

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i4.1788>

Estudio in vitro de la extrusión apical según el sistema de activación utilizado en la irrigación de conductos

In vitro study of apical extrusion according to the activation system used in canal irrigation

Alan Fabricio Cano Méndez

alan.cano@umich.mx

<https://orcid.org/0009-0009-8620-0962>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia - México

Liliana Nava Ramos

0960503k@umich.mx

<https://orcid.org/0009-0003-9049-3995>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia – México

Gabriela López Torres

gabriela.lopez.torres@umich.mx

<https://orcid.org/0009-0003-4256-0313>

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia – México

*Artículo recibido: 10 octubre 2025 -Aceptado para publicación: 18 noviembre 2025
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.*

RESUMEN

La extrusión del irrigante hacia tejidos peripapcales durante la desinfección de los conductos radiculares puede ocasionar dolor, inflamación y daño tisular. Objetivo: Identificar el sistema de activación que genera menor extrusión apical de NaClO, reduciendo los riesgos asociados al tratamiento endodóntico. Materiales y métodos: Se incluyeron 15 biomodelos en 3D, con conductos simulados anatómicamente a los dientes 11 (Incisivo central superior derecho), conformados con instrumentos rotatorios de níquel-titanio (BlueShaper de Zarc) a un tamaño apical 40. Cuatro métodos de activación con NaClO fueron utilizados: Sistema A: Activación sónica con polímeros (EndoActivator), Sistema B: Activación rotatoria con Finishing Files (20/0.04), Sistema C: Activación dinámica manual y Sistema D: Activación ultrasónica con punta de biopolímero. El tercio apical de los biomodelos fue adaptado en microtubos Eppendorf, que sirvieron como viales de recuperación. Con una micropipeta, se recuperó y cuantificó y registró el volumen de irrigante extruido. Se calculó el promedio y desviación estándar del irrigante extruido de cada sistema. Resultados: El sistema Finishing Files (20/0.04) fue el único que mostró volúmenes de extrusión, con un promedio de $5.2 \pm 6.3 \mu\text{L}$; de los 15 dientes evaluados, 8 (53.33%) presentaron extrusión apical. Los sistemas EndoActivator (activación sónica con polímeros), activación dinámica manual y activación ultrasónica con punta de polímero no presentaron

extrusión de irrigante. Conclusiones: La activación del irrigante a la longitud de trabajo podría aumentar el riesgo de extrusión. Los sistemas activados a 2-3 mm antes de la longitud de trabajo, se consideran más seguros.

Palabras clave: irrigación endodóntica, extrusión apical, sistemas de activación, seguridad del irrigante, biomodelos 3D

ABSTRACT

Extrusion of irrigant into periapical tissues during root canal disinfection can cause pain, inflammation, and tissue damage. Objective: To identify the activation system that generates the least apical extrusion of NaClO, reducing the risks associated with endodontic treatment. Materials and methods: Fifteen 3D biomodels were included, with canals anatomically simulated for tooth 11 (right maxillary central incisor), shaped with rotary nickel-titanium instruments (Zarc BlueShaper) to an apical size of 40. Four NaClO activation methods were used: System A: Sonic activation with polymers (EndoActivator), System B: Rotary activation with Finishing Files (20/0.04), System C: Manual dynamic activation, and System D: Ultrasonic activation with a biopolymer tip. The apical third of the biomodels was adapted to Eppendorf microtubes, which served as recovery vials. Using a micropipette, the volume of extruded irrigant was recovered, quantified, and recorded. The mean and standard deviation of the extruded irrigant for each system were calculated. Results: The Finishing Files system (20/0.04) was the only one that showed extrusion volumes, with a mean of $5.2 \pm 6.3 \mu\text{L}$; of the 15 teeth evaluated, 8 (53.33%) presented apical extrusion. The EndoActivator system (sonic activation with polymers), manual dynamic activation, and ultrasonic activation with a polymer tip did not show irrigant extrusion. Conclusions: Activating the irrigant at the working length could increase the risk of extrusion. Systems activated 2–3 mm before the working length are considered safer.

Keywords: endodontic irrigation, apical extrusion, activation systems, irrigant safety, 3D biomodels.

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Atribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La irrigación representa una de las fases más críticas dentro del tratamiento endodóntico, al desempeñar funciones esenciales que no pueden lograrse mediante la instrumentación mecánica por sí sola (Haapasalo et al, 2014). Su relevancia radica en su capacidad para eliminar detritos, disolver tejido pulpar necrótico, reducir la carga microbiana y lubricar el sistema de conductos, favoreciendo una limpieza tridimensional efectiva de las superficies radiculares (Berman & Hargreaves, 2022; Iribar, 2015). Como señalan Estrela et al. (2002), la anatomía compleja del sistema de conductos radiculares impide que los instrumentos rotatorios y manuales logren una desinfección completa por sí mismos, por lo que la irrigación adquiere un papel protagónico en la prevención del fracaso endodóntico (Al-Jadaa et al., 2023), ya que se ha comprobado que solo el 35% de las superficies del conducto son tocadas por los instrumentos (Mitchell et al, 2010).

Boutsioukis et al. (2010) subrayan que los efectos químicos de los irrigantes deben combinarse con métodos adecuados de activación para asegurar su penetración en las irregularidades del conducto, como istmos, conductos accesorios y ramificaciones apicales, zonas donde persisten residuos orgánicos y bacterias incluso después de la instrumentación. Esta situación se agrava en dientes con ápices inmaduros o curvaturas pronunciadas, donde el control del irrigante se vuelve aún más desafiante.

Entre los irrigantes más utilizados, el hipoclorito de sodio (NaClO) destaca por su capacidad para disolver tejido orgánico y su efecto antimicrobiano amplio. Mohammadi (2008) detallan que la efectividad del NaClO depende de su concentración, temperatura, volumen aplicado y tiempo de contacto, variables que deben optimizarse para mejorar su acción sin comprometer la seguridad del procedimiento. Sin embargo, cuando este irrigante se extruye más allá del foramen apical, puede causar complicaciones clínicas considerables, como necrosis tisular, dolor agudo, edema y parestesias, especialmente en zonas anatómicas con proximidad a estructuras vasculonerviosas, como advierten (Mitchell et al., 2011).

La irrigación segura requiere, por tanto, un equilibrio entre eficacia y control apical, especialmente en casos de ápices amplios o cuando la longitud de trabajo no se puede delimitar con precisión. Jiang et al. (2012) enfatizan que los métodos de activación del irrigante no solo modifican su capacidad de limpieza, sino también influyen directamente en la presión hidrodinámica ejercida dentro del conducto, lo que puede derivar en extrusión apical si no se controla adecuadamente.

Por estas razones, el diseño de sistemas de activación debe contemplar la necesidad de maximizar la eficacia de la irrigación sin poner en riesgo los tejidos periajedales. Así, se han desarrollado diversas estrategias de activación que emplean mecanismos sónicos, ultrasónicos, dinámicos manuales y de presión apical negativa. Cada una de estas técnicas posee características

que impactan de forma distinta en la distribución, velocidad y volumen del irrigante dentro del conducto.

Este panorama plantea la necesidad de comparar el comportamiento de los distintos sistemas de activación en términos de seguridad, especialmente considerando su potencial para inducir extrusión apical. Por lo tanto, comprender la fisiología del sistema de conductos, los efectos del NaClO y las propiedades físico-hidrodinámicas de cada sistema de activación resulta indispensable para optimizar los protocolos clínicos de irrigación.

La extrusión apical del irrigante representa una de las principales complicaciones en el tratamiento endodóntico, pues puede ocasionar eventos clínicos adversos como dolor, edema, inflamación e incluso necrosis de tejidos periajiales. Esta situación compromete la biocompatibilidad del procedimiento, pudiendo afectar el pronóstico del tratamiento, especialmente en casos con ápices abiertos, raíces cortas o canales con reabsorciones.

Según lo señalado por Estrela et al. (2002), diversos factores intervienen en la posibilidad de que el irrigante traspase el foramen apical. Estos factores no dependen únicamente del irrigante utilizado, sino también de variables anatómicas, técnicas y operativas. La longitud de trabajo, el diámetro apical, el tipo de instrumento, la velocidad y presión de irrigación, así como el método de activación del irrigante, son determinantes en la aparición o prevención de la extrusión.

El tamaño del foramen apical es particularmente relevante. En conductos amplios, especialmente aquellos con ápices inmaduros o reabsorbidos, el control del irrigante se vuelve más difícil. Mohammadi (2008) indican que, a mayor apertura apical, mayor es el riesgo de extrusión, incluso con volúmenes reducidos de irrigante. Además, si el instrumento de irrigación se introduce hasta la longitud de trabajo sin respetar una distancia segura de retracción (2-3 mm antes del ápice), se incrementa considerablemente la posibilidad de que el irrigante sea forzado hacia los tejidos periajiales.

La presión positiva generada por las jeringas convencionales, cuando se utiliza sin dispositivos de activación controlada, también contribuye al riesgo de extrusión. Mitchell et al. (2011) hacen énfasis en que, aunque el hipoclorito de sodio tiene una alta eficacia antimicrobiana, su extrusión puede provocar severas reacciones adversas, debido a su citotoxicidad y acción proteolítica.

La activación del irrigante es otro de los factores más relevantes, pues modifica la dinámica de flujo dentro del conducto. Como lo plantean Jiang et al. (2012), los sistemas de activación pueden alterar las presiones intraconducto y, dependiendo del diseño del instrumento, su vibración o movimiento, se puede inducir una mayor o menor propulsión del líquido. Por esta razón, resulta fundamental evaluar experimentalmente cuáles sistemas inducen menor extrusión.

En el presente estudio, se observaron diferencias sustanciales en la capacidad de los sistemas para evitar la extrusión. Por ejemplo, el sistema Finishing File (rotatorio) fue el único que presentó volúmenes extruidos, posiblemente debido a su contacto cercano con las paredes

apicales y su activación hasta la longitud de trabajo. En contraste, los sistemas que trabajan con activación sónica (EndoActivator), ultrasónica con puntas de polímero, o dinámica manual, mostraron mayor seguridad, al activarse a una distancia prudente del ápice y generar una dinámica más controlada del fluido.

En conjunto, los factores anatómicos del diente, el tipo de irrigante, la técnica de irrigación, y especialmente el sistema de activación utilizado, interactúan de manera compleja en la generación o prevención de la extrusión. La evaluación objetiva de estos factores, bajo condiciones estandarizadas, permite establecer criterios de seguridad para la práctica clínica y evidencia la importancia de seleccionar no solo un buen irrigante, sino también un método adecuado de activación.

La extrusión apical de soluciones irrigantes durante el tratamiento endodóntico representa una de las complicaciones más temidas, tanto por su impacto clínico inmediato como por las secuelas que puede dejar en los tejidos periautomáticos. La literatura consultada en este estudio remarca que, si bien el hipoclorito de sodio (NaClO) es altamente eficaz en la desinfección de los conductos, su contacto con tejidos periautomáticos puede ser gravemente citotóxico.

El estudio de Estrela et al. (2002) destaca que cuando el NaClO extruye hacia el periápice puede provocar necrosis tisular, reacciones inflamatorias severas, dolor postoperatorio intenso, edema facial, hematomas e incluso parestesia en casos extremos. Esto se debe a sus propiedades oxidativas y su alto pH, que le otorgan una capacidad proteolítica destructiva sobre tejidos vivos.

Estas consecuencias no solo comprometen la recuperación del paciente, sino que también pueden afectar directamente el éxito del tratamiento endodóntico. Una extrusión severa puede dañar el ligamento periodontal, el hueso alveolar y estructuras adyacentes como el seno maxilar o los nervios periféricos, dependiendo de la ubicación del diente tratado. La persistencia del dolor, la inflamación o incluso el desarrollo de lesiones pueden llevar a una reintervención, o en casos extremos, a la pérdida del órgano dentario.

Mohammadi (2008) refieren que estas situaciones suelen deberse a técnicas de irrigación inadecuadas o a la falta de control sobre la presión ejercida en el interior del conducto, especialmente cuando se trabaja con presión positiva sin dispositivos que regulen el flujo del irrigante. Aun en conductos amplios o con ápices inmaduros, el uso indiscriminado de NaClO sin precauciones puede derivar en extrusión, aunque el volumen utilizado sea mínimo.

Mitchell et al. (2011) advierten que el riesgo de extrusión se incrementa cuando los sistemas de activación llevan el irrigante hasta la longitud de trabajo o más allá. Esto sucede especialmente con sistemas rotatorios agresivos o con técnicas que no respetan la distancia de seguridad apical recomendada (2-3 mm antes del ápice).

En contraste, Jiang et al. (2012) subrayan que los sistemas de activación que permiten un control más conservador de la profundidad de inserción, así como una distribución dinámica del

irrigante sin presión directa hacia el ápice, se asocian con una menor incidencia de complicaciones.

Los hallazgos del presente estudio coinciden con esta línea de pensamiento. El sistema Finishing Files fue el único que presentó extrusión apical, lo que podría explicarse por su activación a la longitud de trabajo y por la energía rotacional que genera presión hacia el tercio apical. En cambio, los sistemas EndoActivator, activación manual dinámica y activación ultrasónica con punta de polímero no presentaron extrusión, posiblemente gracias a su modo de acción más gentil y su inserción más conservadora dentro del conducto.

En consecuencia, la elección del sistema de activación no debe centrarse únicamente en la eficacia de limpieza, sino también en su capacidad para minimizar los riesgos clínicos. La seguridad biológica del procedimiento endodóntico requiere estrategias de irrigación controladas, especialmente en pacientes con factores anatómicos o clínicos que incrementan el riesgo de extrusión.

Aunque el hipoclorito de sodio (NaClO) es la solución irrigante más utilizada en endodoncia por su capacidad antimicrobiana y de disolución de tejido orgánico (Mohammadi, 2008), su efectividad depende en gran medida de su correcta distribución y penetración en todo el sistema de conductos. Debido a la complejidad anatómica del sistema radicular, las técnicas tradicionales de irrigación pasiva no garantizan una limpieza completa. Por ello, la activación del irrigante se ha convertido en una estrategia fundamental para mejorar la eficiencia de la desinfección intracanal (Jiang et al., 2012).

Durante el tratamiento endodóntico, uno de los pasos más determinantes para el éxito terapéutico es la fase de desinfección. Esta tiene como objetivo eliminar bacterias, tejido pulpar necrótico y restos orgánicos o inorgánicos del sistema de conductos radiculares. Sin embargo, la complejidad anatómica del conducto radicular, con istmos, ramificaciones y zonas inaccesibles para los instrumentos mecánicos, dificulta la limpieza completa mediante métodos convencionales.

Por ello, la irrigación con soluciones químicas, como el hipoclorito de sodio (NaClO), cumple una función indispensable. Este irrigante ha demostrado tener un potente efecto antimicrobiano, además de la capacidad de disolver tejido orgánico. No obstante, su eficacia depende no solo de su composición química, sino también de cómo se distribuye dentro del sistema de conductos. Es aquí donde los métodos de activación del irrigante se vuelven relevantes: su función es mejorar la penetración, circulación y renovación del líquido dentro del conducto, asegurando que alcance áreas inaccesibles y se mantenga en contacto suficiente con las superficies a tratar. La activación del irrigante, por tanto, no es un lujo técnico, sino una estrategia crítica para potenciar la eficacia del tratamiento y minimizar el riesgo de fallo terapéutico.

Uno de los principales riesgos asociados a la irrigación en endodoncia es la extrusión apical del irrigante, es decir, el paso involuntario del líquido más allá del ápice dental, hacia los tejidos

periapicales. Este fenómeno puede producirse por varios factores: la presión ejercida dentro del conducto, la longitud a la que se introduce la aguja o el instrumento de activación, la anatomía radicular del diente, y el tipo de técnica utilizada. Cuando ocurre la extrusión de soluciones como el hipoclorito de sodio, las consecuencias pueden ser severas: necrosis de tejidos, dolor intenso, inflamación, hematomas, parestesias o incluso daños irreversibles en estructuras periapicales. Por ello, uno de los criterios fundamentales para seleccionar un sistema de activación es su nivel de seguridad respecto al control de la extrusión. A continuación, se describen los principales sistemas de activación evaluados en este estudio, todos ellos aplicados con NaClO al 5.25% y utilizados en biomodelos con conductos simulados de dientes 11.

Activación sónica con polímeros (EndoActivator): El sistema EndoActivator es un dispositivo de activación sónica diseñado para usarse con puntas de polímero flexible. Su funcionamiento se basa en la emisión de ondas sonoras de baja frecuencia, que generan agitación del irrigante dentro del conducto. La punta no corta ni desgasta el diente, ya que su material y su forma son no abrasivos, lo cual representa una ventaja en términos de seguridad y adaptabilidad a la anatomía del conducto. El movimiento generado por este sistema promueve la circulación del NaClO y mejora su capacidad de remover desechos y biofilm. Además, su aplicación puede realizarse a una distancia prudente antes de la longitud de trabajo (2-3 mm), lo que disminuye la presión en el tercio apical. Esto lo convierte en una herramienta útil no solo para mejorar la eficacia del irrigante, sino también para reducir la posibilidad de extrusión.

Activación dinámica manual: La activación dinámica manual es una técnica sencilla y ampliamente utilizada en la práctica clínica diaria. Consiste en realizar movimientos ascendentes y descendentes dentro del conducto con un cono de gutapercha compatible con la conformación del mismo. Este movimiento mecánico genera turbulencia e incrementa el contacto del irrigante con las paredes del conducto. Esta técnica no requiere equipamiento especializado, lo cual la hace accesible en términos económicos. Su eficacia depende en gran medida del control del operador: la velocidad, el número de movimientos y la profundidad a la que se introduce el cono. Si se ejecuta correctamente, puede lograr una buena activación sin aplicar presión directa al ápice, sobre todo si se mantiene a una distancia segura de la longitud de trabajo.

Activación ultrasónica con punta de polímero: La activación ultrasónica representa una tecnología de mayor complejidad que la sónica o la manual. Su principio se basa en la transmisión de ondas ultrasónicas de alta frecuencia a través de una punta insertada dentro del conducto. Estas ondas generan fenómenos físicos como el *microstreaming* (corrientes de fluido a escala microscópica) y la *cavitación* (formación de burbujas que colapsan), los cuales contribuyen a desorganizar el biofilm y remover residuos adheridos. Tradicionalmente, las puntas de activación ultrasónica eran metálicas, lo que generaba ciertos riesgos de contacto excesivo con las paredes del conducto o de generación de calor. En este estudio, se utilizó una variante más moderna: una punta de biopolímero, cuyo diseño permite transmitir la energía sin producir fricción abrasiva.

Esta innovación ofrece un mejor perfil de seguridad para conductos finos o con curvaturas. El protocolo recomienda activar este sistema sin llegar a la longitud de trabajo, para evitar la posibilidad de sobrepresión en la región apical.

Activación rotatoria con Finishing Files: Este sistema emplea limas rotatorias tipo Finishing Files con especificaciones 20/04. Estas limas se introducen en el conducto y se activan mediante un motor rotatorio a bajas revoluciones. Su diseño permite movilizar el irrigante mecánicamente, favoreciendo su desplazamiento en zonas de difícil acceso. A diferencia de otros sistemas, estas limas pueden llegar hasta la longitud de trabajo, lo cual podría incrementar el contacto del irrigante con el ápice. Aunque esta característica puede mejorar el alcance del NaClO, también eleva el riesgo de generar presión directa que facilite la extrusión. Por tanto, aunque el sistema rotatorio puede ser útil para finalizar la limpieza de conductos anchos y rectos, requiere un alto grado de precisión y control por parte del operador. Además, es importante considerar el diámetro final de preparación del conducto, ya que un conducto con apertura amplia puede facilitar aún más el empuje del irrigante si se activa en su totalidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este fue un estudio experimental, in vitro y cuantitativo. Se emplearon 15 réplicas tridimensionales del diente 11, con conductos rectos y una longitud de trabajo uniforme de 25 mm.

Figura 1

Biomodelos



Los conductos fueron conformados mediante técnica corono-apical con instrumentos rotatorios de níquel-titanio (sistema BlueShaper) hasta un tamaño apical 40 (Z6). Durante esta fase se irrigó con NaClO al 2.5% y se verificó la preparación mediante la colocación del cono maestro.

Figura 2

Instrumentación de los conductos radiculares con el sistema Blue Shapper de Zarc

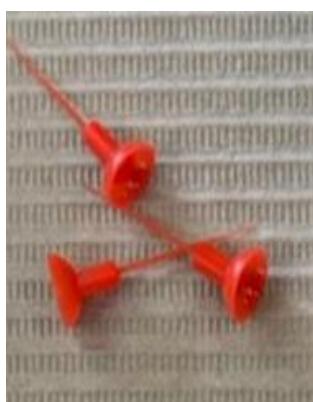


Posteriormente, cada biomodelo fue sometido a uno de los siguientes cuatro sistemas de activación de irrigante:

1. **Sistema A – EndoActivator (sónico con polímero) (Figura 3):** punta mediana 25/04 colocada a 2 mm de la longitud de trabajo, activada a 10,000 ciclos/minuto por 20 segundos.

Figura 3

Sistema Endoactivator



2. **Sistema B – Finishing Files (rotatorio) (Figura 4):** punta 20/04 activada a 700 rpm hasta la longitud de trabajo, durante 20 segundos.

Figura 4

Sistema Finishing Files



3. **Sistema C – Activación dinámica manual (Figura 5):** mediante un cono de gutapercha a 2 mm de la longitud de trabajo, en 3 ciclos de 35 movimientos.

Figura 5

Activación dinámica manual



4. **Sistema D – Activación ultrasónica con punta de polímero (Figura 6):** punta E74 (ISO 25) acoplada a cavitron DTE, activada a 2 mm de la longitud de trabajo en modo E por 20 segundos.

Figura 6

Activación ultrasónica



Cada conducto fue irrigado pasivamente con aguja ranurada, seguido de tres ciclos de activación específicos por sistema. Entre ciclos, se añadió irrigante adicional. Todos los ensayos se realizaron por triplicado. Para la recolección y medición de extrusión, el tercio apical de cada

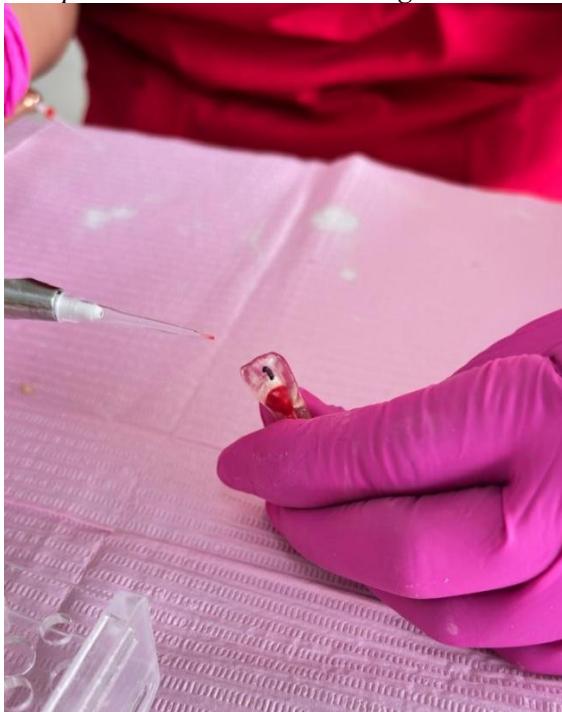
biomodelo se colocó en microtubos Eppendorf sellados con resina, que funcionaron como viales de recuperación para cuantificar el volumen extruido (Figura 7).

Figura 7
Adaptación del biomodelo al microtubo Eppendorff



Tras cada activación, se midió el volumen de NaClO extruido con micropipeta calibrada (5-50 μ L) (Figura 8) y se registraron los datos para cada muestra. El análisis estadístico se llevó a cabo con los volúmenes organizados por sistema de activación. Se calculó el promedio y la desviación estándar de los volúmenes extruidos. Posteriormente, se aplicó un análisis ANOVA de una vía con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$, seguido de la prueba de Tukey para identificar diferencias entre grupos.

Figura 8
Recuperación del volumen de irrigante extruido



RESULTADOS

Los resultados mostraron diferencias claras entre los sistemas, siendo únicamente el sistema Finishing Files (20/04) el que generó extrusión apical en las muestras. Este sistema (sistema B), correspondiente a activación rotatoria, presentó un volumen promedio de extrusión de $5.2 \pm 6.3 \mu\text{L}$, con valores que oscilaron entre un mínimo de $3 \mu\text{L}$ y un máximo de $17.56 \mu\text{L}$. De las 15 muestras evaluadas con este sistema, 8 dientes (53.33%) presentaron extrusión de irrigante, mientras que los 7 dientes restantes (46.66%) no la presentaron. Por otro lado, los sistemas EndoActivator (sistema A), activación dinámica manual (sistema C) y activación ultrasónica con punta de polímero (sistema D) no presentaron extrusión apical de irrigante en ninguna de sus muestras. Cabe mencionar que, en el caso del sistema D, aunque el fabricante recomienda su uso en seis conductos, durante el presente estudio se optó por reemplazar la punta cada cuatro conductos. Esta decisión se tomó luego de observar fracturas en las puntas durante la primera ronda de activación, específicamente en los biomodelos 3 y 7, debido a su activación fuera del conducto. Al integrar el análisis de las 60 muestras totales (15 por sistema), se observó que 52 muestras (86.66%) no presentaron extrusión apical de irrigante, mientras que 8 muestras (13.33%) sí la presentaron, todas ellas asociadas al sistema Finishing Files. Esta comparación integral se presenta en la Tabla 1, que resume los valores mínimos, máximos, promedios, desviación estándar y el porcentaje de extrusión en cada grupo experimental.

Tabla 7

Comparación de los cuatro sistemas de activación en relación con la extrusión del Hipoclorito extruido apicalmente (μL)

	Sistema A Activación Sónica con Polímeros (Endoactivator)	Sistema B Activación Rotatoria con Finishing Files (20/04)	Sistema C Activación Dinámica Manual	Sistema D Activación Ultrasónica con Punta de Polímero	Valor de p
Extrusión Observada	No	Si	No	No	
% De Dientes con Extrusión	0%	53.33%	0%	0%	0.066
DS	0	6.27	0	0	
Mínimo	0	3	0	0	
Máximo	0	17.56	0	0	
Media	0	5.16	0	0	

Aunque el sistema B fue el único que presentó extrusión, el valor de p fue de 0.066, lo cual sugiere una diferencia que se aproxima a la significancia estadística convencional ($p < 0.05$), sin alcanzarla.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que el sistema Finishing Files fue el único que presentó extrusión apical, con un promedio de $5.2 \pm 6.3 \mu\text{L}$ y un rango entre $3 \mu\text{L}$ y $17.56 \mu\text{L}$. Este hallazgo

puede explicarse por las características del instrumento y su activación hasta la longitud de trabajo, lo cual incrementa la presión positiva hacia el ápice y facilita el desplazamiento del irrigante. Este comportamiento coincide con lo reportado por Boutsikis et al. (2010), quienes demostraron que la profundidad de inserción de la punta y el tipo de flujo generado influyen directamente en la extrusión. Asimismo, Gomes et al. (2023) señalan que el diseño y la conicidad del instrumento pueden modificar el comportamiento hidrodinámico del irrigante, aumentando la presión apical y, con ello, el riesgo de extrusión. En contraste, los sistemas EndoActivator, activación dinámica manual y activación ultrasónica con punta de polímero no presentaron extrusión en ninguna de las muestras. Este resultado puede atribuirse a que todos fueron activados 2-3 mm antes de la longitud de trabajo, reduciendo la presión hidráulica apical. Este comportamiento se alinea con lo descrito por Desai y Himel (2009), quienes observaron volúmenes mínimos y clínicamente no significativos de extrusión con EndoActivator, y por Rodríguez-Figueroa et al. (2014), que reportaron extrusión leve únicamente en dos dientes (3–10 μL). Igualmente, Yost et al. (2015) encontraron que el EndoActivator produce menor extrusión comparado con otros métodos, confirmando su perfil de seguridad. Por otro lado, el sistema ultrasónico con punta de polímero mostró una activación segura cuando se mantuvo dentro del conducto, aunque se observaron fracturas en las puntas al activarlas fuera de él. Este fenómeno refuerza lo señalado por Mitchell et al. (2011), quienes subrayan que el método de activación y la longitud de trabajo son factores críticos en la aparición de extrusión apical. Los resultados respaldan lo planteado por Kanagasingam y Blum (2020) y Parkar et al. (2024), al recordar que la extrusión del hipoclorito representa un riesgo clínico considerable y que el control de la presión y la distancia de activación son determinantes para prevenirla. Los sistemas que trabajan con activación controlada (particularmente EndoActivator y la activación ultrasónica con puntas de polímero) demostraron un mejor balance entre eficacia de irrigación y seguridad apical, a diferencia del sistema rotatorio, cuya potencia y profundidad de inserción lo hacen potencialmente más riesgoso.

CONCLUSIONES

Entre los sistemas analizados, únicamente Finishing Files (20/04) evidenció extrusión apical del irrigante.

Los sistemas de activación EndoActivator, dinámica manual con cono de gutapercha y ultrasónica con punta de polímero no generaron evidencia de extrusión apical bajo las condiciones experimentales evaluadas.

La activación a longitud de trabajo, como ocurre con Finishing Files, se relaciona con un mayor riesgo de extrusión apical, en contraste con los sistemas que se activan a 2–3 mm antes del foramen.

Dado que el modelo experimental utilizado no contempló la presencia de tejidos periautomáticos, es posible que los volúmenes de irrigante extruido hayan sido mayores a los que se presentarían en condiciones clínicas reales. Por lo tanto, los resultados deben interpretarse con cautela y no extrapolarse directamente a la práctica clínica sin considerar esta limitación.

Tomando en cuenta los beneficios y limitaciones de cada sistema de activación evaluado, la agitación del irrigante puede considerarse una estrategia eficaz y segura durante el tratamiento endodóntico, siempre que se aplique a una distancia de 2 a 3 mm por debajo de la longitud de trabajo, evitando así el riesgo de extrusión apical.

REFERENCIAS

- Al-Jadaa, A., Saidi, Z., Mahmoud, M., Al-Taweel, R., & Zehnder, M. (2023). Assessment of Irrigant Agitation Devices in Simulated Closed and Open Root Canal Systems. *J Endod*, 49(4), 438-444 e436. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2023.01.002>
- Berman, L. H., & Hargreaves, K. M. (2022). *Cohen. Vías de la pulpa*. Elsevier Health Sciences.
- Boutsioukis, C., Lambrianidis, T., Verhaagen, B., Versluis, M., Kastrinakis, E., Wesselink, P. R., & van der Sluis, L. W. (2010). The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *J Endod*, 36(10), 1664-1668. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.06.023>
- Desai, P., & Himel, V. (2009). Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod*, 35(4), 545-549. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.01.011>
- Estrela, C., Estrela, C. R., Barbin, E. L., Spano, J. C., Marchesan, M. A., & Pecora, J. D. (2002). Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*, 13(2), 113-117. <https://doi.org/10.1590/s0103-64402002000200007>
- Gomes, B., Aveiro, E., & Kishen, A. (2023). Irrigants and irrigation activation systems in Endodontics. *Braz Dent J*, 34(4), 1-33. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305577>
- Haapasalo, M., Shen, Y., Wang, Z., & Gao, Y. (2014). Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 216(6), 299-303. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2014.204>
- Iriboz, E., Bayraktar, K., Turkaydin, D., & Tarcin, B. (2015). Comparison of apical extrusion of sodium hypochlorite using 4 different root canal irrigation techniques. *J Endod*, 41(3), 380-384. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.003>
- Jiang, L. M., Lak, B., Eijsvogels, L. M., Wesselink, P., & van der Sluis, L. W. (2012). Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod*, 38(6), 838-841. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.002>
- Kanagasingam, S., & Blum, I. R. (2020). Sodium Hypochlorite Extrusion Accidents: Management and Medico-Legal Considerations. *Prim Dent J*, 9(4), 59-63. <https://doi.org/10.1177/2050168420963308>
- Mitchell, R. P., Baumgartner, J. C., & Sedgley, C. M. (2011). Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod*, 37(12), 1677-1681. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.09.004>
- Mitchell, R. P., Yang, S. E., & Baumgartner, J. C. (2010). Comparison of apical extrusion of NaOCl using the EndoVac or needle irrigation of root canals. *J Endod*, 36(2), 338-341. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.10.003>
- Mohammadi, Z. (2008). Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J*, 58(6), 329-341. <https://doi.org/10.1111/j.1875-595x.2008.tb00354.x>

Parkar, A., Banga, K. S., Pawar, A. M., & Luke, A. M. (2024). Extrusion of Sodium Hypochlorite in Oval-Shaped Canals: A Comparative Study of the Potential of Four Final Agitation Approaches Employing Agarose-Embedded Mandibular First Premolars. *J Clin Med*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/jcm13102748>

Rodriguez-Figueroa, C., McClanahan, S. B., & Bowles, W. R. (2014). Spectrophotometric determination of irrigant extrusion using passive ultrasonic irrigation, EndoActivator, or syringe irrigation. *J Endod*, 40(10), 1622-1626. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.017>

Yost, R. A., Bergeron, B. E., Kirkpatrick, T. C., Roberts, M. D., Roberts, H. W., Himel, V. T., & Sabey, K. A. (2015). Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *Journal of endodontics*, 41(9), 1530–1534. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.05.007>