitir el reflujo del irrigante e induce un efecto hidrodinámico efectivo (Andrabi *et al.*, 2014).

Un cambio significativo en los procedimientos de irrigación se produjo con la activación sónica, que es aquella que emplea este tipo de energía para distribuir el irrigante a lo largo de todo el conducto. Fue introducido en el campo de la endodoncia por Tronstadt y cols. en 1985. Al igual que ocurre con la activación ultrasónica, el instrumento que se utilice debe actuar de manera pasiva, evitando el contacto con las paredes para que no disminuya su efecto.

Los instrumentos sónicos actúan a una menor frecuencia (1-8 khz) que los ultrasónicos (25-40 khz). Uno de los sistemas disponible con esta tecnología es el EndoActivador

(Dentsply Tulsa Dental Specialties, USA) que es una pieza de mano que opera con baterías, posee un motor con tres velocidades y dispone de tres puntas poliméricas de diferentes tamaños (15/.02, S5/.04, 35/.04), estas puntas agitan la solución irrigante ubicada dentro del conducto previamente llevada con jeringa y aguja. Los movimientos oscilatorios se originan fundamentalmente alrededor de la punta del instrumento, y cuando se activa la irrigación de manera pasiva también ocurre el fenómeno de microcorriente acústica. La amplitud de oscilación de las puntas EndoActivator (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, EE. UU) es de aproximadamente 1200 μm (Jiang *et al.*, 2010a) y la del EDDY introducido más recientemente (VDW, Munich, Alemania) es de aproximadamente 350 μm (Neuhaus *et al.*, 2016; Swimberghe *et al.*, 2019b). Por lo tanto, se necesita un mínimo de espacio libre para su oscilación sin obstáculos dentro de un conducto radicular. Esto rara vez es factible, por lo que es inevitable un contacto muy frecuente con la pared (Jiang *et al.*, 2010a) y una gran parte de la limpieza y desinfección se produce en el conducto radicular principal, esto puede deberse a este efecto físico directo más que a la agitación del irrigante. Claramente, tal efecto no puede ir más allá del conducto radicular principal y parece ser redundante cuando está precedido por una preparación mecánica y una irrigación con jeringa (Hoedke *et al.*, 2021). El contacto entre la punta y la pared también amortigua la oscilación y, contrariamente a la creencia común (Haapasalo *et al.*, 2012), estas puntas de plástico también pueden cortar la dentina y crear una capa de barro (Kanaan *et al.*, 2020).). Por lo tanto, se necesita un mínimo de espacio libre para su oscilación sin obstáculos dentro de un conducto radicular. Esto rara vez es factible, por lo que es inevitable un contacto muy frecuente con la pared (Jiang *et al.*, 2010a) y una gran parte de la limpieza y desinfección se produce en el conducto radicular principal in vitro y ex vivo.puede deberse a este efecto físico directo más que a la agitación irrigante. Claramente, tal efecto no puede ir más allá del conducto radicular principal y parece ser redundante cuando está precedido por una preparación mecánica y una irrigación con jeringa (Hoedke *et al.*, 2021).

La activación sónica y ultrasónica se han probado más eficaces que la manual. No obstante, la técnica ultrasónica ha obtenido mejores resultados a la hora de eliminar

detritus del conducto, así como al distribuir el irrigante y penetrar en áreas no instrumentadas en comparación con la activación sónica

La activación ultrasónica es actualmente el método de activación de irrigación más popular y (Dutner *et al.*, 2012; de Gregorio *et al.*, 2015; Savani *et al.*, 2014; Willershausen *et al.*, 2015).

A pesar del contacto frecuente con la pared (Boutsioukis *et al.*, 2013b), las limas ultrasónicas actúan principalmente agitando el irrigante circundante en lugar de un efecto físico directo que inevitablemente se limitaría al conducto radicular principal. Su movimiento oscilatorio a ~30 kHz genera un flujo acústico (Jiang *et al.*, 2010a; Verhaagen *et al.*, 2014b), que agita el irrigante en el canal principal, transporta el irrigante más lejos hacia áreas remotas del sistema de conductos radiculares y mejora la limpieza.

Para este fin se han utilizado una variedad de limas ultrasónicas, alambres lisos y agujas sin que ningún tipo en particular sea claramente superior a los demás, pero las limas K parecen ser las más populares (Căpută *et al.*, 2019). Las limas deben insertarse a 2 o 3 mm de la longitud de trabajo para que el flujo llegue al extremo apical del conducto radicular (Malki *et al.*, 2012). Debe haber suficiente espacio disponible en esa posición tanto para la lima como para su oscilación sin obstáculos, por lo que la activación debe tener lugar sólo después de completar la preparación quimiomecánica y se deben preferir limas ultrasónicas de tamaño pequeño. Dada su amplitud de oscilación promedio cuando se impulsan a esta frecuencia (~50–80 μm), el tamaño mínimo de preparación apical se puede estimar en 30–35 (Retsas & Boutsioukis, 2019).

Los fenómenos producidos durante la activación ultrasónica dependen del ajuste de potencia del dispositivo de ultrasonido. Una potencia más alta da como resultado un flujo más intenso y una limpieza mejorada (Jiang *et al.*, 2011), pero los riesgos de fractura de la lima (Ahmad & Roy, 1994; Craig Rhodes, 2021) y eliminación inadvertida de la dentina (Boutsioukis & Tzimpoulas, 2016; Retsas *et al.*, 2016) también debe tenerse en cuenta. Este último es un problema universal para todo tipo de limas ultrasónicas y alambres lisos. La mayoría de los fabricantes recomiendan utilizar aproximadamente entre el 30% y el

50% de la potencia máxima disponible para la activación del irrigante (Acteon-Satelec, 2018; Electro Medical Systems, 2012; NSK, 2017).

La activación intermitente durante períodos cortos combinada con la administración de irrigante fresco mediante una jeringa y una aguja en el medio parece usarse más ampliamente que la activación continua (Căpută *et al.*, 2019). El inicio repetido de la oscilación mejora la eficacia de limpieza y posiblemente también la eliminación de biopelículas en comparación con la activación ininterrumpida durante el mismo período de tiempo (Jiang *et al.*, 2010b), y la reposición frecuente de irrigante compensa su consumo en reacciones químicas (Macedo *et al.*, 2014c) y la pérdida de irrigante por salpicaduras fuera de la cámara pulpar (Macedo *et al.*, 2010). Un protocolo popular para la activación intermitente es el de 3 períodos de 20 segundos, aunque se utilizan protocolos incluso más cortos (3×10 segundos) (Căpută *et al.*, 2019).

Existen dos tipos de irrigación ultrasónica: una irrigación que es combinada con la instrumentación ultrasónica, y otra denominada irrigación pasiva ultrasónica (PUI: passive ultrasonic irrigation), donde no se emplea instrumentación ultrasónica. El término PUI, fue introducido por Weller y cols., en 1980

Cuando se habla de irrigación pasiva, se refiere a que el instrumento empleado no tiene efecto cortante sobre las paredes, sino que solamente transmite la energía al irrigante. Esta energía puede producir dos fenómenos sobre el líquido: microcorriente acústica (acoustic microstreaming) o el fenómeno de cavitación. Acoustic streaming o corriente acústica, término introducido por Walmsley en 1987, es el rápido movimiento de un fluido en un movimiento circular en torno a una lima en vibración. La transmisión acústica que se produce en el conducto durante la irrigación ultrasónica se define como la transmisión que se produce cerca de pequeños obstáculos colocados dentro de un campo de sonido, cerca de pequeñas fuentes de sonido, membranas vibrantes o alambres, que surgen de las fuerzas de fricción entre un límite y medianas vibraciones de frecuencia circular. El patrón de transmisión se corresponde con el patrón característico de los nodos y los antinodos a lo largo de la longitud de la lima oscilante. La amplitud de desplazamiento es máxima en la punta de la lima, probablemente causando un flujo direccional de la parte coronal del

conducto. Cuando la lima toca la pared del conducto en un antinodo se reducirá más la amplitud de desplazamiento en comparación con cuando toca en un nodo. Cuando la lima no puede vibrar libremente en el conducto, el microstreaming será menos intenso, sin embargo, no se detendrá completamente. El acoustic microstreaming resultante depende inversamente de la superficie de la lima que contacta con la pared del conducto. En conductos curvos, precurvar la lima dará lugar a un microstreaming más potente. Una lima precurvada muestra el mismo patrón de nodos y antinodos que una lima recta tanto en aire como en la geometría de un conducto reducido.

La cavitación en el contexto de mecánica de fluidos se describe como la formación de cavidades en un líquido a través de fuerzas de tracción inducidas por fluidos a alta velocidad. La cavitación acústica se puede definir como la creación de nuevas burbujas o la expansión, contracción y/o distorsión de las burbujas pre-existentes (núcleos) en un líquido, un proceso que está asociado a la energía acústica. Según (Roy *et al.*, 2012) pueden ocurrir dos tipos de cavitación durante la activación pasiva ultrasónica: cavitación estable y cavitación transitoria. La cavitación estable puede definirse como la pulsación lineal de cuerpos llenos de gas en un campo de ultrasonidos de baja amplitud. La cavitación transitoria ocurre cuando las burbujas de vapor son sometidas a pulsaciones altamente energéticas. Cuando las presiones acústicas son lo suficientemente altas, las burbujas pueden ser conducidas a un colapso violento, radiando ondas de choque y generando altas presiones y temperaturas internas. La energía en el punto de colapso es en algunos casos suficiente para disociar las moléculas de gas en la burbuja, que se recombinan radiactivamente para producir luz, un proceso conocido como sonoluminiscencia. En los estudios de (Ahmad *et al.*, 2020) la sonoluminiscencia se utilizó para detectar la cavitación transitoria.

La cavitación transitoria sólo se produce cuando la lima vibra libremente en el conducto o cuando toca suavemente (no completamente) la pared del mismo. El aumento (intencional) de contacto con la pared del conducto, como en la irrigación ultrasónica, excluye la cavitación transitoria. La característica de la superficie de la lima es importante para la mejora de la cavitación. En un estudio de (Roy *et al.*, 1994). una lima lisa con

bordes afilados y una sección transversal cuadrada produjo más cavitación transitoria que una normal de K-file. Los bordes afilados podrían haber inducido la llamada cavitación de borde. La cavitación transitoria era visible en el extremo apical y a lo largo de la longitud de la lima. Cuando la lima entró en contacto con el conducto, la cavitación estable resultó menos afectada que la cavitación transitoria y se podía observar principalmente en el punto medio de la lima. Una lima preformada en un canal curvado tiene más probabilidades de producir cavitación transitoria en lugar de una lima recta.

La evidencia actual indica que es claramente más eficaz que la irrigación con jeringa en cuanto al desbridamiento de extensiones ovales no instrumentadas, aletas, istmos y canales laterales, pero se dispone de información muy limitada sobre su efecto antimicrobiano en esas zonas y ningún ensayo clínico ha encontrado aún alguna mejora en el resultado del tratamiento a largo plazo (Căpută *et al.*, 2019).

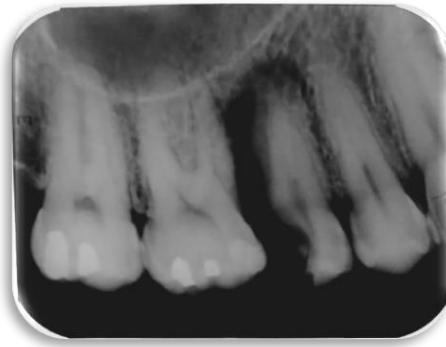
El objetivo que se busca en este trabajo es desarrollar los beneficios que se obtienen en la preparación del sistema de conductos con el uso de soluciones de irrigación, profundizando las características individuales de cada irrigante y las técnicas existentes para su óptima acción.

CASO CLÍNICO

Se presentó a la consulta en la Carrera de Especialidad en Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Cuyo, una paciente de sexo femenino 20 años. Se confecciono la historia clínica donde la paciente relató no presentar enfermedades sistémicas relevantes.

Al examen intraoral, se observó caries macropenetrante con gran destrucción coronaria distooclusal en elemento 15.

A las pruebas de sensibilidad la respuesta fue negativa. Se procedió a realizar una radiografía periapical utilizando placas (Kodak E Speed Carestream Health, Inc, USA) de dicho elemento. Se observa en la radiografía, gran proceso periapical (**Fig.1.**).



(**Fig.1.**) Rx Periapical Preoperatoria

Con los datos recabados se diagnostica periodontitis apical crónica. La paciente firma el consentimiento informado. Se procede a anestésiar con solución inyectable de clorhidrato de carticaína al 4 % - L Adrenalina 1:100.000. (Anescart 4 % Sidus SA, Argentina) utilizando la técnica infiltrativa a fondo de surco. A continuación, con turbina de alta velocidad con refrigeración continua y utilizando fresa redonda número 5 se elimina caries hasta llegar a cámara pulpar, se coloca aislamiento absoluto con arco de Young, dique de goma Dental Dam (Sanctuary Health Son BHD, Malasia) y (clamp N°2 Hu Friedy, USA), se completa la apertura eliminando por completo el techo de la cámara

pulpar, con jeringa tipo Luer lock de 5 cc y aguja de irrigación de 30 G (Tedequim, Argentina) se efectúa una primera irrigación utilizando solución de Hipoclorito de Sodio al 5,25 % como irrigante.



(Fig.2.) Jeringa tipo Luer lock de 5 cc y aguja de irrigación de 30 G (Tedequim, Argentina)

Se procedió a la exploración del canal con lima de bajo calibre (K 10) posteriormente ampliación del ingreso a los conductos con una fresa Gate numero 2 (Dentstplay-Maillefer USA) se accedió al tercio apical y al registro de la longitud de trabajo con localizador apical (woodpecker Dpex3 China)



(Fig.3.) Localizador apical (woodpecker Dpex3 China)

Los conductos se permeabilizaron logrando llegar al ápex. La longitud de trabajo obtenida para el conducto vestibular fue de 20,5 mm y para el palatino de 21mm

La conformación de los conductos se realizó con instrumentos de níquel titanio del sistema mecanizado de rotación continua (Fanta, modelo A F ONE X4 25 mm China). **(Fig.4.)**



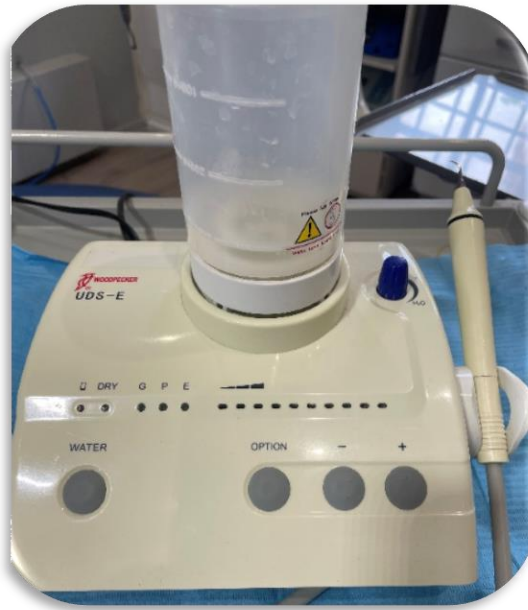
(Fig.4.) Lima níquel titanio del sistema mecanizado de rotación continua (Fanta, modelo A F ONE X4 25 mm China)

Utilizando un abridor taper 12, lima 20/0.4 lima 25/0.4 y por último 25/0.6 accionadas a través de un motor VDW, Silver (Alemania) velocidad de 500 rpm y con un torque de 2,5 N.**(Fig.5).**



(Fig.5.) Motor VDW, Silver (Alemania) velocidad de 500 rpm y con un torque de 2,5 N.

La irrigación se efectuó con solución de NaOCL al 5,25% activando la misma con un aparato de ultrasonido piezoeléctrico modelo Woodpecker (China) con una punta ultrasónica E5T Woodpecker (China) (**Fig. 6**).



(Fig.6.) Ultrasonido piezoeléctrico modelo Woodpecker (China) con una punta ultrasónica E5T Woodpecker (China)

La irrigación se inició con 5 ml de NaOCL al 5,25 % llevado con jeringa Luer Lock Tedequim (Argentina) y aguja 30 G punta roma Tedequim (Argentina) luego se colocó la punta ultrasónica a 3 mm antes de la longitud de trabajo activándola por dos ciclos de 30 segundos y renovando el irrigante entre los mismos.

A continuación, se aplicó un lavaje con clorhexidina al 2% y previamente se irrigó el conducto con solución fisiológica para evitar la interacción de los dos irrigantes. Una vez finalizada la conformación, la irrigación final se realizó con 3ml de EDTA al 17% para lograr la eliminación del barro dentinario y 5ml de solución fisiológica, para luego

proceder a la aspiración y secado del conducto con puntas de papel estériles (Meta Biomed Co. Ltd, Corea).

Para la obturación del conducto se utilizaron conos de gutapercha 25/.04 (Dia Dent Group, Corea) coincidente con el último instrumento utilizado, logrando la adaptación de los mismos, se obturó el resto de los conductos con conos de gutapercha con la técnica de condensación lateral, utilizando espaciadores ABCD (Dentsply Maillefer, USA) y cemento Sealer 26 (Dentsply, USA), el corte de la gutapercha se realizó con instrumento Peter Thomas y se colocó Ionómero Vítreo Densell (Dental Medrano, Argentina) como material de obturación provisorio.

Una vez finalizado el tratamiento endodóntico, se procedió a la toma radiográfica final evidenciándose que la obturación alcanzó la longitud de trabajo previamente determinada debido a la acción del ultrasonido sobre el inserto lo que genera la agitación de los irrigantes aumentando su actividad química, mecánica y biológica, logrando así la eliminación de los detritus dentinarios generados durante la instrumentación mecánica. **(Fig.7.)**



(Fig.7.) Rx Post Operatoria

DISCUSIÓN

Este trabajo se basa en la búsqueda bibliográfica que se realizó de julio a octubre de 2023 en las bases de datos AAE (American association of endodontics)-JOE (Journal of endodontics), Medline, SciELO (scientific electronic library online) y biblioteca Cochrane, con la siguiente estrategia de búsqueda, determinando como criterios de inclusión aquellas publicaciones, arbitradas, de texto completo, idioma inglés, español y portugués, que incluyeran temas relacionados a diferentes tipos de irrigantes utilizados en endodoncia, concentraciones de estos, técnicas de aplicación y de activación. Con el objetivo de profundizar conocimientos para optimizar el manejo de los diferentes tipos de irrigantes en la práctica diaria.

Del análisis de la bibliografía se pudo llegar a las siguientes conclusiones.

El hipoclorito de sodio logra efectivos resultados en la remoción del tejido pulpar (Burns *et al.*, 1999).

Por el contrario, sobre el tejido inorgánico ha mostrado ser poco convincente. Su empleo como agente de irrigación durante la instrumentación manual o mecanizada no logra la remoción de la capa de desecho dentinario, dejando las paredes del conducto cubiertas de dicho substrato aún al realizar una irrigación final (Abbott *et al.*, 1991).

Una vez comprendido el fenómeno de la formación de la capa de desecho dentinario, por la instrumentación (Lalh *et al.*, 1999), diversos autores proponen su eliminación por ser ésta un substrato que no favorece la obtención de una correcta limpieza, pudiendo contener microorganismos, dificultando la acción de medicamentos intraconducto y por crear una interfase que impide un sellado hermético (Cury; Bragotto, 1981).

Existe controversia entre varios autores sobre la presencia o no de la misma y su relación con el paso de microorganismos, ya que algunos consideran que su eliminación aumenta la permeabilidad dentinaria y, por lo tanto, permite el paso de bacterias al interior de los túbulos dentinarios (Behrend; Cutler, 1999).

La irrigación final del conducto con un quelante y NaOCl es un paso imprescindible para obtener una adecuada limpieza y desinfección. Ambos irrigantes se complementan eliminando los restos orgánicos e inorgánicos generados durante la instrumentación de las paredes, logrando la limpieza de áreas inaccesibles a los instrumentos y permeabilizando conductos laterales y accesorios (Schäfer *et al.*, 2002).

Tanto el EDTAC como el ácido cítrico lograron paredes lisas y limpias con túbulos dentinarios abiertos, a diferencia de los conductos donde solo se utilizó NaOCl. Estos hallazgos coinciden con resultados de otros autores. (Yamada *et al.*, 1983).

Machado, Garcia, da Silva Neto *et al.*, (2018) obtuvieron con los mismos quelantes, mayor limpieza en los tercios cervical y medio respecto al apical. Con el agregado de un tensoactivo (Cetavión) a la fórmula del EDTA, se logró una solución irrigante (EDTAC), más efectiva como lo muestra la literatura (Machado R, *et al.*, 2018). La limpieza lograda en dientes jóvenes fue superior a la de dientes adultos con ambos quelantes. Esto puede deberse a que el diámetro de los túbulos en dientes jóvenes es mayor, mejorando la penetración del irrigante. Por otro lado, el conducto más amplio permite un mayor volumen de solución, por lo que habrá mayor disociación y captación de iones metálicos aumentando la quelación (Hülsmann M, *et al.*, 2003). Otro punto a tener en cuenta es el acceso de la aguja de irrigación al tercio apical que se ve favorecido en conductos amplios permitiendo una mejor irrigación. En el caso clínico presentado, se realizó una conformación adecuada del tercio coronario y medio lo que permitió que la aguja de irrigación penetrara, sin interferencias, a 3mm de la longitud de trabajo.

El tiempo de permanencia del quelante dentro del conducto es discutido. Se observó mayor eficacia a los 3 minutos, pero se notaron cambios estructurales en las paredes dentinarias coincidiendo con otros hallazgos (Torabinejad *et al.*, 2003).

La irrigación con EDTA produjo un deterioro a mayor tiempo, mientras que, con el ácido cítrico, los resultados fueron semejantes en 1 y 3 minutos.

Existen otros estudios que revelan paredes limpias con túbulos abiertos, sin alteración de la dentina peri e intertubular, al usar EDTA por 1 minuto. Cuando el quelante se mantiene por más tiempo, produce un importante cambio de la superficie interna del conducto (Calt

et al., 2002). Turk, Kaval, & Sen (2015), a pesar de utilizar EDTA y ácido cítrico por 1 minuto, en concentraciones bajas, igualmente encontraron erosiones (Turk *et al.*, 2015). En la irrigación final el uso de quelantes elimina la materia inorgánica generada durante la instrumentación, pero también actúa sobre la pared dentinaria disolviendo los cristales de hidroxiapatita y dejando expuesta la trama colágena. Al irrigar posteriormente con NaOCl, éste actuaría en forma directa sobre el colágeno, produciendo un desgaste desmedido de la superficie, con la consecuente apertura excesiva de la luz de los túbulos y la conjunción de ellos al desaparecer la dentina intertubular (Baumgartner *et al.*, 1987). Las fibrillas de colágeno están protegidas por los cristales de hidroxiapatita, por lo que, en un primer momento, el NaOCl produce su desnaturalización en forma lenta. Sin embargo, cuando se utilizan quelantes, el colágeno queda expuesto, sin la protección de los cristales, siendo rápidamente atacado por éste (Zhang *et al.*, 2010). Niu, Yoshioka, (Kobayashi & Suda 2002) y (Qian *et al.*, 2006) muestran ausencia de erosión cuando en la irrigación final se usa solo quelante. En cambio, cuando se utiliza NaOCl posterior al quelante, la erosión está presente.

Según Haapasalo *et al.*, (2014) en la actualidad existen varias técnicas de irrigación endodóntica que pueden alcanzar buenos resultados en cuanto a la limpieza y desinfección del sistema de conductos radiculares.

Galler *et al.*, (2019) evidencian que la irrigación convencional por si sola suele presentar resultados más bajos en cuanto a la limpieza de los conductos radiculares, es por esta razón que Vega *et al.*, (2020) indica que la irrigación convencional debería ser combinada con la activación del irrigante manualmente por medio de conos de gutapercha o combinada con la irrigación ultrasónica pasiva, en la cual se activa por medio del ultrasonido y desarrolla un mejor riego, Jiang *et al.*, (2012) recomiendan el uso de la irrigación sónica por el motivo de que esta puede llegar a niveles más altos de limpieza y desinfección de conductos curvos. Lukac *et al.*, (2021) de igual forma cita a la irrigación activada por láser, por ser una técnica que activa al irrigante por medio de ondas, las cuales mejoran la acción y cumplen un mayor porcentaje de limpieza en el conducto. En nuestro caso clínico

se optó por un método ultrasónico de activación de los irrigantes el cual optimizó su acción.

Asimismo, Van Der Sluil *et al.*, (2007) concuerdan en que la irrigación con presión negativa es incluso más efectiva al momento de eliminar medicación intraconducto e incluso los estudios demuestran que esta técnica es más segura que las anteriores técnicas en la línea de seguridad en la extrusión del irrigante.

Gómez *et al.*, (2018) evidencian que para llegar a alcanzar un éxito en la terapia endodóntica es importante utilizar técnicas acompañadas con la activación del irrigante, porque así cumplirían una limpieza superior del conducto radicular, Nagendrababu *et al.*, (2018) sin embargo, discrepa señalando que ninguna de las técnicas de irrigación en endodoncia logra eliminar en su totalidad la carga microbiana encontrada en los túbulos dentinarios, finalmente. Neuhaus *et al.*, (2016) llega a la conclusión que la mejor técnica para la eliminación de medicamento intraconducto fue la irrigación con presión negativa, la cual demostró la eliminación de más del 99% de medicación, como el hidróxido de calcio.

La acción bacteriostática o bactericida, la capacidad de disolución sobre el tejido orgánico e inorgánico, la acción rápida y sostenida, así como el mecanismo de fácil aplicación, figuran entre las características más importantes que debe cumplir un agente de irrigación ideal (Basrani, 1999).

Diversos agentes de irrigación han sido empleados con este propósito. La solución salina y el peróxido de hidrógeno han demostrado ser incapaces de eliminar tanto el sustrato orgánico como el inorgánico y por lo tanto no permiten cubrir los principios biológicos del tratamiento de conductos cuando se emplean como únicos agentes de irrigación.

Neuhaus *et al.*, (2016) señalaron que el PUI (irrigación ultrasónicamente activada) es el método más utilizado para activar soluciones de irrigación y al compararlo con un dispositivo de irrigación sónica pasiva (PSI) en conductos radiculares curvos y rectos para demostrar su efectividad en la eliminación de microorganismos endodónticos, obtuvieron como resultados que se redujo significativamente después del tratamiento la carga microbiana.

Townsend y Maki (2009) también demostraron que el uso de ultrasonido, EndoActivator, F-File y la agitación sónica son similares en su capacidad para eliminar bacterias en un canal radicular simulado de plástico.

Spoleti *et al.*, (2003) evaluaron la influencia de la activación ultrasónica pasiva en la desinfección del conducto radicular. Las pruebas mostraron que las proporciones supervivientes fueron más altas cuando no se utilizó la activación ultrasónica.

Bui *et al.*, (2008) realizaron un estudio demostrando que la combinación de hipoclorito de sodio (NaOCl) y clorhexidina (CHX) forma un precipitado café naranja caracterizado como PCA (paracloroanilina), el cual podría ser mutagénico y carcinogénico para el ser humano, razón por la cual, actualmente, no se recomienda esta combinación, motivo por el cual se decidió en nuestro caso clínico utilizar cada irrigante por separado realizando inactivación como paso intermedio con solución fisiológica. Zamany *et al.*, (2002) encontraron un agente inactivante eficaz para la clorhexidina, la combinación de 3% de Tween 80 y 0.3% de L-alfa-lecitina resultó ser el agente de inactivación más efectivo.

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un irrigante efectivo y ampliamente utilizado en la terapia endodóntica por ser disolvente del tejido orgánico e inorgánico ayudado con la instrumentación. Esta efectividad es directamente influenciada por la calidad de la irrigación, por la profundidad a la que se lleva el irrigante, su activación, concentración y la selección de la aguja para realizar dicha irrigación. (Zhu *et al.* 2013;)

Adicionalmente, su alto nivel de penetración en el sistema de conductos conferido por su baja tensión superficial, lo hace efectivo para alcanzar zonas anatómicas de difícil acceso en la instrumentación.

El clínico debe tener en cuenta factores relevantes como la selección de la aguja para irrigar, la longitud radicular, tamaño del foramen apical y su relación con la enfermedad diagnosticada e indicaciones terapéuticas del diente a tratar en general (Silva *et al.*, 2016) sugieren que las agujas con punta de doble salida lateral llevan menos desechos hacia el ápice comparadas con las agujas con salida única en el extremo. Sin embargo, no hubo diferencias estadísticamente significativas con agujas finalizadas en una sola apertura lateral con respecto a las finalizadas con dos aperturas laterales. (Silva *et al.*, 2016).

Lo anterior sugiere que la presión ejercida en el embolo por el operador empleando agujas de salida lateral, es menor a la presión requerida para agujas con salida en la punta, lo que reduce la posibilidad de extrusión del irrigante a través del ápice.

La selección del diámetro de la aguja y de la jeringa influye sobre la seguridad con que será ejecutado este paso del tratamiento. Chang *et al.* (2015) realizaron un estudio in vitro donde informaron que además del tipo de salida de la aguja, la selección de la jeringa determina la cantidad de irrigante que se lleva al ápice. Adicionalmente, también interfiere la longitud radicular y la forma del canal en la porción apical. En el tercio apical de canales ovoides, la ocurrencia de sobrepaso es menor, lo que indica que hay espacio suficiente para el reflujo del irrigante. Con la irrigación manual convencional, se llevan más desechos e irrigante comparado con la irrigación utilizando jeringa con cuerpo de bomba. En esta última, aplicando menor presión, se lleva el mismo volumen de líquido al tercio apical del canal, pero con mayor control con respecto a la extrusión. (Chang *et al.*, 2015).

En nuestro caso clínico se tomó la precaución de realizar las irrigaciones con jeringa luer-lock (10 ml) y agujas de punta abierta de un diámetro pequeño G 30 corroborando que la misma no genere presión contra las paredes de los conductos, asegurando de esta manera el reflujo de las soluciones.

Los accidentes con hipoclorito de sodio se presentan muy poco si se tiene en cuenta el número de casos tratados por endodoncia. El riesgo de sobreirrigación se puede reducir con el empleo de la lima de patencia para mantener el conducto libre de desechos. (Zhu *et al.*, 2013).

En casos informados por (Waknis *et al.*, 2011) sugieren que, ante la extrusión accidental de hipoclorito de sodio durante la endodoncia, se debe implementar inmediatamente un protocolo farmacológico: analgésico-antiinflamatorio por 5 días y antibiótico por siete días.

Dentro de las complicaciones encontradas en otros casos, los pacientes refieren parestesia hasta 5 años después del accidente debido al compromiso que sufrieron las terminaciones nerviosas. En dos presentaciones de casos en pacientes realizados por (Goswami *et al.*, 2014). El tratamiento farmacológico sigue el mismo patrón, que consiste en la

administración de antibióticos, terapia analgésica y suministro inmediato de corticoides para prevenir una respuesta inflamatoria extrema. Sin embargo, uno de los pacientes desarrolló un gran edema 24 h después del evento adverso. (Goswami *et al.*, 2014). Estos casos también pueden ser evaluados con tomografía cone-beam, que permite observar la ubicación espacial del irrigante en los tejidos injuriados, las estructuras anatómicas adyacentes comprometidas el tamaño real de la lesión (Zhu *et al.*, 2013).

CONCLUSIÓN

Los resultados sugieren que hasta el momento no se ha logrado producir un irrigante que garantice el éxito total del tratamiento endodóntico; sin embargo, el NaOCl al 5,25% es la sustancia que se utiliza con mayor frecuencia por su alta capacidad antibacteriana y bajo costo, dispensado con jeringas y agujas acordes en calibre, en volúmenes suficientes, con recambio constante durante toda la preparación mecánica del conducto.

Se propone, en consecuencia, el uso combinado en concentraciones adecuadas y condiciones que aumenten su efectividad.

La selección de una sustancia irrigadora no debe ser aleatoria. El parámetro debe ser regido por el caso en cuestión para que se obtenga el mejor resultado en cuanto a limpieza, saneamiento y desinfección. De allí la importancia que tiene el estudio de las características de los distintos agentes de irrigación y de sus propiedades.

Por ello, es necesario que todo irrigante posea capacidad de disolver tejido pulpar vital y necrótico, escasa toxicidad para los tejidos vitales del periodonto, propiedad lubricante para facilitar el deslizamiento de los instrumentos y mejorar así su capacidad de corte, capacidad antibacteriana, sustentividad o capacidad residual, facilidad de aplicación y almacenaje, tiempo de vida adecuado, costo moderado, acción rápida y sostenida

BIBLIOGRAFÍA

Abbott PV, Heijkoop PS, Cardaci WR, Hume WR, Heithersay GS. An SEM study of the effects of different irrigation sequences and ultrasonics. *Int Endod J* 1991; 24:308-16.

Adcock, J.M., Sidow, S.J., Looney, S.W., Liu, Y., McNally, K., Lindsey, K. et al. (2011) Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. *Journal of Endodontics*, 37, 544–548.

Ahmad, M. & Roy, R.A. (1994) Some observations on the breakage of ultrasonic files driven piezoelectrically. *Endodontics and Dental Traumatology*, 10, 71–76.

Al-Jadaa, A., Paqué, F., Attin, T. & Zehnder, M. (2009b) Acoustichypochlorite activation in simulated curved canals. *Journal of Endodontics*, 35, 1408–1411.

Amaral, K.F., Rogero, M.M., Fock, R.A., Borelli, P. & Gavini, G. (2007) Cytotoxicity analysis of EDTA and citric acid applied on murine resident macrophages culture. *International Endodontic Journal*, 40, 338–343.

Andrabi, S. M. ukhta. U. N. et al. (2014) ‘Effect of passive ultrasonic irrigation and manual dynamic irrigation on smear layer removal from root canals in a closed apex in vitro model’, *Journal of investigative and clinical dentistry*, 5(3), pp. 188–193. doi: 10.1111/jicd.12033.

Arias-Moliz, M.T., Ferrer-Luque, C.M., Espigares-García, M. & Baca, P. (2009) *Enterococcus faecalis* biofilms eradication by root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 35, 711–714.

Arias-Moliz, M.T., Ferrer-Luque, C.M., Espigares-Rodríguez, E., Liébana-Ureña, J. & Espigares-García, M. (2008) Bactericidal activity of phosphoric acid, citric acid, and EDTA solutions against *Enterococcus faecalis*. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 106, e84–e89.

Arias-Moliz, M.T., Ordinola-Zapata, R., Baca, P., Ruiz-Linares, M. & Ferrer-Luque, C.M. (2014) Antimicrobial activity of a sodium hypochlorite/etidronic acid irrigant solution. *Journal of Endodontics*, 40, 1999–2002.

Augusto, C.M., Cunha Neto, M.A., Pinto, K.P. et al. (2021) Influence of the use of chelating agents as final irrigant on the push-out bond strength of epoxy resin-based root

canal sealers: A systematic review. Australian Endodontic Journal In press. <https://doi.org/10.1111/aej.12563>

Azim, A.A., Aksel, H., Zhuang, T., Mashtare, T., Babu, J.P. & Huang, G.T. (2016) Efficacy of 4 irrigation protocols in killing bacteria colonized in dentinal tubules examined by a novel confocal laser scanning microscope analysis. *Journal of Endodontics*, 42, 928–934.

Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *J Endodon* 1975; 1:127-131.

Ballal, N.V., Jain, I. & Tay, F.R. (2016) Evaluation of the smear layer removal and decalcification effect of QMix, maleic acid and EDTA on root canal dentine. *Journal of Dentistry*, 51, 62–68.

Ballal, N.V., Kandian, S., Mala, K., Bhat, K.S. & Acharya, S. (2009a) Comparison of the efficacy of maleic acid and ethylenediaminetetraacetic acid in smear layer removal from

Ballal, N.V., Moorkoth, S., Mala, K., Bhat, K.S., Hussien, S.S. & Pathak, S. (2011) Evaluation of chemical interactions of maleic acid with sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *Journal of Endodontics*, 37, 1402–1405.

Baron, A., Lindsey, K., Sidow, S.J., Dickinson, D., Chuang, A. & McPherson, J.C. (2016) Effect of a benzalkonium chloride surfactant-sodium hypochlorite combination on elimination of *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, 42, 145–149.

Basrani B, Robinson C. Irrigación y aspiración. En: Basrani E, Cañete M, Blank Ana, editores. *Endodoncia integrada*. Colombia. Actualidades Médico Odontológicas Latinoamérica C.A, 1999:129-41.

Basrani, B.R., Manek, S., Sodhi, R.N., Fillery, E. & Manzur, A. (2007) Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *Journal of Endodontics*, 33, 966–969.

Baumgartner JC, Mader CL. A Scanning Electron Microscopic Evaluation of Four Root Canal Irrigation Regimens. *J Endod*. 1987; 13 (4): 147-157.

Baumgartner, J.C., Johal, S. & Marshall, J.G. (2007) Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation. *Journal of Endodontics*, 33, 48–51.

Behrend GD, Cutler JL, Gutmann JL. An in vitro study of the smear layer removal and microbial leakage along root canal fillings. *Int Endod J* 1996 ; 29:99-107.

Bhuva, B., Patel, S., Wilson, R., Niazi, S., Beighton, D. & Mannocci, F. (2010) The effectiveness of passive ultrasonic irrigation on intraradicular *Enterococcus faecalis*

biofilms in extracted single-rooted human teeth. *International Endodontic Journal*, 43, 241–250.

Biel, P., Mohn, D., Attin, T. & Zehnder, M. (2017) Interactions between the tetrasodium salts of EDTA and 1-hydroxyethane-1,1-diphosphonic acid with sodium hypochlorite irrigants. *Journal of Endodontics*, 43, 657–661.

Boessler, C., Peters, O.A. & Zehnder, M. (2007) Impact of lubricant parameters on rotary instrument torque and force. *Journal of Endodontics*, 33, 280–283.

Boutsioukis, C. & Gutierrez Nova, P. (2021) Syringe irrigation in minimally shaped root canals using 3 endodontic needles: a computational fluid dynamics study. *Journal of Endodontics*, 47, 1487–1495.

Boutsioukis, C. & Tzimpoulas, N. (2016) Uncontrolled removal of dentin during in vitro ultrasonic irrigant activation. *Journal of Endodontics*, 42, 289–293.

Boutsioukis, C. (2019) Internal tooth anatomy and root canal irrigation. In: Versiani, M.A., Basrani, B. & Sousa-Neto, M.D. (Eds.) *The root canal anatomy in permanent dentition*. New York, NY,

Boutsioukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E. & van der Sluis, L.W. (2010c) The effect of apical preparation size on irrigant flow in root canals evaluated using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 874–881.

Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B. et al. (2010b) The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 1664–1668.

Boutsioukis, C., Psimma, Z. & van der Sluis, L.W. (2013a) Factors affecting irrigant extrusion during root canal irrigation: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 46, 599–618.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. & van der Sluis, L.W.M. (2010a) Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 875–879.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. & van der Sluis, L.W.M. (2010a) Evaluation of irrigant flow in the root canal using different needle types by an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *Journal of Endodontics*, 36, 875–879.

Boutsioukis, C., Verhaagen, B., Walmsley, A.D., Versluis, M. & van der Sluis, L.W. (2013b) Measurement and visualization of file-to-wall contact during ultrasonically activated irrigation in simulated canals. *International Endodontic Journal*, 46, 1046–1055.

Boutsioukis, C., Gogos, C., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E. & van der Sluis, L.W.M. (2010d) The effect of root canal taper on the irrigant flow: evaluation using an unsteady Computational Fluid Dynamics model. *International Endodontic Journal*, 43, 909–916.

Brito, P.R., Souza, L.C., Machado de Oliveira, J.C., Alves, F.R.F.,

Bryce, G., O'Donnell, D., Ready, D., Ng, Y.L., Pratten, J. & Gulabivala, K. (2009) Contemporary root canal irrigants are able to disrupt and eradicate single- and dual-species biofilms. *Journal of Endodontics*, 35, 1243–1248.

Bui, T., Baumgartner, J., & Mitchell, J. (2008). Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *J Endod.*, 181-5, 34(2).

Burleson, A., Nusstein, J., Reader, A. & Beck, M. (2007) The in vivo evaluation of hand/rotary/ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 33, 782–787.

Burns DR, Hugh DB, Moon PC. Comparison of the retention of endodontic posts after preparation with EDTA. *J Prost Dent* 1993; 69: 262- 66. 2.

Busanello, F.H., Petridis, X., So, M.V.R., Dijkstra, R.J.B., Sharma, P.K. & van der Sluis, L.W.M. (2019) Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: optical coherence tomography, confocal microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *International Endodontic Journal*, 52, 461–474.

Calt S, Serper A. Time- Dependent Effects of EDTA on Dentin Structures. *J Endod* 2002;28 (1): 17-19

Căpută, P.E., Retsas, A., Kuijk, L., Chávez de Paz, L.E. & Boutsoukis, C. (2019) Ultrasonic Irrigant Activation during root canal treatment: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 45, 31–44.

Chang JW, Cheung AW, Cheung GS. Effect of root canal dimensions, injection rate, and needle design on the apical extrusion of an irrigant: an in vitro study. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*. 2015;6(3):221-7.

Chávez de Paz, L.E. (2007) Redefining the persistent infection in root canals: possible role of biofilm communities. *Journal of Endodontics*, 33, 652–662.

Chen, J.E., Nurbakhsh, B., Layton, G., Bussmann, M. & Kishen A. (2014) Irrigation dynamics associated with positive pressure, apical negative pressure and passive ultrasonic irrigations: a Computational Fluid Dynamics analysis. *Australian Endodontic Journal*, 40, 54–60.

Clarkson, R.M., Kidd, B., Evans, G.E. & Moule, A.J. (2012) The effect of surfactant on the dissolution of porcine pulpal tissue by sodium hypochlorite solutions. *Journal of Endodontics*, 38, 1257–1260.

Conde, A.J., Estevez, R., Loroño, G., Valencia de Pablo, Ó., Rossi-Fedele, G. & Cisneros, R. (2017) Effect of sonic and 13652591,

Costerton, J.W., Stewart, P.S. & Greenberg, E.P. (1999) Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections

Craig Rhodes, S. (2021) Ultrasonic device complications in endodontics: an analysis of adverse events from the Food and Drug Administration manufacturer and user facility device experience. *Journal of Patient Safety* In press. <https://doi.org/10.1097/>

Cury JA, Bragotto C, Valdrighi L. The demineralizing efficiency of EDTA solutions on dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1981; 52:446-8.

Dai, L., Khechen, K., Khan, S. et al. (2011) The effect of QMix, an experimental antibacterial root canal irrigant, on removal of canal wall smear layer and debris. *Journal of Endodontics*, 37, 80–84.

Dandakis, C., Lambrianidis, T. & Boura, P. (2000) Immunologic evaluation of dental patient with history of hypersensitivity reaction to sodium hypochlorite. *Endodontics and Dental Traumatology*, 16, 184–187.

Darcey, J. et al. (2016) 'Modern endodontic principles part 4: Irrigation', *Dental Update*, 43(1), pp. 20–33. doi: 10.12968/denu.2016.43.1.20.

de Gregorio, C., Arias, A., Navarrete, N., Cisneros, R. & Cohenca, N. (2015) Differences in disinfection protocols for root canal treatments between general dentists and endodontists: A Webbased survey. *Journal of the American Dental Association*, 146,

de Gregorio, C., Estevez, R., Cisneros, R., Paranjpe, A. & Cohenca, N. (2010) Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 36, 1216–1221.

De Oliveira KV, Da Silva BM, Leonardi DP, Crozeta BM, de Sousa-Neto MD, BarattoFilho F, et al. Effectiveness of different final irrigation techniques and placement of endodontic sealer into dentinal tubules. *Braz Oral Res.* 2017;31:1–8. .

De-Deus, G., de Berredo Pinho, M.A., Reis, C., Fidel, S., Souza, E. & Zehnder, M. (2013) Sodium hypochlorite with reduced surface tension does not improve in situ pulp tissue dissolution. *Journal of Endodontics*, 39, 1039–1043.

De-Deus, G., Lopes, H.P. et al. (2009) Comparison of the effectiveness of three irrigation techniques in reducing intracanal *Enterococcus faecalis* populations: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 35, 1422–1427.

De-Deus, G., Reis, C., Fidel, S., Fidel, R. & Paciornic, S. (2008b) Dentine demineralization when subjected to EDTA with or without various wetting agents: a co-site digital optical microscopy study. *International Endodontic Journal*, 41, 279–287.

Del Pozo, J.L. & Patel, R. (2007) The challenge of treating biofilm-associated bacterial infections. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 82, 204–209.

Dutner, J., Mines, P. & Anderson, A. (2012) Irrigation trends among American Association of Endodontists members: a web-based survey. *Journal of Endodontics*, 38, 37–40.

Estrela, C. et al. (2002) 'Mechanism of action of sodium hypochlorite.', *Brazilian dental journal*, 13(2), pp. 113–117. doi: 10.1590/S0103-64402002000200007

Gao, Y. et al. (2009) 'Development and Validation of a Three-dimensional Computational Fluid Dynamics Model of Root Canal Irrigation', *Journal of Endodontics*. Elsevier Ltd, 35(9), pp. 1282–1287. doi: 10.1016/j.joen.2009.06.018

- Giardino, L., Ambu, E., Becce, C., Riondini, L. & Morra, M. (2006) Surface tension comparison of four common root canal irrigants and two new irrigants containing antibiotic. *Journal of Endodontics*, 32, 1091–1093.
- Giardino, L., Ambu, E., Savoldi, E., Rimondini, R., Cassanelli, C. & Debbia, E.A. (2007) Comparative evaluation of antimicrobial efficacy of sodium hypochlorite, MTAD, and Tetraclean against *Enterococcus faecalis* biofilm. *Journal of Endodontics*, 33, 852–855.
- Gómez Botia K, Quesada Maldonado E, Fang Mercado L, Covo Morales E. Accidente con hipoclorito de sodio durante la terapia endodóntica. *Rev Cuba estomatol* [Internet]. 2018;55(2):1–7. .
- Gorni, F.G. & Gagliani, M.M. (2004) The outcome of endodontic retreatment: a 2-yr follow-up. *Journal of Endodontics*, 30, 1–4
- Goswami M, Chhabra N, Kumar G, Verma M, Chhabra A. Sodium hypochlorite dental accidents. *Paediatrics and International Child Health*. 2014;34(1):66-9.
- Guastalli, A.R., Clarkson, R.M. & Rossi-Fedele, G. (2015) The effect of surfactants on the stability of sodium hypochlorite preparations. *Journal of Endodontics*, 41, 1344–1348.
- Guerreiro, M.Y.R., Belladonna, F.G., Monteiro, L.P.B., Lima, C.O., Silva, E.J.N.L. & Brandão, J.M.S. (2020) The influence of the addition of surfactants to sodium hypochlorite on the removal of hard tissue debris. *International Endodontic Journal*, 53, 1131–1139.
- Guivarc'h, M., Ordioni, U., Ahmed, H.M., Cohen, S., Catherine, J.H. & Bukiet, F. (2017) Sodium hypochlorite accident: a systematic review. *Journal of Endodontics*, 43, 16–24.
- Gulabivala, K., Patel, B., Evans, G. & Ng, Y.-L. (2005) Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics*, 10, 103–122. the contemporary scientific literature in Endodont
- Gutarts, R., Nusstein, J., Reader, A. & Beck, M. (2005) In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following handrotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 31, 166–170.
- Haapasalo M, Shen Y, Wang Z, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*. 59 2014;216(6):299–303.
- Haapasalo, M., Qian, W. & Shen, Y. (2012) Irrigation: beyond the smear layer. *Endodontic Topics*, 27, 35–53.

Haapasalo, M.P. (2000) Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *International Endodontic Journal*, 33, 126–131.

Hall-Stoodley, L., Costerton, J.W. & Stoodley, P. (2004) Bacterial biofilms: from the natural environment to infectious diseases. *Nature Reviews Microbiology*, 2, 95–108.

Hockett, J.L., Dommisch, J.K., Johnson, J.D. & Cohenca, N. (2008) Antimicrobial efficacy of two irrigation techniques in tapered and nontapered canal preparations: an in vitro study. *Journal of Endodontics*, 34, 1374–1377.

Hoedke, D., Kaulika, N., Dommisch, H., Schlafer, S., Shemesh, H. & Bitter, K. (2021) Reduction of dual-species biofilm after sonic or ultrasonic-activated irrigation protocols: a laboratory study. *International Endodontic Journal*, 54, 2219–2228.

Hong, S.W., Baik, J.E., Kang, S.S., Kum, K.Y., Yun, C.H. & Han, S.H. (2016) Sodium hypochlorite inactivates lipoteichoic acid of *Enterococcus faecalis* by deacylation. *Journal of Endodontics*, 42, 1503–1508.

Howard, R.K., Kirkpatrick, T.C., Rutledge, R.E. & Yaccino, J.M. (2011) Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, 37, 1301–1305.

Huang, T.Y., Gulabivala, K. & Ng, Y.L. (2008) A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *International Endodontic Journal*, 41, 60–71.

Hülsmann, M., Heckendorff, M. & Lennon, A. (2003) Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal*, 36, 810–830.

instrumented human root canal: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics*, 35, 1573–1576.

Jeong, J.W., Sarmast, N.D., Terlier, T., van der Hoeven, R., Holland, J.N. & Parikh, N. (2021) Assessment of the cytotoxic effects and chemical composition of the insoluble precipitate formed from sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *International Endodontic Journal*, 54, 1892–1901.

Jiang LM, Lak B, Eijssvogels LM, Wesselink P, Van Der Sluis LWM. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod*. 2012;38(6):838–4

- Jiang, L.M., Lak, B., Eijsvogels, L.M., Wesselink, P. & van der Sluis, L.W.M. (2012) Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *Journal of Endodontics*, 38, 838–841.
- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M. & van der Sluis, L.W.M. (2010a) Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *Journal of Endodontics*, 36, 143–146.
- Jiang, L.M., Verhaagen, B., Versluis, M., Langedijk, J., Wesselink, P. & van der Sluis, L.W. (2011) The influence of the ultrasonic intensity on the cleaning efficacy of passive ultrasonic irrigation. *Journal of Endodontics*, 37, 688–692.
- Johnson, M., Sidow, S.J., Looney, S.W., Lindsey, K., Niu, L.N. & Tay, F.R. (2012) Canal and isthmus debridement efficacy using a sonic irrigation technique in a closed-canal system. *Journal of Endodontics*, 38, 1265–1268.
- veira Bueno, C.E., Shimabuko, D.M., Valamatos Pinto, N.M. & Kato, A.S. (2020) Can irrigant agitation lead to the formation of a smear layer? *Journal of Endodontics*, 46, 1120–1124.
- Kirkpatrick, T.C. & Rutledge, R.E. (2010) In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after handrotary instrumentation in human mandibular molars. *Journal of Endodontics*, 36, 1367–1371.
- Kishen, A., Shrestha, A. & Del Carpio-Perochena, A. (2018) Validation of biofilm assays to assess antibiofilm efficacy in instrumented root canals after Klyn syringe irrigation and sonic agitation. *Journal of Endodontics*, 44, 292–298., S.L.,
- Kolahi, J., Khazaei, S., Iranmanesh, P., Khademi, A., Nekoofar, 3.
- Komorowski, R., Grad, H., Wu, X.Y. & Friedman, S. (2000) Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentin. *Journal of Endodontics*, 26, 315–317.
- Lalh MS, Titley KC, Torneck CD, Friedman S. Scanning electron microscopic study of the interface of glass ionomer cement sealers and conditioned bovine dentin. *J Endodon* 1999; 25(11)743-6.
- Leoni, G.B., Versiani, M.A., Silva-Sousa, Y.T., Bruniera, J.F., Pécora, J.D. & Sousa-Neto, M.D. (2017) Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *International Endodontic Journal*, 50, 398–406.

- Lewis, K. (2007) Persister cells, dormancy and infectious disease. *Nature Reviews Microbiology*, 5, 48–56.
- Lottanti, S., Gautschi, H., Sener, B. & Zehnder, M. (2009) Effects of ethylenediaminetetraacetic, etidronic and peracetic acid irrigation on human root dentine and the smear layer. *International Endodontic Journal*, 42, 335–343.
- Love, R.M. & Jenkinson, H.F. (2002) Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 13, 171–183.
- Lukač M, Olivi G, Constantin M, Lukač N, Jezeršek M. Determination of Optimal Separation Times for Dual-Pulse SWEEPS Laser-Assisted Irrigation in Different Endodontic Access Cavities. *Lasers Surg Med*. 2021;53(7):998–1004.
- Macedo, R.G., Verhaagen, B., Wesselink, P.R., Versluis, M. & van der Sluis, L.W. (2014c) Influence of refreshment/activation cycles and temperature rise on the reaction rate of sodium hypochlorite with bovine dentine during ultrasonic activated irrigation. *International Endodontic Journal*, 47, 147–154.
- Macedo, R.G., Wesselink, P.R., Zaccheo, F., Fanali, D. & van der Sluis, L.W. (2010) Reaction rate of NaOCl in contact with bovine dentine: effect of activation, exposure time, concentration and pH. *International Endodontic Journal*, 43, 1108–1115.
- Malki, M., Verhaagen, B., Jiang, L.M., Nehme, W., Naaman, A., Versluis, M. et al. (2012) Irrigant flow beyond the insertion depth of an ultrasonically oscillating file in straight and curved root canals: visualization and cleaning efficacy. *Journal of Endodontics*, 38, 657–661.
- Mohammadi, Z. and Abbott, P. V. (2009) ‘The properties and applications of chlorhexidine in endodontics’, *International Endodontic Journal*, 42(4), pp. 288–302. doi: 10.1111/j.1365-2591.2008.01540.x
- Mohammadi, Z. et al. (2017) ‘Unusual root canal irrigation solutions’, *Journal of Contemporary Dental Practice*, 18(5), pp. 415–420. doi: 10.5005/jp-journals-10024-2057
- Naenni, N., Thoma, K. & Zehnder, M. (2004) Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *Journal of Endodontics*, 30, 785–787.

Nagendrababu V, Jayaraman J, Suresh A, Kalyanasundaram S, Neelakantan P. Efectividad de la irrigación activada por ultrasonidos en la desinfección del conducto radicular : una revisión sistemática de estudios in vitro *Introducción Materiales y métodos*. 2018;

Neuhaus , K., Liebi , M., Stauffacher , S., Eick , S., & Lussi , A. (2016). Antibacterial Efficacy of a New Sonic Irrigation Device for Root Canal Disinfection. *J Endod*,1799-1803, 42(12)

Nielsen, B.A. & Baumgartner, J.C. (2007) Comparison of the EndoVac system to needle irrigation of root canals. *Journal of Endodontics*, 33, 611–615

Niu W, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions. *Int Endod J*. 2002; 35 (11): 934-939.

Okino, L.A., Siqueira, E.L., Santos, M., Bombana, A.C. & Figueredo, J.A.P. (2004) Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *International Endodontic Journal*, 37, 38–41.

Ordinola-Zapata, R., Mansour, D., Saavedra, F., Staley, C., Chen, R. & Fok, A.S. (2022) In vitro efficacy of a non-instrumentation technique to remove intracanal multispecies biofilm. *International Endodontic Journal* In press. <https://doi.org/10.1111/iej.13706>

Ørstavik, D. (2019) *Essential Endodontology: prevention and treatment of apical periodontitis*, 3rd edition. Oxford, UK: Blackwell.

Östby N Chelation in root canal therapy. Ethylenediamine tetra-acetic acid for cleansing and widening of root canals. *Odont T* 1957; 65:3-11.

Palazzi F, Morra M, Mohammadi Z, Grandini S, Giardino L. Comparison of the surface tension of 5.25% sodium hypochlorite solution with three new sodium hypochlorite-based endodontic irrigants. *International Endodontic Journal*. 2012;45(2):129-35.

Paqué, F., Boessler, C. & Zehnder, M. (2011) Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *International Endodontic Journal*, 44,148–153.

Paqué, F., Boessler, C. & Zehnder, M. (2011) Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *International Endodontic Journal*, 44,148–153.

- Paqué, F., Laib, A., Gautschi, H. & Zehnder, M. (2009) Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *Journal of Endodontics*, 35, 104
- Park, E., Shen, Y., Khakpour, M. & Haapasalo, M. (2013) Apical pressure and extent of irrigant flow beyond the needle tip during positive-pressure irrigation in an in vitro root canal model. *Journal of Endodontics*, 39, 511–515.
- Pascon, F.M., Kantovitz, K.R., Sacramento, P.A., Nobre-dos-Santos, M. & Puppini-Rontani, R.M. (2009) Effect of sodium hypochlorite on dentine mechanical properties. A review. *Journal of Dentistry*, 37, 903–908.
- Pereira, T.C., Boutsoukis, C., Dijkstra, R.J.B., Petridis, X., Versluis, M., de Andrade, F.B. et al. (2021) Biofilm removal from a simulated isthmus and lateral canal during syringe irrigation at various flow rates: a combined experimental and Computational Fluid Dynamics approach. *International Endodontic Journal*, 54, 427–438.
- Pérez-Heredia, M., Ferrer-Luque, C.M. & González-Rodríguez, M.P. (2006) The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *Journal of Endodontics*, 32, 993–997.
- Peters, O.A. (2004) Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *Journal of Endodontics*, 30, 559–567 | *Science*, pp. 1–
- Portenier, I., Haapasalo, H., Rye, A., Waltimo, T., Ørstavik, D. & Haapasalo, M. (2001) Inactivation of root canal medicaments by dentine, hydroxylapatite and bovine serum albumin. *International Endodontic Journal*, 34, 184–188.
- Prado, M., Gusman, H., Gomes, B.P.F.A. & Simão, R.A. (2011) Scanning electron microscopic investigation of the effectiveness of phosphoric acid in smear layer removal when compared with EDTA and citric acid. *Journal of Endodontics*, 37, 255–258.
- Psimma, Z., Boutsoukis, C., Kastrinakis, E. & Vasiliadis, L. (2013b) Effect of needle insertion depth and root canal curvature on irrigant extrusion ex vivo. *Journal of Endodontics*, 39, 521–524.
- Psimma, Z., Boutsoukis, C., Vasiliadis, L. & Kastrinakis, E. (2013a) A new method for real-time quantification of irrigant extrusion during root canal irrigation ex vivo. *International Endodontic Journal*, 46, 619–631.

Qian W, Shen Y, Haapasalo M. Quantitative Analysis of the Effect of Irrigant Solution Sequences on Dentin Erosion. *J Endod.* 2011; 37 (10): 1437-1441.

Rasimick, B. J. et al. (2008) 'Interaction between Chlorhexidine Digluconate and EDTA', *Journal of Endodontics. American Association of Endodontists*, 34(12), pp. 1521–1523. doi: 10.1016/j.joen.2008.08.039.

Retamozo, B. et al. (2010) 'Minimum Contact Time and Concentration of Sodium Hypochlorite Required to Eliminate *Enterococcus faecalis*', *Journal of Endodontics. Elsevier Ltd*, 36(3), pp. 520–523. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.005

Ricucci, D., Loghin, S. & Siqueira JF Jr (2013) Exuberant biofilm infection in a lateral canal as the cause of short-term endodontic treatment failure: report of a case. *Journal of Endodontics*, 39, 712–71

Rödig, T., Sedghi, M., Konietschke, F., Lange, K., Ziebolz, D. & Hülsmann, M. (2010a) Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *International Endodontic Journal*, 43, 581–589.

Rodrigues, R.C.V., Zandi, H., Kristoffersen, A.K., Enersen, M., Mdala, I., Ørstavik, D. et al. (2017) Influence of the apical preparation size and the irrigant type on bacterial reduction in root canal-treated teeth with apical periodontitis. *Journal of Endodontics*, 43, 1058–1063.

Rosenthal, S., Spångberg, L. & Safavi, K. (2004) Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 98, 488–492.

Ruiz-Linares, M., Aguado-Pérez, B., Baca, P., Arias-Moliz, M.T. & Ferrer-Luque, C.M. (2017) Efficacy of antimicrobial solutions against polymicrobial root canal biofilm. *International Endodontic Journal*, 50, 77–83.

Saito, K. et al. (2008) 'Effect of Shortened Irrigation Times with 17% Ethylene Diamine Tetraacetic Acid on Smear Layer Removal after Rotary Canal Instrumentation', *Journal of Endodontics. Elsevier Inc.*, 34(8), pp. 1011–1014. doi: 10.1016/j.joen.2008.05.014

Savani, G.M., Sabbah, W., Sedgley, C.M. & Whitten, B. (2014) Current trends in endodontic treatment by general dental practitioners: report of a United States national survey. *Journal of Endodontics*, 40, 618–624.

Schäfer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod.* 2002; 28(3): 211- 216.

Schilder, H. (1974) Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18, 269–29681.

Scott, M.B., Zilinski, G.S., Kirkpatrick, T.C., Himen, V.T., Sabey, K.A.& Lallier, T.E. (2018) The effects of irrigants on the survival of human stem cells of the apical papilla, including endocyn. *Journal of Endodontics*, 44, 263–268.

Segura JJ, Calvo JR, Guerrero J.M, Jimenez A, Sam Pedro C, Llamas R. The disodium salt of EDTA inhibits the binding of vasoactive intestinal peptide to macrophage membranes: Endodontic implications. *J Endodon* 1996; 22:337-40.

Shen, Y., Stojicic, S. & Haapasalo, M. (2011) Antimicrobial efficacy of chlorhexidine against bacteria in biofilms at different stages of development. *Journal of Endodontics*, 37, 657–661.

Silva PB, Krolow AM, Pilownic KJ, Casarin RP, Lima RK, Leonardo R de T, et al. Apical Extrusion of Debris and Irrigants Using Different Irrigation Needles. *Brazilian Dental Journal.* 2016;27(2):192-5.

Solana, C., Ruiz-Linares, M., Baca, P., Valderrama, M.J., Arias-Moliz, M.T. & Ferrer-Luque, C.M. (2017) Antibiofilm activity of sodium hypochlorite and alkaline tetrasodium EDTA solutions. *Journal of Endodontics*, 43, 2093–2096.

Spoleti, P., Siragusa, M., & Spoleti, M. (2003). Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod*, 12-4, 29(1).

Stojicic, S., Shen, Y., Qian, W., Johnson, B. & Haapasalo, M. (2012) Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *International Endodontic Journal*, 45, 363–371.

Svensäter, G. & Bergenholtz, G. (2004) Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics*, 9, 27–36

Swimberghe, R.C.D., De Clercq, A., De Moor, R.J.G. & Meire, M.A. (2019b) Efficacy of sonically, ultrasonically and laseractivated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *International Endodontic Journal*, 52, 515–523.

- Tartari, T., Oda, D.F., Zancan, R.F. et al. (2017) Mixture of alkaline tetrasodium EDTA with sodium hypochlorite promotes in vitro smear layer removal and organic matter dissolution during biomechanical preparation. *International Endodontic Journal*, 50, 106–114.
- Tay, F.R. & Mazzone, A. (2006) Potential iatrogenic tetracycline staining of endodontically treated teeth with NaOCl/MTAD irrigation. A preliminary report. *Journal of Endodontics*, 32, 354–358.
- Tay, F.R., Pashley, D.H., Loushine, R.J. et al. (2006) Ultrastructure of smear layer covered intraradicular dentin after irrigation with BioPure MTAD. *Journal of Endodontics*, 32, 218–221.
- Tejada, S., Baca, P., Ferrer-Luque, C.M., Ruiz-Linares, M., Valderrama, M.J. & Arias-Moliz, M.T. (2019) Influence of dentine debris and organic tissue on the properties of sodium hypochlorite solutions. *International Endodontic Journal*, 52, 114–122.
- Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K et al.: A New Solution for the Removal of the Smear Layer. *J Endod*. 2003; 29 (3): 170-175.
- Torabinejad, M., Khademi, A.A., Babagoli, J. et al. (2003) A new solution for the removal of the smear layer. *Journal of Endodontics*, 29, 170–175.
- Townsend, C., & Maki, J. (2009). An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod*, 1040-3, 35(7).
- Tronstadt L, Barnett F, Schawartzben L, Frasca P. Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol* 1985; 1: 69-76.
- USA: Springer, pp. 303–321.
- Vasiliadis, L., Darling, A.I. & Levers, B.G. (1983a) The amount and distribution of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology*, 28, 645–649.
- Vasiliadis, L., Darling, A.I. & Levers, B.G. (1983b) The histology of sclerotic human root dentine. *Archives of Oral Biology*, 28, 693–700.
- Vega-Marcich M, Araya P, Herman S, Jofré B, Chaple-Gil AM, Fernández E, et al. Remoción de hidróxido de calcio del canal radicular con irrigación manual, sónica y ultrasónica.

- Vera, J. et al. (2012) 'Effect of maintaining apical patency on irrigant penetration into the apical two millimeters of large root canals: An in vivo study', *Journal of Endodontics*, 38(10), pp. 1340–1343. doi: 10.1016/j.joen.2012.06.005.
- Verhaagen, B., Boutsoukis, C., van der Sluis, L.W. & Versluis, M. (2014b) Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *Journal of the Acoustical Society of America*, 135, 1717–1730.
- Versiani, M.A., Alves F.R., Andrade-Junior, C.V. et al. (2016) Micro-CT evaluation of the efficacy of hard tissue removal from the root canal and isthmus area by positive and negative pressure irrigation systems. *International Endodontic Journal*, 49, 1079–1087.
- Vertucci, F.J. (2005) Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics*, 10, 3–29.
- Villalta-Briones, N., Baca, P., Bravo, M. et al. (2021) A laboratory study of root canal and isthmus disinfection in extracted teeth using various activation methods with a mixture of sodium hypochlorite and etidronic acid. *International Endodontic Journal*, 54, 268–278.
- Vouzara, T., Koulaouzidou, E., Ziouti, F. & Economides, N. (2016) Combined and independent cytotoxicity of sodium hypochlorite, ethylenediaminetetraacetic acid and chlorhexidine. *International Endodontic Journal*, 49, 764–773.
- Waknis PP, Deshpande AS, Sabhlok S. Accidental injection of sodium hypochlorite instead of local anesthetic in a patient scheduled for endodontic procedure. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 2011;1(1):50-2.
- Wang, Z., Shen, Y., Ma, J. & Haapasalo, M. (2012) The effect of detergents on the antibacterial activity of disinfecting solutions in dentin. *Journal of Endodontics*, 38, 948–953.
- Willershausen, I., Wolf, T.G., Schmidtman, I. et al. (2015) Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International Endodontic Journal*, 48, 654–660.
- Wong, D.T. & Cheung, G.S. (2014) Extension of bactericidal effect of sodium hypochlorite into dentinal tubules. *Journal of Endodontics*, 40, 825–829.

- Wright, P.P., Cooper, C., Kahler, B. & Walsh, L.J. (2020a) From an assessment of multiple chelators, clodronate has potential for use in continuous chelation. *International Endodontic Journal* 53, 122–134.
- Wright, P.P., Scott, S., Kahler, B. & Walsh, L.J. (2020b) Organic tissue dissolution in clodronate and etidronate mixtures with sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*, 46, 289–294. laser-activated irrigation approach. *International Endodontic Journal*, 53, 529–538.
- Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A Scanning Electron Microscopic Comparison of a High-Volume Final Flush with Several 14 Sylvania Martinelli, Gimena Albuquerque, Lorena Silva Irrigating Solutions: Part 3. *J Endod* 1983; 9 (4): 137-142.
- Yang, Y., Shen, Y., Wang, Z. et al. (2016) Evaluation of the susceptibility of multispecies biofilms in dentinal tubules to disinfecting solutions. *Journal of Endodontics*, 42, 1246-1252.
- Zamany, A., & Spångberg, L. (2002). An effective method of inactivating chlorhexidine. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.*, 617-20, 93(5).
- Zehnder, M. & Paqué, F. (2011) Disinfection of the root canal system during root canal re-treatment. *Endodontic Topics*, 19, 58–73
- Zehnder, M. (2006) ‘Root Canal Irrigants’, *Journal of Endodontics*, 32(5), pp. 389–398. doi: 10.1016/j.joen.2005.09.014
- Zehnder, M. (2006) Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*, 32, 389–398.
- Zehnder, M., Schmidlin, P., Sener, B. & Waltimo, T. (2005a) Chelation in root canal therapy reconsidered. *Journal of Endodontics*, 31, 817–820.
- Zhu WC, Gyamfi J, Niu LN, Schoeffel GJ, Liu SY, Santarcangelo F, et al. Anatomy of sodium hypochlorite accidents involving facial ecchymosis - a review. *Journal of Dentistry*. 2013;41(11):935-48.
- Zou, L. et al. (2010) ‘Penetration of Sodium Hypochlorite into Dentin’, *Journal of Endodontics*. *American Association of Endodontists*, 36(5), pp. 793–796. doi: 10.1016/j.joen.2010.02.005