

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE HONDURAS

“NUESTRA SEÑORA REINA DE LA PAZ”

DIRECCIÓN DE POSTGRADO E INVESTIGACIÓN



Extrusión apical del sellador biocerámico Dia-Root BioSealer: Estudio comparativo in vitro entre técnica inyección convencional vs asistido con activación sónica.

Por:

Xiomara Yaneth Zavala Martínez

Especialidad en Endodoncia

Asesor metodológico:

Dr. Elmer Romero Méndez

Asesor Técnico:

Dr. Carlos Leonardo Medina Antunez

Tegucigalpa, M.D.C.

Honduras, C.A.

15 de Junio del 2026

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dra. Marleni Santos

Rectora Magnífica

Dr. Edgar Giovanny Dubon

Secretario General

Dr. Elio Misael Rapalo

Vicerrector Administrativo

Dr. Francisco Castro

Vicerrector Académico

Dr. Juan José Guifarro

Director de Postgrado

Resumen:

Introducción: Los selladores biocerámicos presentan propiedades favorables para la obturación endodóntica; sin embargo, su elevada fluidez puede favorecer la extrusión más allá del foramen apical. La activación sónica podría mejorar la distribución del sellador, aunque existe incertidumbre sobre su efecto en la cantidad de material extruido. **Objetivo:** Evaluar y comparar in vitro la masa de extrusión apical del sellador Dia-Root BioSealer aplicado mediante inyección convencional o inyección asistida con activación sónica SurfyOne. **Materiales y métodos:** Se realizó un estudio cuantitativo, experimental, prospectivo, transversal y comparativo en 60 dientes humanos unirradiculares extraídos, asignados aleatoriamente a dos grupos de 30 muestras. Los conductos fueron estandarizados hasta un calibre apical #35/.04. En el grupo convencional, el sellador se inyectó a 4 mm de la longitud de trabajo; en el grupo sónico, después de la inyección se activó con SurfyOne a 2 mm de la longitud de trabajo durante 20 segundos. La masa extruida se determinó mediante el método gravimétrico de Myers y Montgomery, utilizando una balanza analítica con sensibilidad de 0,0001 g. **Resultados:** La extrusión media fue de 106,13 mg con la técnica convencional y 109,72 mg con activación sónica. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (t de Student, $p=0,737$; U de Mann-Whitney, $p=0,773$), y el tamaño del efecto fue mínimo (g de Hedges=0,086). Todas las muestras presentaron extrusión detectable. **Conclusión:** Bajo condiciones experimentales estandarizadas, la activación sónica con SurfyOne no incrementó significativamente la masa de extrusión apical del Dia-Root BioSealer respecto de la inyección convencional. La ausencia de contrapresión tisular limita la extrapolación directa de estos resultados al entorno clínico.

Abstract

Introduction: Bioceramic sealers have favorable properties for endodontic obturation; however, their high flowability may promote extrusion beyond the apical foramen. Sonic activation may improve sealer distribution, although its effect on the amount of extruded material remains uncertain. **Objective:** To evaluate and compare, *in vitro*, the apically extruded mass of Dia-Root BioSealer delivered by conventional injection or injection assisted by SurfyOne sonic activation. **Materials and methods:** A quantitative, experimental, prospective, cross-sectional, and comparative study was conducted using 60 extracted human single-rooted teeth randomly allocated to two groups of 30 specimens. Root canals were standardized to an apical size of #35/.04. In the conventional group, the sealer was injected 4 mm short of the working length. In the sonic group, the sealer was injected and then activated with SurfyOne 2 mm short of the working length for 20 seconds. Extruded mass was determined using the Myers and Montgomery gravimetric model and an analytical balance with 0.0001-g sensitivity. **Results:** Mean extrusion was 106.13 mg for conventional injection and 109.72 mg for sonic activation. No statistically significant difference was observed between groups (independent-samples t test, $p=0.737$; Mann–Whitney U test, $p=0.773$), and the effect size was negligible (Hedges' $g=0.086$). Detectable extrusion occurred in all specimens. **Conclusion:** Under standardized experimental conditions, SurfyOne sonic activation did not significantly increase apical extrusion of Dia-Root BioSealer compared with conventional injection. The absence of tissue backpressure in the *in vitro* model limits direct extrapolation of these findings to clinical conditions.

Palabras clave:

Palabras clave: Extrusión apical; Obturación del Conducto Radicular; Materiales de Obturación del Conducto Radicular; Ápice del Diente; Vibración; Técnicas In Vitro.

Keywords: Apical Extrusion; Root Canal Obturation; Root Canal Filling Materials; Tooth Apex; Vibration; In Vitro Techniques.

GUÍA DE CONTENIDO

Introducción

2. Marco teórico

3. Planteamiento del problema

3.1 Descripción del problema

3.2 Pregunta de Investigación

4. Justificación

5. Situación Actual

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

6.2 Objetivos específicos

7. Metodología del Proyecto

7.1. Tipo de estudio

7.2. Población y muestra (Criterios de selección y exclusión)

7.3. Métodos y técnicas para la recolección de la información (Materiales y métodos)

7.4. Hipótesis de estudio

7.5 Plan de tabulación y análisis.

a. Hipótesis estadísticas (alterna y nula)

b. Estadística descriptiva

c. Estadística analítica

8. Discusión

9. Recomendaciones

10. Conclusiones

11. Referencias Bibliográficas

12. Anexos

Introducción

El éxito a largo plazo del tratamiento endodóntico depende fundamentalmente del empleo del correcto protocolo conformado por el desbridamiento biomecánico, la desinfección química y la obturación tridimensional del sistema de conductos radiculares. La última etapa tiene como objetivo principal el sellado hermético del espacio del sistema de conductos radiculares para prevenir la microfiltración bacteriana y crear un entorno biológico favorable para la reparación de los tejidos periapicales (1).

La literatura nos enseña que la obturación se ha basado en el uso de materiales sólidos, como la gutapercha, combinados con selladores de diversas naturalezas químicas. Sin embargo, la evolución de la ciencia de materiales ha dado lugar a la aparición de los selladores biocerámicos de cuarta generación, como el Dia-root BioSealer (2). Estos materiales, compuestos por silicatos de calcio, han transformado el pronóstico clínico gracias a su hidrofilia, estabilidad dimensional y, especialmente, a su bioactividad, que permite una integración química con la dentina a través de la formación de hidroxiapatita. (3)

Independientemente de todas las anteriores ventajas que estos materiales brindan, la técnica de aplicación sigue siendo un desafío crítico. La inyección convencional de estos selladores, si bien es eficiente, puede presentar limitaciones en la adaptación microscópica a las complejas irregularidades anatómicas del conducto (3). Para lograr un cambio en esta fase, se ha propuesto la activación sónica, utilizando dispositivos en este caso como el SurfyOne. Este sistema busca aprovechar la tixotropía del biocerámico a través de la producción de una onda sonora que no arrastra las partículas de la mezcla, sino que las hace vibrar alrededor de su posición de equilibrio, generando agitación hidrodinámica y una ligera variación de temperatura que produce una reducción de la viscosidad y por ende una mayor fluidez. (1)

Pero es importante resaltar, que esta propuesta técnica introduce una variable de riesgo: la extrusión apical (1). La energía sónica genera corrientes acústicas y presiones hidrodinámicas que podrían enviar el sellador más allá del límite biológico de la constricción apical, especialmente en casos de forámenes amplios o tras una sobreinstrumentación accidental (1). Aunque el Dia-Root BioSealer es altamente biocompatible, su extensión hacia los tejidos perirradiculares no pasa del todo desapercibida, ya que puede desencadenar respuestas inflamatorias agudas, dolor postoperatorio o interferencias en el proceso de cicatrización (3).

Debido a todo lo anteriormente mencionado, surge la necesidad de evaluar de manera científica y comparativa el impacto de estas tecnologías. La presente investigación se centra en determinar

si la inyección asistida con el activador sónico SurfyOne, a pesar de sus beneficios teóricos en la adaptación, incrementa significativamente la masa de extrusión apical del Dia-Root BioSealer en comparación con la técnica de inyección convencional. A través de un estudio *in vitro* con pesaje gravimétrico de alta precisión, y de esta manera se busca poder aportar evidencia que permita establecer protocolos de obturación equilibrados, y así lograr una técnica que permita la seguridad biológica del paciente.

2. Marco Teórico

2.1 Sistema de conductos radiculares

Diversos autores describen, que la eficacia de la terapia del sistema de conductos radiculares está estrechamente relacionada con el manejo eficaz de los mismos; Debido a la compleja variabilidad en la configuración de los conductos, es importante desarrollar un protocolo adecuado en la preparación y desinfección químico-mecánica, que conlleva a un control del material de obturación, evitando así accidentes como la extrusión apical, principalmente cuando deseamos emplear nuevas tecnologías o selladores hidráulicos. (2)

Variaciones morfológicas e implicación en la obturación radicular

El éxito del tratamiento de conductos radiculares depende no solo de la limpieza o desinfección, sino también de una comprensión precisa de la anatomía interna, como mencionan los sistemas de clasificación de la morfología de la raíz y del conducto radicular; un profesional en el área debe tener un dominio tanto de la anatomía estándar como de sus variaciones, tales como conductos únicos que se bifurcan y vuelven a unir a nivel o antes del ápice, configuraciones anatómicamente complejas e históricamente clasificadas por autores como Versiani M. et al., que presentan desafíos en el abordaje clínico y específicamente en la fase de obturación. Siguiendo el contexto de esta investigación, las variaciones en el tercio apical y evidencia de múltiples forámenes incrementan la dificultad para el control en la presión hidráulica durante la inyección del sellador (3).

Para la comprensión de la importancia de la obturación del conducto radicular, debemos tener en cuenta la constricción apical, en primer lugar, como el límite biológico y mecánico, sabiendo que hay una terminación del espacio interno del sistema de conductos; no es un punto simple, sino una región compleja que podemos denominar como complejo apical. Según estudios clásicos como los de Kuttler, evaluados ya mediante microtomografía computarizada (Micro-CT), La constricción apical (C.A.) se denomina como el diámetro más estrecho del conducto, que se ubica generalmente a 0.5 – 1.0 mm del foramen apical. Debido a esto y desde una perspectiva clínica, la constricción apical representa el “tope natural” que debe contener los materiales de obturación. Sin embargo, las múltiples variaciones morfológicas comprometen esta barrera. En base a esta investigación, en la obturación con cementos biocerámicos la integridad de esta zona es compleja, debido a la alta fluidez y naturaleza de los mismos materiales, ya que carecen de una viscosidad necesaria para autolimitarse ante una presión de inyección excesiva. (4)

Teniendo en cuenta la importancia de la constricción apical, en el proceso del tratamiento de conductos radiculares, nos enfocaremos en la importancia de:

2.2 *La obturación*, definiéndose como la fase final del tratamiento de conductos, cuyo propósito fundamental es sustituir el tejido pulpar extirpado por materiales biológicamente inertes o bioactivos. También definiremos tres criterios actuales y a su vez objetivos de esta (5).

1. *Objetivo biológico*: Mantener los materiales de obturación dentro de los límites del conducto radicular; se trata de seguir protocolos seguros que conlleven un uso adecuado de los materiales de obturación, y esto a su vez al cuidado de la constricción apical, que evita el paso al tejido periapical. (5)
2. *Objetivo mecánico*: Hermeticidad tridimensional (6); Se debe lograr un sellado completo que impida la filtración hacia tres direcciones:
 - ✓ Sello apical: Evitar que los fluidos periapicales entren en contacto al espacio del conducto radicular y a su vez actúen como sustrato para las bacterias residuales que puedan estar contenidas en el mismo. (6)
 - ✓ Sello coronal: Evitar que los microorganismos patógenos de la cavidad oral migren hacia el ápice a través de la interfase que se logra con biomateriales-dentina. (6)
 - ✓ Sellado lateral: Ocluir ramificaciones, istmos y túbulos dentinarios; aquí es donde cobra importancia la activación, ya que tiene como objetivo que el sellador biocerámico, en este caso, venza la tensión superficial y logre a su vez la penetración en estas irregularidades anatómicas. (6)
3. *Objetivo terapéutico*: Después de una rigurosa quimiopreparación (7), podemos encontrarnos con una resistencia de las bacterias intrarradiculares; entonces podemos decir que el sellado endodóntico busca:
 - ✓ *Confinamiento*: Encerrar a las bacterias residuales contra las paredes dentinarias, limitándolas de nutrientes y espacio para su desarrollo o multiplicación. (7)
 - ✓ *Acción antimicrobiana*: Según el contexto de nuestra investigación, el uso de los biocerámicos como el Dia-Root, por su pH alcalino inicial durante el proceso de fraguado conlleva a un posible efecto antimicrobiano. (8)

2.3 Desafíos clínicos:

Es necesario mencionar que a pesar de los avances en los protocolos y en la tecnología de los materiales, el profesional clínico enfrenta múltiples obstáculos que conllevan a una dificultad en el cumplimiento de los objetivos en la obturación anteriormente descritos, cómo ser el sellado tridimensional y el respeto de la "barrera o constricción apical", éstos a su vez podemos agruparlos o clasificarlos en factores tales cómo anatómicos, técnicos y reológicos (5):

➤ *Complejidad de la anatomía interna y el "espacio no instrumentado"*

El principal desafío clínico se basa en que la instrumentación mecánica solamente logra limpiar y dar forma al conducto principal; según algunos estudios se muestra que podríamos dejar un aproximado de 35% a 40% de la anatomía interna del sistema de conductos radiculares sin tener contacto con nuestro sistema o protocolo de instrumentación (3). La mayor complejidad en los istmos y los conductos laterales es que estas áreas albergan una gran cantidad de detritus y bacterias, que conllevan a un indeseado tránsito bacteriano, un sellado inadecuado; no se logra una hermeticidad lateral, los selladores intracanales no siempre logran vencer la tensión superficial para poder hacer una penetración en estas microestructuras, por ende, conllevan a un posible fracaso del tratamiento del conducto radicular (9).

➤ *Inconsistencia de la constricción apical*

Un límite mecánico incierto, en este caso sabemos que el objetivo biológico es sellar en la unión CDC (unión cemento- dentina), estudios revelan que la constricción apical no siempre será el punto más estrecho o podrían ser constricciones paralelas o cónicas (10). Esto conlleva a lo que conocemos cómo morfologías irregulares; que incluye casos cómo reabsorción apical, conductos con forámenes ovales, se podría diferenciar porque el "tope apical" es inexistente, lo que nos provoca un desafío del control en la presión de inyección en este caso de los cementos selladores hidráulicos y así evitar una extrusión masiva, que es el punto focal de esta investigación (11).

➤ *Limitaciones de la técnica de inyección convencional*

La técnica de inyección directa mediante puntas convencionales presenta desafíos dinámicos específicos:

- ✓ Presión hidrostática: Al accionar el émbolo de la jeringa, se genera un efecto de pistón que puede proyectar el sellador más allá del ápice antes de que el cono maestro de gutapercha sea posicionado. (4)
- ✓ Inclusión de burbujas de aire "voids": La inyección pasiva puede atrapar aire en el tercio apical, creando espacios vacíos que permiten la microfiltración. (12)
- *Presencia de la capa de desecho "smear layer"*

La finalidad de la obturación es la adhesión o adaptación íntima a la dentina. Pero, si el protocolo de irrigación no elimina eficazmente el "smear layer" en el tercio apical, el sellador no podrá penetrar los túbulos dentinarios, dejando micro-filtraciones que ponen en riesgo el éxito a largo plazo (2).

Una vez descrito la finalidad de la obturación en los tratamientos endodónticos, es importante que veamos que a lo largo de los años ha habido una evolución de los selladores en endodoncia, siempre con el fin de mejorar la obturación.

2.4 Selladores Endodónticos

El proceso de tratamiento de conductos radiculares consiste en una preparación química y mecánica minuciosa y protocolaria del sistema de conductos, seguida de la obturación. La obturación implica sellar la región apical y rellenar completamente el espacio del conducto radicular, sin dejar espacios vacíos. Una obturación adecuada evita la contaminación y la reinfección por saliva, bacterias o exudado periapical; lo logra a través de que encapsula los microorganismos residuales dentro del conducto (6). Los materiales de obturación de conductos radiculares suelen constar de un material de obturación sólido y un sellador, el material sólido llena la mayor parte del conducto y actúa como una barrera contra la reinfección. (figura 1) (5). Se presenta también una demostración paso a paso de la obturación con cementos biocerámicos (Figura 2) (6).

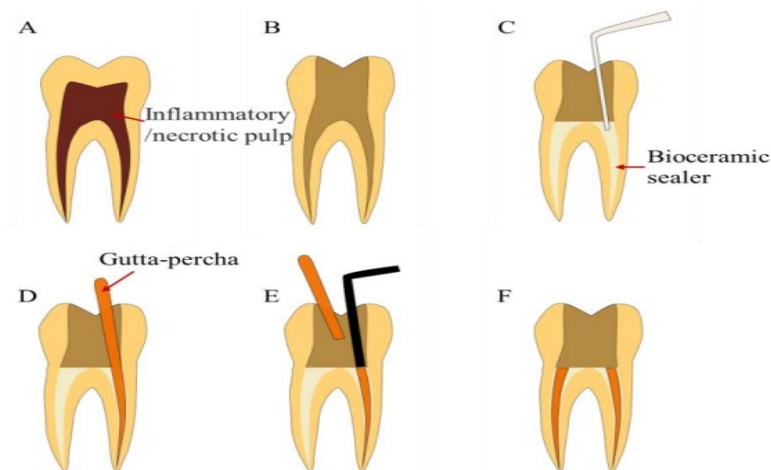
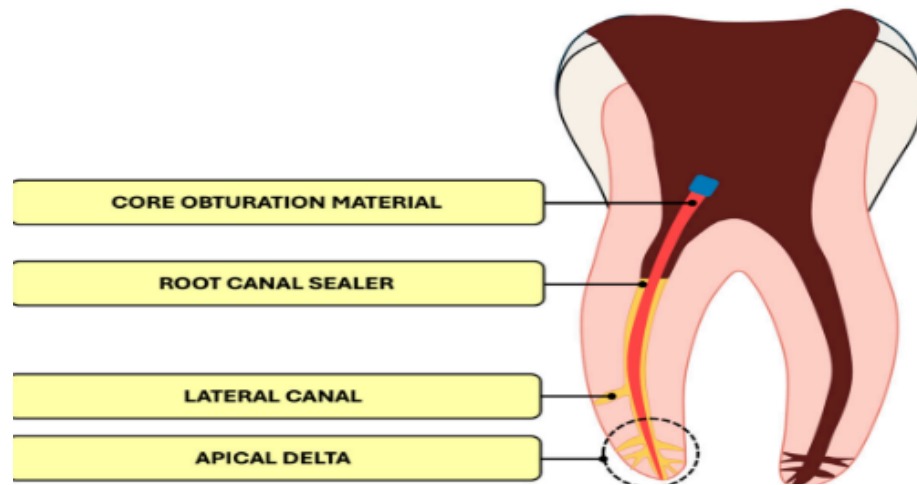


Figura 2: Demostración paso a paso de la obturación con cementos biocerámicos (6)

El desarrollo de los selladores ha estado marcado por la búsqueda de un material que cumpla con los postulados siguientes: estabilidad dimensional, biocompatibilidad, capacidad de sellado, radiopaco que permita su visualización, evite la decoloración, tiempo de fraguado adecuado que permita la manipulación clínica, insoluble en los fluidos tisulares, debe ser soluble en un disolvente de uso común para facilitar su eliminación en caso necesario y acción antimicrobiana (Grossman, 1982). (2) Esta evolución se puede clasificar en cuatro generaciones principales, dentro de las cuales fueron apareciendo diferentes selladores, a continuación, se describirán algunos de acuerdo con la generación

Primera Generación: Selladores de óxido de zinc y eugenol

Fueron los pioneros en la endodoncia moderna. (6)

- Características: Poseen una excelente historia clínica y propiedades antimicrobianas debido al eugenol.
- Limitaciones: Presentan una alta solubilidad, tendencia a la reabsorción si se extruyen, pueden causar irritación en los tejidos periapicales, su fraguado es lento y su capacidad de sellado es puramente mecánica.

Segunda Generación: Selladores de Resina Epóxica.

Con la aparición del *AH-26* y posteriormente el *AH-Plus*, se buscó mejorar la estabilidad y la adhesión. Los selladores endodónticos a base de resina epoxi se han considerado durante mucho tiempo como el estándar de oro en la obturación de conductos radiculares debido a sus favorables características fisicoquímica (6)

- Ventajas: Baja solubilidad, excelente fluidez y una gran estabilidad dimensional a largo plazo, alta resistencia mecánica, excepcional capacidad de sellado, una capacidad para penetrar en los túbulos dentinarios, mejoran la retención mecánica y el sellado en la interfaz del sellador dentinario, todos estos factores reducen el riesgo de microfiltración. (6)
- Desafíos: Son materiales inertes que presentan una ligera toxicidad inicial antes de su fraguado completo, la presencia de sellador en los tejidos periapicales puede provocar una respuesta inflamatoria persistente debido a la limitada capacidad del material para integrarse o ser reabsorbido biológicamente. (13)

Tercera Generación: Selladores de ionómero de vidrio y silicona

Introducidos para intentar lograr una unión química a la dentina.

Resultado: Aunque ofrecían una buena biocompatibilidad, no son citotóxicos, ofrecen un potencial de sellado aceptable, debido a su estabilidad dimensional y su solubilidad prácticamente nula en fluidos, pero su dificultad de manejo y su incapacidad para adaptarse a las irregularidades del conducto, su falta de propiedades antimicrobianas limitó su uso clínico masivo. (6)

Cuarta Generación: Selladores Biocerámicos (Silicatos de Calcio) (Figura 3) (14) (figura 4) (15).



Después de múltiples apariciones de cementos selladores, cada cuál en su respectiva generación con ventajas y desventajas, aparecen y representan el hito más reciente en la endodoncia, categoría a la que pertenece el Dia-Root BioSealer, los cementos hidráulicos. Sus aplicaciones son diversas y su utilidad radica en su naturaleza hidráulica. Estos materiales requieren agua para fraguar y alcanzar sus características físicas y mecánicas óptimas, no se deterioran al humedecerse y forman hidróxido de calcio como subproducto de la reacción de hidratación. Todas estas características son importantes para diversas aplicaciones clínicas (8). (Figura 5 (16))



- Propiedades Clave: * Hidrofilia: Aprovechan la humedad residual para fraguar, mejorando el sellado en el tercio apical (2)
- Biocompatibilidad: No solo son tolerados, sino que promueven la diferenciación de osteoblastos (13).

- Estabilidad: Presentan una expansión mínima durante el fraguado, lo que refuerza el sellado hermético. (12)

Este avance justifica nuestra investigación al ser materiales con una dinámica de flujo distinta más fluidos y tixotrópicos, es imperativo evaluar si las técnicas tradicionales de inyección son suficientes o si requieren activación sónica para maximizar sus propiedades evolutivas sin generar riesgos de extrusión.

Composición y propiedades fisicoquímicas

En este caso específicamente, la estructura del Dia-Root BioSealer y otros silicatos de cuarta generación se fundamenta en tres componentes clave:

1. Silicato Tricálcico (Ca_3SiO_5): componente principal responsable del endurecimiento inicial y la liberación de iones de calcio. Su hidratación es rápida y define la fuerza compresiva temprana del material (14).
2. Silicato Dicálcico ($2\text{CaO}\backslash\text{SiO}_2$): Reacciona más lentamente, contribuyendo a la estabilidad estructural a largo plazo y al sellado sostenido (14).
3. Agentes Radiopacificadores: A diferencia del MTA original que usaba óxido de bismuto (asociado a la tinción dental), los selladores modernos emplean óxido de zirconio (ZrO_2). Es un compuesto químicamente inerte, podríamos decir que no altera la reacción de fraguado y ofrece una radiopacidad sin comprometer la estética (2).

Propiedades:

✓ *Hidratación y naturaleza hidráulica*

La propiedad más distintiva de estos silicatos es su característica hidráulica que a diferencia de las resinas que requieren un campo seco, los silicatos de calcio utilizan el agua proveniente de los túbulos dentinarios para iniciar su fraguado. De todo esto se produce una reacción química y el producto resultante es un gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), que forma una matriz sólida y porosa donde queda atrapado el hidróxido de calcio (2)

✓ *Alcalinidad y potencial osteogénico*

Durante la hidratación, la liberación masiva de iones hidroxilo (OH) eleva el pH del medio a niveles superiores a 12. Esta alcalinidad sostenida tiene dos efectos fundamentales:

- Acción antibacteriana: altera la membrana citoplasmática y el ADN de microorganismos resistentes como el *Enterococcus faecalis* (16).
- Bioactividad: El pH básico favorece la liberación de factores de crecimiento de la dentina y promueve la diferenciación de células madre del ligamento periodontal en cementoblastos u osteoblastos (3)

✓ *Estabilidad dimensional y sellado hermético*

Los silicatos de calcio presentan una expansión mínima durante el fraguado (generalmente <0.1%), esta ligera expansión, sumada a su hidrofilia, permite que el material se adapte íntimamente a las irregularidades microscópicas de la dentina, superando la contracción típica de los selladores de resina epóxica (3).

Los iones de calcio y fosfato del sellador interactúan con los fluidos tisulares, precipitando cristales de hidroxiapatita carbonatada en la interfase. Esto no solo genera un sellado mecánico, sino una unión química real que refuerza la resistencia de la raíz y previene la microfiltración (17).

✓ *Reología y Tixotropía: Justificación de la activación*

Científicamente, los silicatos de calcio en presentación de pasta premezclada, el material posee una viscosidad alta en reposo, lo que evita que se derrame de la jeringa; pero, al aplicarse una fuerza externa como la activación sónica, los enlaces temporales entre las partículas de silicato se rompen, reduciendo su viscosidad aparente (1)

Esta propiedad justifica nuestra investigación: la activación sónica genera energía acústica que promueve la penetración profunda del sellador en los túbulos dentinarios al vencer la resistencia intratubular, esto a su vez, promueve una mejor adaptación o sellado marginal, pero también puede incrementar el riesgo de extrusión de masa del sellador a los tejidos periapicales (1).

2.5 Sellador biocerámico Dia-Root BioSealer

Los cementos hidráulicos pueden tener diferentes composiciones químicas. La química del silicato tricálcico y dicálcico es la más investigada en odontología, ya que la reacción de hidratación da como resultado la formación de hidróxido de calcio que se ha utilizado como

apósito antimicrobiano en endodoncia durante más de un siglo. El hidróxido de calcio eleva el pH y está vinculado a las características antimicrobianas de los selladores(2).

Composición química específica

Algunas clasificaciones a las que el Dia Root pertenece según su función clínica, es un cemento sellador intra radicular (Figura 6). (8) pero según su composición química se podría decir que no está del todo bien establecida, podríamos mencionar que es un sellador hidráulico con aluminato de calcio. (17) Las cantidades de silicato tricálcico en todos los selladores no superan el 35% para todas las formulaciones, llegando algunas incluso a ser tan bajas como el 5%. Varios selladores también incluyen silicato dicálcico, lo que aumenta la cantidad total de silicato en el producto. El componente de cemento no solo contribuye a las características antimicrobianas deseables, sino también a la bioactividad, la solubilidad y la lixiviación. Estas propiedades están vinculadas e incluso se confunden. La liberación de hidróxido de calcio se denomina lixiviación, que es un proceso químico (17) El aluminato puede estar presente en pequeñas cantidades >5% como se encuentra normalmente en el cemento Portland industrial. Bio-C Sealer es uno de esos materiales. Esto contribuye a la reacción de hidratación en combinación con el sulfato de calcio. Los aluminatos de calcio también son hidráulicos, y se ha afirmado que el uso de estos materiales hidráulicos mejora la resistencia a los ácidos y reduce la solubilidad del sistema de silicato tricálcico. Dia-Root Biosealer no incluye silicato tricálcico. Está compuesto de aluminato tricálcico y radiopacificadores. La reacción del aluminato tricálcico con agua produce hidrato de aluminato de calcio en ausencia de sulfato de calcio. (17)

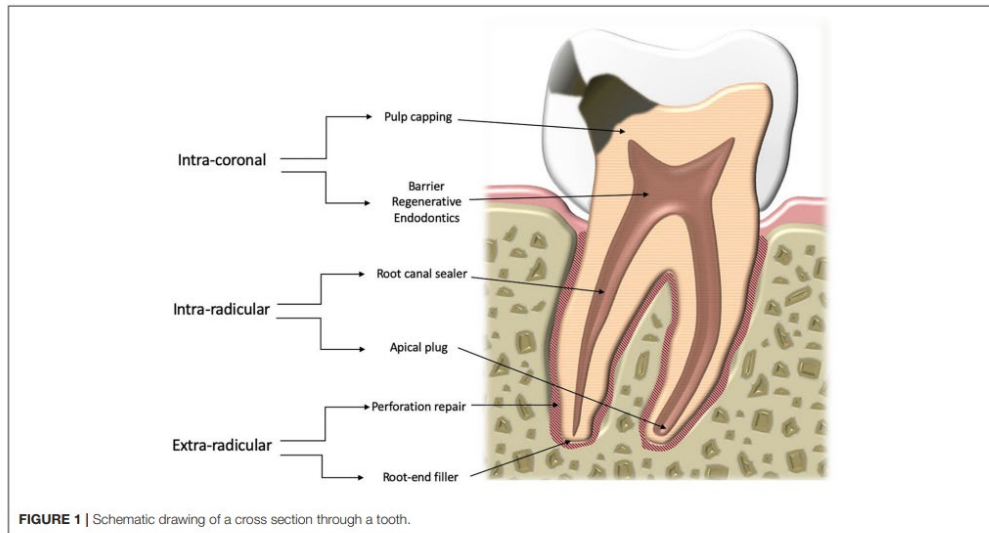


Figura 6 Clasificación según su función clínica- Dia root Bio Sealer (8)

A diferencia de los selladores tradicionales, su química es puramente inorgánica y mineral:

- Agente Radiopacificador: Óxido de Zirconio (ZrO_2), que proporciona una radiopacidad superior a 3mm de aluminio, permitiendo un contraste nítido sin causar pigmentación coronaria (23).
- Vehículo de Transporte: Un espesante polimérico no acuoso que mantiene la fluidez de la pasta hasta que entra en contacto con el agua del conducto (23).

Propiedades fisicoquímicas

La literatura técnica y científica del producto resalta características que lo hacen ideal para técnicas de inyección:

1. Naturaleza hidrofílica: El material emplea la humedad residual de los túbulos dentinarios para completar su reacción de fraguado, esto elimina la necesidad de un secado extremo del conducto radicular (3).
2. Fluidez y tixotropía: Posee un tamaño de partícula fino, lo que le otorga una fluidez excepcional, al ser un material tixotrópico, su viscosidad disminuye bajo la aplicación de energía mecánica (como la activación sónica), permitiendo que fluya hacia anatomías complejas como ístmos y conductos accesorios (24).

3. Estabilidad dimensional: presenta una expansión mínima durante el fraguado, diferente de los cementos a base de resinas que se contraen, el Dia-Root BioSealer se expande ligeramente, mejorando el sellado hermético contra las paredes dentinarias (23).
4. Insolubilidad: Una vez fraguado, presenta una solubilidad prácticamente nula (<1%), lo que permite que haya una estabilidad de sellado prolongado (23).

Interacción Biológica y pH

Tras la inyección y contacto con el fluido tisular, el Dia-Root BioSealer inicia una liberación sostenida de hidróxido de calcio.

- Alcalinidad: alcanza un pH inicial de aproximadamente 12.5, generando un ambiente de incompatibilidad para bacterias persistentes como el *E. faecalis* (20).
- Formación de Apatita: La liberación de iones de calcio y grupos hidroxilo favorece la formación de una capa de hidroxiapatita en la interfase, promoviendo el llamado cierre biológico en la constricción apical (25)

Una vez estudiados los selladores biocerámicos de última generación (Biocerámicos a base de silicato de calcio), la literatura sugiere propiedades favorables en el proceso de obturación de los conductos radiculares, pero según nuestra investigación es importante conocer y estudiar cuáles serían algunas de las posibles desventajas o complicaciones en el uso de los mismos.

2.6 Dinámica de la extrusión apical de selladores

La extrusión apical se define como el paso inadvertido de materiales de obturación, detritos o irrigantes hacia los tejidos periapicales a través del foramen apical. Esto es el resultado de una interacción de fuerzas durante la fase de obturación (20). A continuación, algunas causas que podrían desencadenar una extrusión apical:

2.6.1 Factores hidrodinámicos: el efecto de pistón

Durante la técnica de inyección de selladores biocerámicos como el Dia-Root BioSealer, el conducto radicular actúa como un cilindro hidráulico.

- Presión de inyección: Al ejercer presión sobre el émbolo de la jeringa, se genera una presión positiva, si la punta de inyección se encuentra muy cerca del tercio apical o si el sellador ocupa todo el espacio del conducto, se crea un efecto de pistón (20).

- Gradiente de presión: El sellador buscará la zona de menor resistencia. Si la constricción apical ha sido debilitada o tiene un diámetro amplio, el gradiente de presión empujará el material hacia el ligamento periodontal antes de que se logre la condensación coronal (20).

2.6.2 Reología del Sellador y Tixotropía

La facilidad con la que un material se extruye depende de su viscosidad dinámica.

- Comportamiento de los biocerámicos: Al ser materiales tixotrópicos, su viscosidad disminuye cuando se les aplica una fuerza (21).
- Influencia de la activación sónica: La activación introduce energía mecánica que rompe la estructura interna del sellador, aumentando su fluidez, se puede decir que el material vence más fácilmente la fricción de las paredes dentinarias, lo que podría facilitar su paso a través del foramen apical si no se controla el volumen inyectado (18)

2.6.3. Resistencia del periápice

Un factor crítico en los estudios *in vitro* es la ausencia o presencia de una barrera que simule los tejidos periapicales.

- Presión tisular: En condiciones clínicas, el ligamento periodontal y el hueso alveolar ofrecen una resistencia natural (contrapresión) que limita la extrusión. (3) Esta es una de las limitaciones en nuestra investigación.

2.6.4. Morfología apical

La dinámica de la extrusión está directamente relacionada al diámetro del foramen apical, podemos mencionar que el flujo de un material a través de un orificio aumenta con el radio de este y en este caso, por conductos instrumentados a calibres mayores (ej. mayor a 35) presentan un riesgo significativamente más alto de extrusión de biocerámicos fluidos, esto nos lleva mencionar la sobreinstrumentación accidental o falta de una constricción apical (8).

2.6.5. Sobre-instrumentación

La sobre-instrumentación se define como la extensión de los instrumentos de limpieza y conformación más allá de la constricción apical, resultando en una alteración del límite

biológico del conducto radicular, es un error técnico accidental que altera la dinámica de la obturación de las siguientes maneras (6):

Destrucción de la constricción apical

El objetivo de la instrumentación es mantener la constricción apical (el punto más estrecho del conducto) intacta, pero cuando una lima sobrepasa este límite, se produce un ensanchamiento mecánico del foramen y esto nos lleva a:

- ✓ Pérdida de barrera mecánica: Al eliminarse la constricción, desaparece la resistencia física que impide el paso del sellador.

Efecto en biocerámicos: Dado que el Dia-Root BioSealer tiene una fluidez elevada, la ausencia de una barrera anatómica natural precipita que el material fluya libremente hacia el periápice bajo la mínima presión hidrostática.

Podríamos decir, que la sobreinstrumentación pasa de un foramen fisiológico estrecho a un orificio irregular y amplio.

Consecuencias clínicas de la extrusión de materiales de obturación

La presencia de materiales de obturación en el tejido perirradicular se considera un accidente involuntario técnico que puede comprometer el pronóstico del tratamiento, ya que podría causar algunos efectos como una reacción inflamatoria, dolor post operatorio, retraso en la cicatrización y reacciones más complejas como ser lesiones nerviosas a causa de la extrusión. (27).

Reacción inflamatoria y dolor post operatorio

La extrusión de selladores como los silicatos de calcio provoca una agresión mecánica y química inmediata en el ligamento periodontal (11).

Irritación química: Debido al elevado pH inicial (>12), el contacto directo con los nociceptores del ligamento puede desencadenar dolor agudo y sensibilidad a la percusión en las primeras 24 a 72 horas (17).

Efecto de cuerpo extraño: El organismo reconoce el material extruido como un agente ajeno, activando una cascada inflamatoria que incluye la liberación de mediadores como prostaglandinas y leucotrienos, lo que se traduce clínicamente en inflamación y malestar post-tratamiento (4).

Citotoxicidad y respuesta tisular específica

Aunque los biocerámicos de cuarta generación se caracterizan por su alta biocompatibilidad, la respuesta celular depende del volumen y la superficie de contacto:

Interacción celular: En pequeñas cantidades, los silicatos de calcio promueven la diferenciación de osteoblastos. Sin embargo, una extrusión masiva puede causar necrosis por presión en el tejido óseo adyacente o en el paquete vásculo-nervioso (7).

Interferencia con la cicatrización y reparación apical

El objetivo del tratamiento endodóntico es la restitución de los tejidos periapicales. La extrusión puede obstaculizar este proceso:

- Retraso en la osteogénesis: El material extruido ocupa un espacio físico que debería ser reemplazado por hueso alveolar, cemento o ligamento periodontal. Si el volumen es considerable, puede formarse una cápsula de tejido conectivo fibroso alrededor del sellador (encapsulamiento), impidiendo la regeneración ósea completa (18).
- Migración del material: A diferencia de los selladores de resina que son inertes, los biocerámicos pueden ser parcialmente fagocitados por macrófagos, pero este proceso de limpieza biológica es lento y puede mantener un estado de inflamación crónica subclínica. (18)

Impacto en el éxito a largo plazo

La literatura científica debate si la extrusión afecta la tasa de éxito final.

- Éxito vs. Supervivencia: Aunque muchos dientes con extrusión "sellan" y permanecen asintomáticos, la probabilidad de éxito radiográfico absoluto disminuye en comparación con aquellos obturados exactamente en la constricción apical. El riesgo principal radica en que el material extruido pueda servir de "vehículo" o refugio para bacterias que no fueron eliminadas durante la desinfección (18).

Siguiendo el contexto de nuestra investigación es de suma importancia conocer entonces cuál sería una técnica ideal de inyección y colocación en este caso del cemento sellador.

Técnica de inyección y colocación del sellador biocerámico

La técnica de inyección directa ha revolucionado la fase de obturación al permitir una entrega precisa y controlada del sellador en el tercio apical, específicamente cómo el caso

del Dia root-Bio sealer premezclado, con esto se busca minimizar la manipulación del material y reducir la inclusión de burbujas de aire (9).

Fundamentos de la inyección endodóntica convencional

La colocación del sellador mediante puntas intra-conducto se basa en el principio de desplazamiento positivo, que a diferencia de la técnica tradicional con léntulos o limas manuales, la inyección permite que el material ocupe el conducto de manera ascendente (de apical a coronal), lo que favorece un llenado más denso y uniforme (14).

Protocolo de obturación: inyección convencional

Para efectos de estandarización en esta investigación, la técnica de inyección sigue un orden lógico de ejecución:

1. Secado del conducto: Se realiza con puntas de papel absorbente, es importante saber que para obturación con cementos biocerámicos, el conducto debe estar ligeramente húmedo, lograr mantener humedad intrínseca en los túbulos dentinarios para permitir la reacción de hidratación del silicato de calcio (14).
2. Posicionamiento de la punta de inyección: La aguja o punta del sistema Dia-Root se introduce en el conducto, retirándose luego 1 - 2mm para evitar el estancamiento (bloqueo contra las paredes) y reducir la presión hidrostática directa sobre el foramen (14).
3. Inyección controlada o pasiva: Se aplica una presión constante sobre el émbolo mientras se retira la punta lentamente hacia la apertura coronal. Este movimiento busca que el sellador cubra todas las paredes sin dejar espacios vacíos (*voids*) (9).
4. Inserción del cono maestro: Una vez colocado el sellador en el tercio apical y medio, se introduce el cono de gutapercha previamente calibrado a la longitud de trabajo. El cono actúa como un pistón secundario que desplaza el sellador lateralmente hacia las irregularidades anatómicas (9).

Limitaciones de la inyección convencional

La literatura reporta que la inyección simple, aunque eficiente, puede fallar en:

- Lograr una adaptación microscópica completa en el tercio apical debido a la tensión superficial del sellador (9).

- Controlar el volumen exacto de material que se posiciona más allá del cono maestro, lo que a menudo resulta en una extrusión accidental por la presión de inserción de la gutapercha (9).

En el aspecto experimental de esta tesis, la técnica de inyección convencional (Grupo Control) se define como la colocación pasiva del sellador seguida de la inserción inmediata del cono maestro, esto comparado con la técnica de inyección asistida con activación sónica (Grupo Experimental), donde se introduce el sistema SurfyOne tras la inyección para evaluar si la energía vibratoria mejora la calidad del sellado o si, por el contrario, exagera la dinámica de extrusión apical descrita.

Obturación mediante inyección asistida con activación sónica

La inyección asistida con activación sónica surge como una propuesta técnica para optimizar la interfaz entre el sellador biocerámico y la dentina radicular, esto a su vez, busca hacer un cambio de la colocación pasiva en un proceso dinámico, aprovechando las propiedades físicas de los materiales de cuarta generación (5)

Tixotropía y energía sónica

El fundamento científico de esta técnica reside en la modificación de la viscosidad del Dia-Root BioSealer. Como se detalló anteriormente, los silicatos de calcio premezclados presentan un comportamiento tixotrópico (5).

- Mecanismo: Al introducir la punta del sistema SurfyOne en el conducto previamente cargado con sellador, las ondas sónicas generan un efecto de energía mecánica (1).
- Resultado: Esta energía rompe las fuerzas de cohesión interna del sellador, aumenta su fluidez de manera temporal y permite que el material tenga una mejor distribución y adhesión al complejo sistema dentinario a diferencia de la inyección pasiva (1).

Dinámica de Fluidos:

La activación sónica dentro del conducto genera un fenómeno denominado *acoustic streaming* (corrientes acústicas).

- **Distribución Tridimensional:** Estas corrientes generan un movimiento circular del sellador que lo impulsa hacia áreas de difícil acceso anatómico, como ístmos, conductos accesorios y túbulos dentinarios abiertos (1).
- **Eliminación de Atrapamiento de Aire:** La vibración alrededor de su posición de equilibrio genera agitación hidrodinámica, y una ligera variación de temperatura, esta presión mecánica produce una masa de obturación más densa y homogénea, especialmente en el crítico tercio apical (1).

Extrusión en la técnica de obturación asistida

A pesar de las ventajas en la adaptación marginal, la inyección asistida introduce una variable de presión dinámica que es la causa principal de esta investigación; a diferencia de la inyección pasiva, la activación sónica genera pulsos de presión, si la punta activa se posiciona cerca de la constricción apical, la energía cinética puede actuar como un propulsor, venciendo la resistencia del foramen (18).

Entonces, mientras la activación sónica mejora significativamente la calidad del sellado tridimensional y la penetración intratubular, se presenta una interrogante sobre cómo esta energía afecta la masa de extrusión apical en comparación con la técnica de inyección convencional.

Esta sección de la técnica asistida justifica la necesidad de realizar un estudio *in vitro* que cuantifique si el beneficio de una mejor adaptación compensa el riesgo biológico de extruir el Dia-Root BioSealer hacia los tejidos periapicales, permitiendo así establecer protocolos de seguridad clínica para el uso de sistemas como el SurfyOne

Activador sónico SurfyOne (figura 6) (19)

El *SurfyOne* es un dispositivo inalámbrico de última generación diseñado para la activación de fluidos e irrigantes dentro del sistema de conductos radiculares, a diferencia de los sistemas ultrasónicos tradicionales, el *SurfyOne* utiliza energía sónica para generar un movimiento vibratorio que optimiza la limpieza y la distribución de los materiales de obturación como el Dia-Root BioSealer (19).

El diseño del *SurfyOne* integra varias especificaciones críticas para la estandarización de procedimientos clínicos y experimentales:

- Frecuencia Sónica: Opera en un rango de alta frecuencia (aproximadamente 40 - 400 Hz). Esta frecuencia genera una amplitud de oscilación mayor que los dispositivos ultrasónicos, lo que permite un movimiento vigoroso de la punta sin el riesgo de cortar o desgastar la dentina radicular de forma accidental.



- Puntas de Polímero Flexibles (Figura 7) (19): Utiliza puntas fabricadas en polímeros de grado médico, las cuales son suaves, flexibles y no cortantes. Estas puntas están disponibles en diversos calibres (pequeño, mediano y grande) para adaptarse al diámetro de la preparación del conducto. Su flexibilidad permite que la energía se transmita de manera uniforme incluso en conductos con curvaturas pronunciadas (19).
- Ergonomía Inalámbrica: Al ser un dispositivo recargable y sin necesidad de cables, permite una libertad de movimiento total, facilitando la angulación necesaria para alcanzar el tercio apical sin interferencias mecánicas (19).



Mecanismo de acción: corrientes acústicas

El funcionamiento del SurfyOne en la fase de obturación se basa en:

1. Corrientes Acústicas: El movimiento oscilatorio de la punta de polímero genera un flujo de fluido circular y turbulento alrededor de su eje. En la obturación asistida, este fenómeno "empuja" el sellador biocerámico hacia las irregularidades anatómicas (ístmos, deltas y túbulos dentinarios) que la inyección pasiva no logra alcanzar. La vibración mecánica del SurfyOne rompe temporalmente la estructura interna del sellador, aumentando su fluidez para lograr un sellado tridimensional superior (1).

Indicaciones y aplicaciones clínicas

El uso del SurfyOne está indicado en diversas fases del tratamiento endodóntico, siendo las más relevantes para esta investigación:

- Activación del Sellador Biocerámico: Para asegurar que el material de obturación recubra uniformemente todas las paredes del conducto, logrando adaptarse al tercio apical sin sobrepasar la constricción apical (20).
- Eliminación de Burbujas de Aire (*Voids*): La vibración sónica facilita el escape de burbujas de aire atrapadas durante la inyección, resultando en una obturación más densa y homogénea (20).
- Potenciación de Irrigantes: Se utiliza previamente a la obturación para activar el EDTA o NaOCl, asegurando que la superficie dentinaria esté libre de *smear layer* y lista para la adhesión química del biocerámico (21).

Protocolo de seguridad y límite apical

Una indicación fundamental del SurfyOne, que impacta directamente en el estudio de la extrusión apical, es el posicionamiento de la punta. La literatura técnica recomienda:

- Mantener la punta activada a 2 mm de la longitud de trabajo (1).
- Evitar el contacto forzado de la punta con las paredes apicales para prevenir que el dispositivo actúe como un propulsor mecánico que venza la resistencia del foramen (18).

La literatura científica reciente ha mostrado un interés creciente en la optimización de la obturación con biocerámicos. A continuación, se presentan estudios clave que fundamentan la presente investigación:

Antecedentes internacionales

Yanpiset et al. (2018): Realizaron un estudio comparativo utilizando micro-tomografía computarizada (micro-CT) para evaluar la filtración bacteriana en conductos redondos obturados con técnica de cono único y cemento biocerámico vs cemento a base de resina epóxica; concluyen que a pesar de las ventajas del cemento biocerámico, se siguen encontrando espacios vacíos en la obturación al igual que en la obturación con cemento de resina epóxica. Este estudio justifica la necesidad de buscar métodos de activación para mejorar la densidad de la obturación (22).

Lopes et al. (2019) Evaluaron el efecto de la activación sónica y ultrasónica sobre las propiedades fisicoquímicas de los selladores de conductos radiculares; concluyeron que, aunque mejora el sellado del conducto radicular, especialmente en áreas de difícil acceso como los conductos laterales y accesorios, puede aumentar el riesgo de extrusión apical y, consecuentemente, de dolor postoperatorio (1).

Pauletto et al. (2024) Realizaron una revisión sobre el uso de activación sónica y ultrasónica del sellador endodóntico para mejorar la calidad del relleno del sellador en la endodoncia: una revisión de alcance, mencionan que la gran mayoría de los estudios indican que el uso de métodos sónicos y ultrasónicos para activar el sellador endodóntico es capaz de aumentar la penetración intratubular (23).

Yilmaz et al. (2024) Estudiaron la influencia de la activación sónica del sellador de resina epoxi y silicato de calcio en el dolor postoperatorio: un ensayo clínico aleatorizado, concluyeron que los selladores de conductos radiculares AH Plus y EndoSequence BC mostraron resultados similares en cuanto a la prevalencia e intensidad del dolor postoperatorio; y la activación sónica de los selladores no influye en el dolor postoperatorio; si bien la activación sónica de los selladores de conductos radiculares pareció aumentar la extrusión apical, no se encontró una asociación significativa entre la extrusión apical y el dolor postoperatorio (24).

Iqbal et al. (2026) Evaluaron los diversos factores que influyen en la extrusión apical de dos tipos de selladores endodónticos con diferentes sistemas de administración, concluyendo que la extrusión del sellador es un fenómeno multifactorial que se ve significativamente afectado

tanto por las propiedades del material como por las variables analizadas (técnicas de obturación)
(25).

3. Planteamiento del Problema

3.1 Descripción del problema

El éxito del tratamiento de conductos depende, en gran manera, del sellado hermético del sistema conductos radiculares. Cabe mencionar que, en los últimos años ha tomado relevancia clínica, los selladores biocerámicos (cómo Dia Root- BioSealer), su popularidad ha ido en aumento, debido a su biocompatibilidad, capacidad de formación de hidroxiapatita y a su excelente sellado marginal. Sin embargo, presenta un desafío clínico crítico: La extrusión apical, esto debido a su naturaleza premezclada y su baja viscosidad inicial.

La extrusión del material de obturación hacia los tejidos periapicales podría provocar una respuesta inflamatoria de los mismos, un retraso en la cicatrización o aún una irritación mecánica y química de los tejidos adyacentes. Esta situación está particularmente incluida en protocolos dónde hacemos uso de una técnica de inyección, debido a la presión hidráulica que podría ejercer un desplazo del sellador más allá del límite cemento-dentina-conducto (CDC) (10).

Aunque el uso de la activación sónica es un método usado de hace muchos años, recientemente, se ha propuesto su uso cómo un método para mejorar la distribución del sellador y su adaptación a las irregularidades anatómicas. No obstante, existe un gran dilema clínico sobre si esta energía cinética adicional favorece un mejor control del material o si, por el contrario, podría incrementar el riesgo de extrusión accidental o no deseada en comparación con la técnica de inyección convencional. La falta de una evidencia comparativa específica sobre el Dia-Root BioSealer en conceptualización de estos dos métodos de aplicación genera una laguna de información en el protocolo clínico de seguridad; sumado a ello, haciendo uso de un equipo específicamente diseñado con un protocolo especial para la asistencia de activación sónica en cementos biocerámicos que es SurfyOne: activador sónico.

Para orientar mejor este estudio comparativo, se hace la propuesta de las siguientes interrogantes:

Cuantificación: ¿Cuál es la masa promedio de sellador extruido en el grupo de obturación convencional y en el grupo asistido con activación sónica?

- Eficacia de la Técnica: ¿Influye la activación sónica con el uso de SurfyOne en la frecuencia (presencia/ausencia) de los incidentes de extrusión apical en conductos con anatomía unirradicular?

- Seguridad Clínica: ¿Es la técnica de inyección convencional más predecible que la asistida por activación sónica en términos de control del límite apical del sellador?

3.2 Pregunta de investigación:

¿Existe una diferencia significativa en la cantidad de masa de la extrusión apical del sellador biocerámico Dia-Root BioSealer al comparar la técnica de inyección con punta convencional frente a la técnica de inyección asistida con activación sónica?

4. Justificación

La literatura refiere que existe una relevancia clínica en el uso de selladores de silicato de calcio, como el Dia-Root BioSealer, ha transformado la obturación endodóntica gracias a su hidrofilicidad, biocompatibilidad y capacidad de fraguado en presencia de humedad. No obstante, su excelente fluidez, es una ventaja que sobresale para sellar conductos accesorios, pero también puede incrementar el riesgo de extrusión apical. Dado que la extrusión de cualquier material extraño puede generar una respuesta inflamatoria periapical o retrasar la reparación ósea, es imperativo establecer protocolos que maximicen sus beneficios minimizando este riesgo técnico o de desarrollo clínico (26).

Por consiguiente, en el contexto de esta investigación, haciendo uso de la innovación tecnológica en la dinámica de su aplicación, la introducción de dispositivos de activación sónica, específicamente el **SurfyOne**, representa un avance en la distribución del sellador. La hipótesis clínica sugiere que la energía sónica mejora la adaptación del biocerámico a las irregularidades del sistema de conductos radiculares, eliminando vacíos “voids” y mejorando la interfaz dentina-sellador. Sin embargo, la aplicación de energía cinética al Dia-Root BioSealer plantea una interrogante crítica: ¿La activación sónica facilita un sellado más profundo o actúa como un propulsor que favorece el sobrepaso del material hacia el tejido periapical?

Debido a esto surge la necesidad de una evidencia comparativa, a pesar de las ventajas teóricas de la activación sónica, la literatura científica aún es limitada en cuanto a la comparación directa entre la inyección convencional (pasiva) y la asistida con SurfyOne utilizando este sellador específico. Existe una necesidad latente de determinar si el beneficio de una mejor adaptación física del sellador justifica el posible incremento en la extrusión apical.

Sin duda esta investigación resultará en un aporte a la práctica clínica, que proporcionará datos objetivos sobre la seguridad de los protocolos de activación sónica. Los resultados permitirán al clínico tomar decisiones basadas en evidencia al elegir entre una técnica de inyección tradicional o una asistida por activación sónica, optimizando la precisión del tratamiento y reduciendo las complicaciones postoperatorias asociadas a la extrusión de materiales biocerámicos.

En resumen, podemos mencionar puntos clave que justifican nuestra investigación, (Tabla 1).

Tabla 1 Descripción de los factores claves de la investigación

Factor	Importancia
Material (Dia-Root – BioSealer)	Alta fluidez, Bioactividad que requieren control apical estricto.
Tecnológico (SurfyOne)	Promete mejor adaptación, pero su efecto en la extrusión es incierto
Seguridad	Evaluar si la energía sónica compromete el límite de la obturación
Práctica	Estandarizar un protocolo de uso seguro para el sistema biocerámico- sónico.

5. Situación actual

En un contexto internacional, podemos hablar de la revolución del biocerámico y el riesgo apical, la endodoncia ha migrado de los selladores de resina epóxica considerados el "Gold standard" hacia los selladores basados en silicato de calcio o biocerámicos.

Estudios internacionales, confirman que materiales como el Dia-Root BioSealer ofrecen una bioactividad superior, induciendo la formación de hidroxiapatita (27). Sin embargo, su alta fluidez y naturaleza premezclada han encendido las alarmas sobre extrusión apical. Pero en estudios recientes podemos comprobar también que la activación sónica mejora significativamente la penetración del sellador en los túbulos dentinarios, especialmente en los tercios coronal y medio. Pero hay un debate internacional (cómo los reportados en artículos científicos) (9), que se centra en si esta energía cinética en el tercio apical empuja el material más allá de la constricción apical, en lo que podríamos decir que convierte una ventaja técnica en un posible riesgo clínico.

También debemos señalar en un contexto nacional, la consideración de la adquisición de nuevas tecnologías como el dispositivo SurfyOne para democratizar el uso de la activación sónica, y con esto poder lograr una tendencia en las facultades de odontología y centros de postgrados implementando la técnica de obturación de cono único asistida por activación. No obstante, cabe señalar que la mayoría de los antecedentes se basan en "Limpieza del conducto" (irrigación) y no en la "Seguridad de la obturación" (extrusión del sellador). También existe una limitada base de estudios que evalúen el comportamiento de los biocerámicos bajo una influencia de puntas sónicas de última generación, en su mayoría encontramos estudios sobre selladores de primera generación o sistemas de activación ultrasónica, que sabemos que esta cuenta con una dinámica de fluidos distinta a la activación sónica en este caso específicamente del SurfyOne.

En síntesis, las preguntas de investigación surgen de la convergencia de tres factores críticos detectados en la revisión actual, podríamos decir que es la diferencia en los datos en las diferentes revisiones, donde autores sugieren que la activación sónica es segura por su baja frecuencia (40- 60 kHz), pero también surge la interrogante si la amplitud de oscilación de las puntas plásticas podría causar un desplazamiento en este caso de los selladores biocerámicos por su baja viscosidad. Esto conlleva a el debate sobre la extrusión de biocerámicos o el conocido "Puff" apical, si es biológicamente inofensivo o un error técnico evitable. También el

hecho de que no tenemos una estandarización del protocolo de uso del SurfyOne y así logremos evitar accidentes, con el Dia-Root BioSealer.

6. Objetivos

6.1. Objetivo general

Evaluar y comparar la cantidad de extrusión masa apical in vitro del sellador biocerámico Dia Root- BioSealer utilizando dos protocolos de obturación: Técnica de inyección convencional vs técnica de inyección asistida con activación sónica (**SurfyOne**) en conductos radiculares de dientes humanos.

6.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante el método de pesajes de alta precisión, la cantidad de extrusión de masa del sellador biocerámico Dia root-BioSealer en las dos variables de estudio.
- Comparar si existe una diferencia estadísticamente significativa en la incidencia, presencia o ausencia de la extrusión apical entre la técnica de inyección convencional versus la técnica activada sónicamente con el dispositivo SurfyOne.
- Evaluar si la activación sónica del SurfyOne en la obturación aumenta el riesgo de la extrusión apical del sellador biocerámico Dia root-BioSealer en comparación con la técnica de inyección convencional.
- Identificar cuál de las técnicas evaluadas en el estudio brindan un mejor control del límite apical en el proceso de obturación.

7. Metodología de Investigación

La evaluación de la extrusión apical comparando dos técnicas de obturación una de manera inyección convencional versus la asistida con activación sónica en este estudio in vitro se medirá a través de un pesaje analítico en una balanza digital, en la facultad de Ciencias químicas y farmacia, Universidad Autónoma de Honduras y se realizará también una descripción y evaluación de cada técnica que se llevará a cabo en el Hospital Odontológico Monseñor Agustín Hombach.

7.1 Tipo de estudio

Esta investigación tiene un enfoque de diseño cuantitativo, basándose en la medición numérica de la masa extruida, es un estudio experimental, debido a que las variables de estudio se van a manipular y se evaluarán ausencia o presencia de extrusión en cada técnica. Prospectivo, porque la recolección de datos inicia con el diseño del protocolo y la preparación de las muestras; la información la obtendremos en el desarrollo de ambos protocolos de investigación, en el que tenemos un control de las variables que intervienen, antes que obtengamos el resultado.

Es transversal porque la recolección de datos y la medición de la variable dependiente, en este caso extrusión apical, se realizan en un solo momento, inmediatamente después del proceso de obturación de los conductos radiculares, sin dar un seguimiento posterior de las muestras y comparativo porque el objetivo de nuestra investigación es contrastar el efecto de dos protocolos de obturación, se busca determinar si la técnica de inyección convencional asistida con activación sónica es la causa en el incremento o en el control de la extrusión. Bajo un diseño in vitro, que se realiza en un ambiente controlado de laboratorio sobre órganos dentarios humanos extraídos.

7.2 Población y muestra

La población de este estudio está compuesta por órganos dentarios humanos unirradiculares, que fueron extraídos por razones terapéuticas (ortodóncicas o periodontales) de pacientes adultos, que han sido recolectados y almacenados siguiendo protocolos bioéticos de investigación odontológica.

Criterios de selección:

- ✓ Dientes humanos unirradiculares
- ✓ Presencia de un solo conducto radicular

- ✓ Ápices radiculares completamente desarrollados
- ✓ Curvatura del conducto radicular menor a 10°
- ✓ Estructura radicular externa intacta sin signos de reabsorción
- ✓ Longitud radicular mayor a 10 mm
- ✓ Sin antecedentes de tratamiento endodóntico

Criterios de exclusión:

- ✓ Conductos calcificados u obstruidos que comprometen la permeabilidad
- ✓ Presencia de obturación previa del conducto radicular
- ✓ Lesiones cariosas, defectos de reabsorción o fracturas radiculares significativas
- ✓ Morfologías del conducto radicular en forma de C u otras morfologías aberrantes.

7.3 Materiales y métodos

El presente inciso detalla el protocolo experimental diseñado para evaluar de manera comparativa la extrusión apical del sellador biocerámico Dia-Root BioSealer. Para garantizar la validez científica y la reproducibilidad de los resultados, la investigación se fundamenta en un enfoque cuantitativo de naturaleza experimental in vitro.

La metodología se centra en la aplicación de dos técnicas de obturación: la inyección convencional y la activación sónica asistida por el dispositivo SurfyOne. El núcleo técnico de este estudio radica en el uso de un modelo gravimétrico estandarizado, basado en el método de Myers y Montgomery, el cual permite la cuantificación objetiva de la masa extruida mediante pesaje de alta precisión.

Para minimizar el sesgo derivado de la anatomía dental, se implementó un riguroso proceso de estandarización de las unidades de análisis, controlando variables críticas como la longitud radicular, el calibre de la instrumentación biomecánica y el diámetro del foramen apical. Todos los procedimientos fueron realizados bajo condiciones de laboratorio controladas, asegurando un entorno libre de factores externos que pudieran alterar la precisión de las mediciones analíticas.

7.3.1. Universo de estudio (muestra)

- 60 dientes humanos unirradiculares extraídos (previamente seleccionados y estandarizados).

- Solución de agua destilada o suero fisiológico para el almacenamiento y desinfección de las muestras.

7.3.2. Equipamiento tecnológico e instrumental

- Dispositivo de alta velocidad:
- Dispositivo de activación ultrasónica: DTE Endo 3 con punta de activación ED98
- Dispositivo de activación sónica: Sistema SurfyOne con sus respectivas puntas de polímero.
- Material de obturación: Sellador biocerámico premezclado Dia-Root BioSealer, Conos de Gutapercha Taper.04, puntas de papel Taper.04
- Instrumentación: Sistema rotatorio (RCS Raimbow One – Ramo Medical) y motor de endodoncia Dentsply Smart Plus
- Medición: Balanza analítica de alta precisión (GHAUS- sensibilidad de 0.0001 g).
- Calibración: Regla milimétrica endodóntica y limas K preserie y de primera serie (#10 #15 a #35).

7.3.3. Insumos de Laboratorio

- Viales de vidrio (tipo Eppendorf) con tapones de goma.
- Papel de aluminio
- Rotuladores
- Irrigantes: Hipoclorito de Sodio (NaOCl) al 2.5% y EDTA al 17%.
- Jeringas de 5 ml y puntas de papel absorbente.

Métodos (Procedimiento experimental)

Fase I: Estandarización de las raíces

1. Apertura y localización de conducto
2. Conductometría: Se determinará la Longitud de Trabajo (LT) introduciendo una lima K #10 hasta que sea visible en el foramen apical, restando 1 mm de esa medida.

3. Preparación biomecánica: Todos los conductos se instrumentarán hasta una lima maestra (#35.04). Se irrigará con 2 ml de NaOCl entre cada lima.
4. Calibración apical: Se instrumentará y confirmará con una lima K# 35 para lograr un solo calibre apical

Fase II: Montaje del Modelo Gravimétrico (Myers y Montgomery)

1. Pesaje Inicial (W1): Cada vial de vidrio (vacío, sin tapón) se pesará tres veces en la balanza analítica para obtener un promedio exacto. (Procedimiento se llevó a cabo en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia- UNAH) en un ambiente que cumple todos los protocolos establecidos.
2. Ensamble: Se cubrirá completamente el vial con papel de aluminio para realizar un procedimiento a ciegas y sin intervención intencional que afecte los resultados- se adaptará cada diente en el vial a manera que sólo sobresalga del mismo la corona radicular, estabilizando el diente teflón.
3. Cámara de vacío: El vial se colocará dentro de una caja de vidrio más grande para estabilizarlo y evitar corrientes de aire que afecten el pesaje.

Fase III: Ejecución de las técnicas de obturación

Las muestras se asignarán aleatoriamente (30 por grupo):

- Técnica de inyección convencional: Se insertará la punta del *Dia-Root BioSealer* a 4 mm de la LT. Se inyectará el material mientras se retira la punta, cantidad estandarizado en cada diente $\frac{1}{2}$ del contenido ya calibrado de la jeringa en cada diente. Se insertará un cono de gutapercha maestro.
- Técnica asistida con SurfyOne: Tras la inyección del sellador, se introducirá la punta del *SurfyOne* a 2 mm de la LT y se activará por 20 segundos. Posteriormente, se colocará el cono de gutapercha.

Fase IV: Recolección del dato final

1. Después de la obturación, se retirará el diente del vial con cuidado.
2. Pesaje final (W2): El vial con el material extruido se pesará nuevamente bajo las mismas condiciones.

3. Cálculo: La diferencia ($W_2 - W_1$) representará la masa de extrusión en gramos.

Técnicas de recolección de información

- Técnica: Observación experimental y medición gravimétrica.
- Instrumento: Ficha de recolección de datos (Matriz de tabulación) donde se registrarán los códigos de las muestras y los pesos obtenidos.

7.4 Hipótesis estadísticas

Hipótesis Nula ()

No existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad (masa) de extrusión apical del sellador biocerámico *Dia-Root BioSealer* al comparar la técnica de inyección con punta convencional frente a la técnica de inyección asistida con activación sónica (*SurfyOne*).

Hipótesis Alterna o de Trabajo ()

Existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de extrusión apical del sellador biocerámico *Dia-Root BioSealer*, siendo mayor en la técnica asistida con activación

Variable independiente: Técnica de obturación

Es la variable que nosotros manipulamos en este experimento, se define por la energía aplicada al sellador:

- Inyección convencional: en este caso esto es nuestro grupo control, el material fluye únicamente por la presión ejercida por el émbolo de la jeringa premezclada.
- Activación sónica (*SurfyOne*): Es nuestra variable experimental. Se introduce energía cinética (vibración sónica) para observar si esto desplaza el material fuera del ápice.

Variable dependiente: Extrusión apical

Este es el efecto que medimos, no lo medimos por "vista u observación", sino por peso gravitacional.

- Indicador: La diferencia de masa ($W_2 - W_1$).
- Instrumento: Balanza analítica de 0.0001 mg de precisión.

Variables de control (Intervinientes)

Es lo que mantenemos constantes para que los resultados sean válidos:

- Material: Únicamente se usará *Dia-Root BioSealer*.
- Operador: Una sola persona realizará todas las obturaciones para evitar variaciones en la fuerza de inyección.
- Tiempo: El tiempo de activación con el SurfyOne es idéntico en todas las muestras del grupo experimental (20 segundos)

7.5 Plan de tabulación y análisis de datos

Análisis de extrusión de sellador Dia Root- Bio Sealer entre dos tipos de técnicas de obturación

Se realizaron un total de 60 muestras (dientes humanos extraídos), utilizando dos tipos de técnicas de obturación, siendo el grupo control la "inyección convencional" y el grupo experimental la "asistida con activación sónica", para evaluar cual presenta mayor extrusión del sellador apical Dia root- Bio Sealer.

Para la técnica de inyección convencional, la extrusión media del sellador Dia root- Bio Sealer fue de 0,1061g siendo relativamente menor, en comparación con la técnica asistida con activación sónica que su media de extrusión fue 0,1097g, también se estableció el intervalo de confianza en ambas técnicas, siendo que la inyección convencional la probabilidad de que la media del peso extrusión de masa se encuentre entre el rango 0,0905-0.1218 y para la técnica asistida con activación sónica la probabilidad de que los valores reales de la media del peso de extrusión de masa se encuentren entre 0.0945- 0.1249. (Tabla 3)

Tabla 2. Estimaciones puntuales y de intervalo para las dos diferentes variables de estudio (inyección convencional y asistido con activación sónica)

Técnica	N	Media (g)	DE (g)	Mediana (g)	Mín-Máx (g)	IC95% media (g) *
Inyección convencional	30	0,1061	0,0418	0,1182	0.0005 - 0.1679	0.0905 - 0.1218
Asistido con activación sónica	30	0,1097	0,0407	0,1124	0.043 - 0.2024	0.0945 - 0.1249

n: tamaño de muestra. g: gramos. * Se establece el intervalo de confianza de la media de masa de extrusión en las dos diferentes técnicas de obturación, es decir que hay un 95% de probabilidad de que el peso de extrusión en las dos diferentes técnicas se encuentre en estos rangos.

Análisis de presencia o ausencia de extrusión en las dos diferentes técnicas de obturación.

Se establece una comparación entre las dos variables de estudio, en la incidencia de la presencia/ausencia de extrusión apical, resultando que todas las muestras presentaron extrusión positiva por lo que no hay evidencia discriminativa entre técnicas. (Tabla 4)

Tabla 4. Comparación en la incidencia de la presencia y ausencia de la extrusión apical de las dos diferentes técnicas de obturación (Inyección convencional y asistida con activación sónica)

Técnica	Con extrusión	Sin extrusión	% con extrusión
Inyección convencional	30	0	100%
Asistido con activación sónica	30	0	100%

También se establece una comparación de la media de extrusión (mg) entre ambas técnicas, resultando para la técnica convencional una media de extrusión de masa de 106,13 mg en este caso relativamente menor que la media de extrusión para técnica asistida con activación sónica que fue de 109,72, pero resultando en una diferencia estadísticamente no significativa. (Tabla 5) (Figura 8).

Tabla 5. Comparación de la media de extrusión (mg) entre las dos técnicas de obturación

Técnica	*Media extrusión (mg)
Convencional	106,13
Sónica	109,72

mg: miligramos.

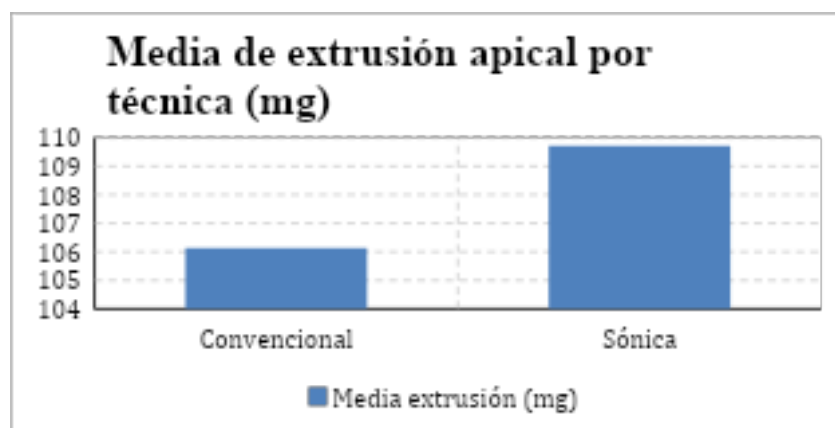


Figura 9. Comparación de la media extrusión entre ambas técnicas de obturación

Estadística inferencial y decisión de hipótesis

Según el análisis de normalidad Shapiro-Wilk entre las dos variables inyección convencional y activación sónica, no se rechaza la hipótesis nula. Hay homogeneidad de varianzas entre las dos técnicas de obturación, por lo que la prueba T de Student no presenta diferencias estadísticamente significativas entre ambas variables

Tabla 6. Análisis sobre la estadística inferencial y decisión de hipótesis para la masa de extrusión del cemento sellador Biocerámico Dia root- Bio Sealer en las dos diferentes técnicas de obturación

Análisis	Estadístico	gl / U	p
Normalidad Shapiro-Wilk: inyección convencional	0,926		0,039
Normalidad Shapiro-Wilk: activación sónica	0,948		0,147
Homogeneidad de varianzas: Levene	0,126		0,724
t de Student muestras independientes	-0,337	58	0,737
Mann-Whitney U	470 U		0,773
Tamaño del efecto: Hedges g	0,086		
Fisher exacto para presencia/ausencia	OR no estimable		1

9. Discusión

La presente investigación se diseñó con el propósito de evaluar comparativamente la masa de extrusión apical del sellador biocerámico premezclado **Dia-Root BioSealer** utilizando dos protocolos de obturación: la técnica de inyección convencional vs la técnica de inyección asistida mediante el dispositivo de activación sónica de baja frecuencia **SurfyOne**. A través de una metodología in vitro estandarizada y un análisis gravimétrico de alta precisión, los datos obtenidos aportan elementos de discusión críticos sobre la interacción entre la ciencia de materiales de última generación y la hidrodinámica aplicada a la endodoncia.

Cabe mencionar que previo a la estandarización y montaje de la muestra paso cierto tiempo e ideas hasta lograr consolidar la metodología. Debido a nuestra experiencia el método de pesaje en balanza analítica debe ser estrictamente con una sensibilidad 0.0001g cómo también lo menciona la metodología de trabajo de nuestra guía de metodología científica, Iqbal et al (2026) en su estudio Factores que influyen en la extrusión apical de dos tipos de selladores endodónticos con diferentes sistemas de administración (25). Realizamos una prueba piloto con una balanza analítica de sensibilidad 0.01g, no lográbamos los objetivos deseados, pues la sensibilidad no era suficiente para evidenciar las diferencias de peso en la extrusión de masa del sellador, una vez atendido a esa dificultad, encontramos también el difícil acceso a la replicación de bloques de acrílico, por lo que se realizó un montaje en viales de vidrio (figura 9)



figura 10. Montaje de muestras experimentales

Una vez realizados los montajes, identificamos una deficiencia en el mismo, si tenemos visión completa de la raíz o ápice radicular de nuestras muestras, se podría decir que, al momento de la fase de obturación, sería un factor que podría influir en la presión realizado al momento de la inyección del biocerámico, de la colocación de la punta del Surfy-One y por ende influir en nuestros resultados. Nuestro montaje definitivo (Figura 10) el vial de vidrio se cubre externamente con papel de aluminio, material que no aumenta el peso del vial, pues solamente se coloca durante la fase de obturación y se retira durante el proceso de pesaje de los viales y tampoco deja residuos que pudiesen influir en el peso.



También comparando las diversas variables de estudio de la extrusión apical de los cementos biocerámicos, de nuestra base científica guía, se decidió estudiar el Dia Root- BioSealer, del cual encontramos un vacío de evidencias previas de estudio en la literatura y que por su fórmula biocerámico premezclado, su uso es muy consolidado entre los profesionales de la endodoncia y para hacer consonancia con la actualización y uso de nuevas tecnologías, se incluyó el uso de la obturación asistida con activación sónica, que también se encuentran vacíos de evidencia de estudios previos, específicamente haciendo uso del dispositivo de activación sónica, Surfy One.

El impacto de la activación sónica en la extrusión apical: análisis hidrodinámico

Al contrastar los dos grupos experimentales, el análisis de los datos revela que ambas técnicas generan masa de extrusión apical. Este fenómeno encuentra su explicación científica en los principios de la dinámica de fluidos y la transferencia de energía cinética. Durante la activación pasiva del irrigante, el objetivo es generar turbulencia; sin embargo, al aplicar esta misma energía sobre una masa confinada de sellador dentro del conducto radicular, el dispositivo introduce ondas de presión axial y transversal.

La evidencia en el desplazamiento o extrusión del cemento biocerámico Dia root Bio Sealer determina que cualquier método de agitación mecánica podría incrementar el riesgo de proyección de selladores de silicato de calcio más allá del foramen apical en comparación con la colocación pasiva, tal cual lo indica el estudio de Yilmaz et al (2024) donde mencionan, la activación sónica de los selladores de conductos radiculares parecía aumentar la extrusión apical. El movimiento oscilatorio de la punta de polímero del SurfyOne, que opera en un rango sónico, genera fenómenos de corrientes acústicas (*acoustic streaming*), estas corrientes son altamente deseables para desplazar el sellador lateralmente hacia los istmos y túbulos dentinarios, también actúan como una fuerza propulsora en sentido apical si el material encuentra una vía de escape. (24)

No obstante, al comparar estos resultados con la literatura referente a otros métodos de activación, es imperativo destacar las ventajas de seguridad del sistema sónico, En las que se demuestra que la agitación ultrasónica pasiva (PUI), debido a su alta frecuencia, produce fenómenos de cavitación que elevan drásticamente la presión hidrostática interna, pudiendo decir que existe un mayor riesgo de extrusión de masa en comparación con los sistemas sónicos (26). Por lo tanto, los datos de esta tesis sugieren que el SurfyOne representa un punto de equilibrio tecnológico: introduce la energía necesaria para dinamizar el sellador sin alcanzar las presiones críticas e incontrolables asociadas a las puntas ultrasónicas metálicas.

Sinergia reológica y el comportamiento tixotrópico del Dia-Root BioSealer

El núcleo del problema de investigación radica en la naturaleza físico-química del **Dia-Root BioSealer**. Al ser un cemento biocerámico premezclado a base de silicato de calcio, su comportamiento reológico está clasificado como un fluido de carácter tixotrópico. Estos materiales poseen una alta viscosidad y resistencia al flujo en condiciones de reposo o baja tensión. Sin embargo, al ser sometidos a una fuerza mecánica continua como el provocado por

la vibración de la punta del SurfyOne su estructura interna se rompe temporalmente, disminuyendo su viscosidad aparente y transformándolo en una pasta altamente fluida (25)

Al disminuir la resistencia friccional contra las paredes de dentina, el Dia-Root BioSealer adquiere una capacidad de extrusión. En términos microscópicos, esto representa un beneficio clínico indiscutible, respaldado por los hallazgos que demostraron que la activación sónica duplica la profundidad de penetración intratubular de los biocerámicos, que optimiza el sellado marginal y la resistencia a la microfiltración bacteriana. (1)

Sin embargo, la contraparte de esta alta fluidez inducida es la pérdida del control de masa en el límite apical. En la técnica de inyección convencional (Grupo Control), la viscosidad intrínseca del Dia-Root actúa como un "freno automático" al interactuar con el cono maestro de gutapercha, limitando el desplazamiento del material a la constricción en términos o medidas de control en la presión de inyección, al activar el SurfyOne, se anula este freno natural. El material, en su estado transitorio de máxima fluidez, responde de manera lineal a la Ley de Poiseuille: cualquier gradiente de presión lo forzará a fluir a través del orificio de menor resistencia, que invariablemente es el foramen apical. Esto obliga a replantear los protocolos clínicos, sugiriendo que la cantidad de sellador inyectada inicialmente debe ser menor cuando se planifique una activación sónica adaptada.

La preservación del diámetro apical y la relevancia de la contrapresión tisular

Un factor determinante que distorsiona o calibra los resultados de extrusión es la integridad de la anatomía del tercio apical. En este estudio experimental, se estandarizó estrictamente la longitud de trabajo y el calibre de la preparación apical. La literatura es categórica al señalar que la violación de la constricción anatómica comúnmente denominada sobreinstrumentación o ausencia de esta por reabsorciones apicales o ápices inmaduros es el factor iatrogénico con mayor impacto en el fracaso del sellado (25).

Al analizar nuestros resultados bajo la óptica de los estudios se confirma que en conductos donde se mantiene un "stop" apical preciso, la extrusión provocada por el SurfyOne se mantiene en rangos microgramos. No obstante, si se exponen estos datos a escenarios clínicos donde el foramen ha sido destruido o ensanchado mecánicamente por encima de un calibre #35, el volumen de sellador proyectado hacia el periápice se incrementa exponencialmente. Esto se

debe a que la resistencia al flujo disminuye de forma inversamente proporcional al radio del orificio. (25)

Es fundamental discutir una limitación metodológica intrínseca de los modelos *in vitro* como el empleado en esta tesis. En un entorno de laboratorio, las raíces suelen suspenderse en medios artificiales o al aire, lo que elimina el factor de **contrapresión tisular**. En condiciones clínicas reales, el ligamento periodontal, el paquete vascular y el hueso alveolar compacto ofrecen una resistencia física e hidráulica natural que limita mecánicamente la salida del sellador. Como señalaron **Iqbal et al (2026)** la falta de una barrera periapical estandarizada en los modelos de investigación tiende a sobreestimar el volumen de extrusión real. Por lo tanto, aunque los datos de esta investigación no demuestran un aumento en la extrusión con el uso del SurfyOne, estos valores deben interpretarse como el "escenario de máximo riesgo hidrodinámico", sirviendo como una guía de precaución para el operador clínico más que como un reflejo exacto de la respuesta *in vivo* (25).

Repercusiones biológicas y consideraciones clínicas de SurfyOne / Dia-Root

Finalmente, la discusión debe abordar el impacto ético y biológico de los resultados. La justificación de evaluar la extrusión de un material catalogado como "altamente biocompatible" radica en que la bioactividad no exime al organismo de sufrir complicaciones por masa y espacio. El Dia-Root BioSealer, al entrar en contacto con los fluidos tisulares, inicia una reacción de hidratación que libera grandes cantidades de hidróxido de calcio, elevando el pH local por encima de 12. (6)

Si el uso del SurfyOne proyecta un volumen excesivo de este material fresco hacia el ligamento periodontal, se desencadena una agresión química inmediata. Autores como Dong X et al (2023) han advertido que el contacto directo de biocerámicos en estado no fraguado con las células madre del ligamento periodontal y los nociceptores locales induce una respuesta inflamatoria. Clínicamente, esto se manifiesta como un incremento en los índices de dolor postoperatorio (*flare-ups*) y sensibilidad persistente a la percusión durante las primeras 72 horas (24)

A largo plazo, si bien el material es osteoconductor y eventualmente será rodeado por una cápsula de tejido conectivo fibroso o integrado al proceso de reparación ósea, una extrusión masiva actúa como un cuerpo extraño que retrasa la cementogénesis y la reorganización del

ligamento (6). En consecuencia, la decisión clínica de implementar la activación sónica con el sistema SurfyOne debe basarse en un análisis de costo-beneficio perfectamente equilibrado: el operador debe dominar la técnica de colocación, asegurándose de mantener la punta del activador estrictamente a **2 mm de la longitud de trabajo** y limitando el tiempo de activación a ráfagas controladas (ej.10- 20 seg). Solo mediante este control estricto de las variables operacionales se podrán aprovechar los extraordinarios beneficios de adaptación microscópica y homogeneidad de la masa del Dia-Root BioSealer, anulando eficazmente el riesgo latente de injuria a los tejidos periapicales del paciente.

Recomendaciones

Con base en los hallazgos cuantitativos obtenidos, las limitaciones inherentes al modelo experimental y el análisis de la literatura científica realizado en esta investigación, se formulan las siguientes recomendaciones estructuradas en dos ámbitos de aplicación:

Para la práctica clínica odontológica

El propósito de estas directrices es permitir al cirujano dentista y al especialista en endodoncia maximizar las propiedades de adaptación tridimensional del binomio SurfyOne / Dia-Root BioSealer, minimizando el riesgo iatrogénico de injuria periapical:

- Implementar el protocolo de seguridad apical (Regla de 2 mm): Se recomienda que, al utilizar el activador sónico SurfyOne para la activación del sellador biocerámico, la punta de polímero se mantenga estrictamente a una distancia de 2.0 mm de la longitud de trabajo (LT); Evitar forzar o agitar la punta en la constricción apical, ya que la amplitud de oscilación sónica actúa como un propulsor hidrodinámico directo.
- Ajustar la masa inicial de inyección: Debido a que la activación sónica induce tixotropía, reduce la viscosidad aparente del Dia-Root BioSealer, el material se desplaza con mayor facilidad. Se sugiere inyectar de forma pasiva únicamente la cantidad necesaria para cubrir el espacio del sistema de conductos radiculares, permitiendo que la energía sónica cumpla su función dinámica de distribución, evitando así un exceso de masa que sea empujado hacia el periápice.
- Dosificar el tiempo de activación: Se recomienda estandarizar el tiempo de uso del SurfyOne a ráfagas de 15 - 20 segundos por conducto en el nivel de potencia intermedio. Tiempos de activación prolongados no incrementan de forma significativa la penetración intratubular, pero sí elevan el gradiente de presión axial, aumentando el riesgo de extrusión.
- Evaluar la integridad del foramen antes de activar: En casos clínicos donde haya evidencia o se sospeche de un foramen apical amplio, reabsorciones radiculares o una sobreinstrumentación accidental, se desaconseja el uso de la activación sónica para la obturación, dado que las condiciones de nula resistencia mecánica, el sellador debe colocarse mediante técnicas pasivas o de compactación controlada.

Para futuras investigaciones:

Con el objetivo de robustecer la evidencia científica en torno a la dinámica de fluidos de los materiales biocerámicos, se sugieren las siguientes modificaciones y expansiones metodológicas para próximas investigaciones:

- Incorporar modelos de simulación de contrapresión tisular: Dado que los modelos *in vitro* en entornos abiertos tienden a sobreestimar la masa de extrusión real debido a la ausencia de resistencia física, se recomienda que futuros estudios suspendan las raíces en medios que simulen el ligamento periodontal y el hueso periapical, para obtener datos gravimétricos más cercanos al escenario *in vivo*.
- Evaluar el calibre de la preparación apical como variable independiente: Se sugiere diseñar estudios comparativos donde se evalúe si el incremento del diámetro de la instrumentación final (ej. calibres #25, #35) modifica la masa de extrusión del Dia-Root BioSealer cuando es sometido a la energía sónica del SurfyOne.
- Correlacionar la extrusión con el nivel de vacíos (*Voids*): Es de alto valor científico realizar estudios complementarios utilizando micro-tomografía computarizada (Micro-CT). Esto permitiría evaluar si el grupo que generó mayor volumen de extrusión apical es también el que presenta un menor porcentaje de burbujas de aire, determinando matemáticamente si el "costo" biológico de la extrusión equivale a un beneficio real en la densidad de la obturación.
- Ampliar la muestra a conductos con anatomías complejas: Se recomienda replicar este diseño experimental exclusivamente en raíces con curvaturas o sistemas de conductos con ístmos pronunciados (molares inferiores), para valorar si la flexibilidad de las puntas de polímero del SurfyOne mantiene el mismo perfil de seguridad y distribución que en los conductos rectos estandarizados.

10. Conclusiones

- No existe una diferencia estadísticamente significativa en la extrusión apical de masa del sellador biocerámico Dia-Root BioSealer al comparar la técnica de inyección convencional frente a la técnica de inyección asistida con el dispositivo de activación sónica de baja frecuencia SurfyOne
- Según nuestro estudio el uso en la obturación del dispositivo sónico SurfyOne es un procedimiento biológicamente seguro, en términos de comparación de extrusión con obturación de inyección convencional, siempre que se estandarice el protocolo operatorio.
- Dado que la literatura científica actual demuestra que la activación sónica incrementa la penetración intratubular del cemento y tomando en cuenta las limitaciones de nuestra investigación se concluye que la combinación SurfyOne / Dia-Root BioSealer es aceptable, pero se recomienda seguir estudiando variables de los mismos.

Referencias

1. Lopes FC ZCMCJSSACBea. Effect of sonic and ultrasonic activation on physicochemical properties of root canal sealers. *J Appl Oral Sci.* 2019 Sep; 27(e20180556).
2. Camilleri J,AA,LX&MN. Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use.. *International Endodontic Journal.* 2022 Feb; 55(710–777).
3. Versiani M,MJaOZR. Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. *Aust Dent J.* 2023; 68(S5-S23).
4. Culha E TF. Assessment of extruded root canal filling materials in single-rooted teeth using cone beam computed tomography. *Eur J. Ther.* 2023 Mar; 29(518–525).
5. Prasad Kumara PAASCPRCPGMDGRJ. Bioceramics in endodontics: limitations and future innovations—a review. *Dent. J.* 2025 Apr; 13(157).
6. Dong X XX. Bioceramics in Endodontics: Updates and Future Perspectives. *Bioengineering (Basel).* 2023 Mar; 10(354).
7. Błaszczuk-Pośpiech A SNSMSPWWMWKDMWM. Endodontic Sealers and Innovations to Enhance Their Properties: A Current Review.. *Materials (Basel).* 2025 Sep; 18(4259).
8. J C. Classification of Hydraulic Cements Used in Dentistry. *Front. Dent. Med.* 2020;(1-9).
9. Zhang P YKJQZFHZ. Presence of voids after three obturation techniques in band-shaped isthmuses: a micro-computed tomography study. *BMC Oral Health.* 2021 May; 21(227).
10. Wolf TG, Basmaci S, Weiberlenn SM, Donnermeyer D, Waber AL. Morphology of the Physiological Foramen: A Systematic Review. *Dent. J.* 2025 Nov; 13(581).
11. Laslami K KSSADSBI. Apical Extrusion: Is It an Inherent Occurrence During Every Endodontic Treatment?. *Cureus.* 2023 Sep; 15(e45211.).
12. Kalantar M MZMG. Micro-CT Evaluation of four root canal obturation techniques. scanning,. 2021 Feb; 2021(7).
13. Mushtaq A,AS,EFea. Effect of root canal filling techniques and materials on endodontic treatment outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2026 Jan; 16(9552).
14. S/A AIDPO. Angelus. [Online].; 2025 [cited 13 May 2026. Available from: <https://angelus.ind.br/es/produto/bio-c-sealer/>.

15. CO.LTD. MB. Meta Biomed. [Online].; 2024 [cited 13 May 2026. Available from: <https://metabiomedamericas.com/es/ceraseal/>.
16. International DDG. Dia Dent. [Online].; 2026 [cited 2026 May 13. Available from: <https://diadent.com/collections/frontpage/products/dia-root-bio-sealer>.
17. Govindaraju L KRRMJAJeA. Does the use of a bioceramic sealer reduce postoperative pain compared with an epoxy resin-based sealer after primary root canal treatment and retreatment?—an umbrella review. *Int Endod J*. 2026 59; Sep(341-350.).
18. Li J CLZCLYGQJH. Clinical outcome of bioceramic sealer iRoot SP extrusion in root canal treatment: a retrospective analysis. *Head Face Med*. 2022 Aug; 18(1-10).
19. Eighteeth. Co, Changzhou Sifary Medical Technology Co.,Ltd.. [Online].; 2023 [cited 2026 May 12. Available from: <https://www.eighteeth.com/Sonic-Activator/295.html>.
20. Fonseca B CMBCFCMARD. Assessment of Extrusion and Postoperative Pain of a Bioceramic and Resin-Based Root Canal Sealer. *Eur J Dent*.. 2019 Jul; 13(343-348).
21. Ahmed H VMDGDP. A new system for classifying root and root canal morphology. *I.E.J*. 2017; 50(761–770).
22. Yanpiset K BDCKSR. Bacterial leakage and micro-computed tomography evaluation in round-shaped canals obturated with bioceramic cone and sealer using matched single cone technique. *Restor Dent Endod*. 2018 Jul; 43(e30).
23. Pauletto G PSdPYMRBC. Effect of different endodontic sealer activation methods on bond strength and sealer filling quality in the root canal. *Braz. J. Oral Sci*. 2026 Mar; 25(e266333).
24. Yilmaz K SM. Influence of sonic activation of epoxy-resin and calcium silicate sealer on postoperative pain: a patient-blinded, parallel group, randomized clinical trial. *BMC Oral Health*. 2024 Oct; 24(1268).
25. Iqbal S ANCIJea. Factors Influencing Apical Extrusion of 2 Types of Endodontic Sealers with Different Delivery Systems. *Journal of Endodontics*. 2026 Feb;(1-6).
26. Sfeir G BFKMKNSLCBZC. Evaluation of the Impact of Calcium Silicate-Based Sealer Insertion Technique on Root Canal Obturation Quality: A Micro-Computed Tomography Study. *Bioengineering (Basel)*. 2023 Nov; 10(11)(1331).
27. Azizi H HALDBIJKHCSM. Epoxy vs. calcium silicate-based root canal sealers for different clinical scenarios: a narrative review. *Dent. J*. 2024 Marc; 12(85).

28. Zamparini F LJDHSAGMPC. The efficacy of premixed bioceramic sealers versus standard sealers on root canal treatment outcome, extrusion rate and post-obturation pain: A systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*. 2024 Aug; 57(1021-1042).
29. Vivek K SSNSSVJJVAAP. Comparative Micro-CT Evaluation of Dentinal Tubule Penetration of BIO-C and AH Plus Jet Root Canal Sealer Using Three Intra-Canal Activation Techniques. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024 Dec; Suppl 5(S4568-S4571.).
30. Vivek K SSNSSVJJVAAP. Comparative Micro-CT Evaluation of Dentinal Tubule Penetration of BIO-C and AH Plus Jet Root Canal Sealer Using Three Intra-Canal Activation Techniques. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024 Dec; 17(S4568-S4571).
31. Versiani MA MJOZR. Anatomical complexities affecting root canal preparation: a narrative review. *Aust Dent J*. 2023 Jun; 68(S5-S23).
32. Tomson P,AN,KD. Non-surgical endodontics: contemporary biomechanical preparation of the root canal system. *Br Dent J*. 2025 Apr; 238(478–486).
33. Sokolonski AR ACASea. Comparative antimicrobial activity of four different endodontic sealers. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2023 May; 54(1717-1721).
34. Rawat A GCDSSP. Bioceramics in endodontics: a review. *IP Indian J Conserv Endod*. 2022 Apr; 7(163-171).
35. Mert BGN. Evaluation of the physical properties of different bioceramicbased root canal sealers. *Bezmialem Science*. 2024 Feb; 12(224-230).
36. Mancini M CLPPOGOMBCCCL. FESEM evaluation of smear layer removal from conservatively shaped canals: laser activated irrigation (PIPS and SWEEPS) compared to sonic and passive ultrasonic activation-an ex vivo study. *BMC Oral Health*. 2021 Feb; 21(1).
37. Gharechahi M HMMSMM. Evaluation of various obturation techniques with bioceramic sealers in 3D-printed C-shaped canals. *BMC Oral Health*. 2024 May; 12(24).
38. Eskandari F RAHRYKBS. An updated review on properties and indications of calcium silicate-based cements in endodontic therapy. *International Journal of Dentistry*. 2022 Oct; 6858088(19).
39. Dawood AE,PP,WRHK,RECaMDJ. Calcium silicate-based cements: composition, properties, and clinical applications. *J Invest Clin Dent*. 2017 Sep;(1-15).

40. al. PGe. Bioceramic Sealers in endodontics: a literature rewiev. Global Journal For Research Analysis. 2024 Sep; 13(9).
41. Al Omari T DAEFHARTAea. Influence of various irrigation protocols on the push-out bond strength of totalfill and ah plus bioceramic sealers to root dentin: a comparative In vitro study. Eur J Dent. 2026 Feb; 1(175-182).

Agradecimientos

Expreso mi gratitud a Dios y a mi familia, pilares fundamentales en mi vida, cuyo apoyo constante y motivación me permitieron alcanzar esta meta académica.

De manera especial, agradezco a mi asesor metodológico de tesis Dr. Elmer Méndez por su dirección metodológica y su rigurosidad, las cuales fueron clave para el éxito de esta investigación, a mi asesor técnico, por su guía experta y su apoyo incondicional en cada etapa del desarrollo experimental. Al catedrático, Dr Carlos Amaya por su apoyo y disposición para realizar el estricto pesaje de muestras en los laboratorios a su cargo, en la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Asimismo, dejo constancia de mi agradecimiento a la Universidad Católica de Honduras y a todo el personal docente de la Facultad de Odontología, por brindarme el entorno idóneo para mi desarrollo profesional y científico.

Anexos

1. Base de datos:

Id global	OD	Grupo código	Técnica obturación	Peso inicial g	Peso final g	Extrusión g	Extrusión mg	Extrusión presencia *
1	1	1	Inyección convencional	3,3650	3,4496	0,0846	84,6000	1
2	2	1	Inyección convencional	3,3650	3,5077	0,1427	142,7000	1
3	3	1	Inyección convencional	3,3650	3,4830	0,1180	118,0000	1
4	4	1	Inyección convencional	3,3650	3,4835	0,1185	118,5000	1
5	5	1	Inyección convencional	3,3650	3,4837	0,1187	118,7000	1
6	6	1	Inyección convencional	3,3650	3,5040	0,1390	139,0000	1
7	7	1	Inyección convencional	3,3650	3,5329	0,1679	167,9000	1
8	8	1	Inyección convencional	3,3650	3,3655	0,0005	0,5000	1
9	9	1	Inyección convencional	3,3650	3,4273	0,0623	62,3000	1
10	10	1	Inyección convencional	3,3650	3,5051	0,1401	140,1000	1
11	11	1	Inyección convencional	3,3650	3,3740	0,0090	9,0000	1
12	12	1	Inyección convencional	3,3650	3,5160	0,1510	151,0000	1

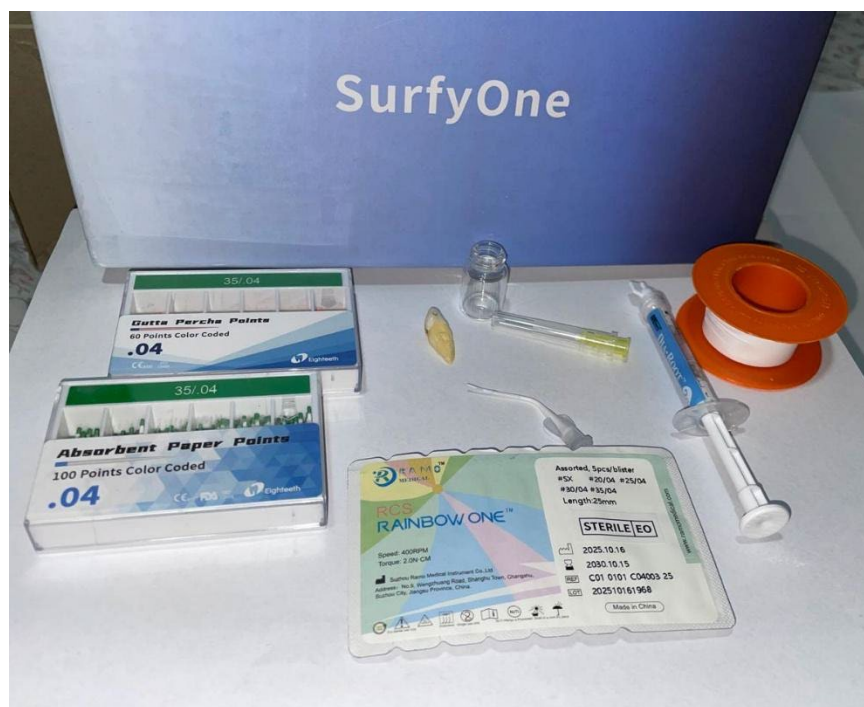
13	13	1	Inyección convencional	3,3650	3,4964	0,1314	131,4000	1
14	14	1	Inyección convencional	3,3650	3,4096	0,0446	44,6000	1
15	15	1	Inyección convencional	3,3650	3,4580	0,0930	93,0000	1
16	16	1	Inyección convencional	3,3650	3,4690	0,1040	104,0000	1
17	17	1	Inyección convencional	3,3650	3,5047	0,1397	139,7000	1
18	18	1	Inyección convencional	3,3650	3,4126	0,0476	47,6000	1
19	19	1	Inyección convencional	3,3650	3,4708	0,1058	105,8000	1
20	20	1	Inyección convencional	3,3650	3,4350	0,0700	70,0000	1
21	21	1	Inyección convencional	3,3650	3,4860	0,1210	121,0000	1
22	22	1	Inyección convencional	3,3650	3,4634	0,0984	98,4000	1
23	23	1	Inyección convencional	3,3650	3,5129	0,1479	147,9000	1
24	24	1	Inyección convencional	3,3650	3,4474	0,0824	82,4000	1
25	25	1	Inyección convencional	3,3650	3,4850	0,1200	120,0000	1
26	26	1	Inyección convencional	3,3650	3,4816	0,1166	116,6000	1
27	27	1	Inyección convencional	3,3650	3,4927	0,1277	127,7000	1

28	28	1	Inyección convencional	3,3650	3,5234	0,1584	158,4000	1
29	29	1	Inyección convencional	3,3650	3,4506	0,0856	85,6000	1
30	30	1	Inyección convencional	3,3650	3,5024	0,1374	137,4000	1
31	1	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4816	0,1166	116,6000	1
32	2	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4605	0,0955	95,5000	1
33	3	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4178	0,0528	52,8000	1
34	4	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4491	0,0841	84,1000	1
35	5	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4801	0,1151	115,1000	1
36	6	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5171	0,1521	152,1000	1
37	7	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4080	0,0430	43,0000	1
38	8	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4886	0,1236	123,6000	1
39	9	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4830	0,1180	118,0000	1

40	10	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4830	0,1180	118,0000	1
41	11	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4501	0,0851	85,1000	1
42	12	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4158	0,0508	50,8000	1
43	13	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4516	0,0866	86,6000	1
44	14	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4823	0,1173	117,3000	1
45	15	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4946	0,1296	129,6000	1
46	16	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4850	0,1200	120,0000	1
47	17	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5657	0,2007	200,7000	1
48	18	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5674	0,2024	202,4000	1
49	19	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4585	0,0935	93,5000	1
50	20	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4545	0,0895	89,5000	1

51	21	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4154	0,0504	50,4000	1
52	22	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4672	0,1022	102,2000	1
53	23	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5063	0,1413	141,3000	1
54	24	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5201	0,1551	155,1000	1
55	25	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4172	0,0522	52,2000	1
56	26	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4534	0,0884	88,4000	1
57	27	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4846	0,1196	119,6000	1
58	28	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,5378	0,1728	172,8000	1
59	29	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4706	0,1056	105,6000	1
60	30	2	Asistido con activación sónica	3,3650	3,4747	0,1097	109,7000	1

2. Materiales y preparación de muestras



3. Montaje y distribución aleatoria de muestras



4. Pesaje y recolección de datos

