

UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE DE MADRID
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA CONSERVADORA Y PRÓTESIS
MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS



TÍTULO:

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE LA OBTURACIÓN DE
RÉPLICAS DE MOLARES INFERIORES COMPARANDO DOS
SELLADORES HIDRÁULICOS Y UNO DE RESINA EPÓXICA

Estudiante: Marta Escribano Capdevila

Tutor: Cristina González Losada

Curso: 2023-2024



MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS

COMPROMISO DEONTOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN, REDACCIÓN Y POSIBLE PUBLICACIÓN DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER (TFM)

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

ESTUDIANTE: Marta Escribano Capdevila

TUTOR/TUTORA DEL TFM:
Cristina González Losada

TÍTULO DEL TFM:

ANÁLISIS VOLUMÉTRICO DE LA OBTURACIÓN DE RÉPLICAS DE MOLARES INFERIORES COMPARANDO DOS SELLADORES HIDRÁULICOS Y UNO DE RESINA EPÓXICA

FECHA DE PRIMERA MATRÍCULA:

FECHA DE SEGUNDA MATRÍCULA (en caso de producirse):

1. Objeto

El presente documento constituye un compromiso entre el estudiante matriculado en el Máster en Ciencias Odontológicas y su Tutor/tutora y en el que se fijan las funciones de supervisión del citado trabajo de fin de máster (TFM), los derechos y obligaciones del estudiante y de su/s profesor/es tutor/es del TFM y en donde se especifican el procedimiento de resolución de potenciales conflictos, así como los aspectos relativos a los derechos de propiedad intelectual o industrial que se puedan generar durante el desarrollo de su TFM.

2. Colaboración mutua

El/la tutor/a del TFM y el autor del mismo, en el ámbito de las funciones que a cada uno corresponden, se comprometen a establecer unas condiciones de colaboración que permitan la realización de este trabajo y, finalmente, su defensa de acuerdo con los procedimientos y los plazos que estén establecidos al respecto en la normativa vigente.

3. Normativa

Los firmantes del presente compromiso declaran conocer la normativa vigente reguladora para la realización y defensa de los TFM y aceptan las disposiciones contenidas en la misma.

4. Obligaciones del estudiante de Máster

- Elaborar, consensuado con el Tutor del TFM un cronograma detallado de trabajo que abarque el tiempo total de realización del mismo hasta su lectura.
- Informar regularmente al Tutor del TFM de la evolución de su trabajo, los problemas que se le planteen durante su desarrollo y los resultados obtenidos.
- Seguir las indicaciones que, sobre la realización y seguimiento de las actividades formativas y la labor de investigación, le hagan su tutor del TFM.
- Velar por el correcto uso de las instalaciones y materiales que se le faciliten por parte de la Universidad Complutense con el objeto de llevar a cabo su actividad de trabajo, estudio e investigación.

5. Obligaciones del tutor del TFM

- Supervisar las actividades formativas que desarrolle el estudiante; así como desempeñar todas las funciones que le sean propias, desde el momento de la aceptación de la tutorización hasta su defensa pública.
- Facilitar al estudiante la orientación y el asesoramiento que necesite.

6. Buenas prácticas

El estudiante y el tutor del TFM se comprometen a seguir, en todo momento, prácticas de trabajo seguras, conforme a la legislación actual, incluida la adopción de medidas necesarias en materia de salud, seguridad y prevención de riesgos laborales.

También se comprometen a evitar la copia total o parcial no autorizada de una obra ajena presentándola como propia tanto en el TFM como en las obras o los documentos literarios, científicos o artísticos que se generen como resultado del mismo. Para tal, el estudiante firmará la Declaración de No Plagio del ANEXO I, que será incluido como primera página de su TFM.

7. Procedimiento de resolución de conflictos académicos

En el caso de producirse algún conflicto derivado del incumplimiento de alguno de los extremos a los que se extiende el presente compromiso a lo largo del desarrollo de su TFM, incluyéndose la posibilidad de modificación del nombramiento de tutor, la coordinación del máster buscará una solución consensuada que pueda ser aceptada por las partes en conflicto. En ningún caso el estudiante podrá cambiar de Tutor directamente sin informar a su antiguo Tutor y sin solicitarlo oficialmente a la Coordinación del Máster.

En el caso de que el conflicto persista se gestionará según lo previsto en el SGIC de la memoria verificada.

8. Confidencialidad

El estudiante que desarrolla un TFM dentro de un Grupo de Investigación de la Universidad Complutense, o en una investigación propia del Tutor, que tenga ya una trayectoria demostrada, o utilizando datos de una empresa/organismo o entidad ajenos a la Universidad Complutense de Madrid, se compromete a mantener en secreto todos los datos e informaciones de carácter confidencial que el Tutor del TFM o de cualquier otro miembro del equipo investigador en que esté integrado le proporcionen así como a emplear la información obtenida, exclusivamente, en la realización de su TFM.

Asimismo, el estudiante no revelará ni transferirá a terceros, ni siquiera en los casos de cambio en la tutela del TFM, información del trabajo, ni materiales producto de la investigación, propia o del grupo, en que haya participado sin haber obtenido, de forma expresa y por escrito, la autorización correspondiente del anterior Tutor del TFM.

9. Propiedad intelectual e industrial

Cuando la aportación pueda ser considerada original o sustancial el estudiante que ha elaborado el TFM será reconocido como cotitular de los derechos de propiedad intelectual o industrial que le pudieran corresponder de acuerdo con la legislación vigente.

10. Periodo de Vigencia

Este compromiso entrará en vigor en el momento de su firma y finalizará por alguno de los siguientes supuestos:

- Cuando el estudiante haya defendido su TFM.
- Cuando el estudiante sea dado de baja en el Máster en el que fue admitido.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. HIPÓTESIS NULA (H0):.....	12
4. OBJETIVOS	12
4.1. OBJETIVO PRINCIPAL:.....	12
4.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS:	12
5. MATERIAL Y MÉTODOS:	13
5.1. DISEÑO DEL ESTUDIO:	13
5.2. SELECCIÓN DE LA POBLACIÓN DE ESTUDIO:	13
5.3. TAMAÑO MUESTRAL	13
5.4. SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS RÉPLICAS:.....	14
5.5. OBTURACIÓN DE LAS MUESTRAS:	15
5.6. EVALUACIÓN DEL VOLUMEN EN MM ³ DEL CONDUCTO OBTURADO:	16
5.7. VARIABLES DEL ESTUDIO:	17
5.7.1. <i>Variables independientes:</i>	17
5.7.2. <i>Variables dependientes:</i>	17
5.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	17
6. RESULTADOS:	18
7. DISCUSIÓN:.....	21
8. CONCLUSIONES:	25
9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS INVESTIGACIONES:	26
10. BIBLIOGRAFÍA:.....	26

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La obturación radicular es la última fase del tratamiento de conductos tras la conformación y la desinfección químico-mecánica de los conductos. Tiene como objetivos, rellenar y crear un sellado tridimensional hermético para impedir microfiltraciones bacterianas que existan en túbulos dentinarios o en la cavidad oral (1). Debe ser compatible biológicamente y generar un ambiente favorable para la curación de los tejidos periapicales. La anatomía compleja del sistema de conductos radiculares (istmos, conductos laterales, ramificaciones, deltas apicales, entre otras configuraciones anatómicas), supone un reto clínico para una obturación tridimensional óptima y efectiva.

Estudios anteriores han demostrado que la calidad de la obturación es un factor significativo en el pronóstico del éxito a largo plazo del tratamiento de conductos (2,3). La obturación puede realizarse con diferentes técnicas, utilizando gutapercha como componente principal y cantidades mínimas de sellador o técnicas basadas principalmente en el sellador (cono único) (4). La técnica *gold standard* hasta ahora es la técnica de condensación vertical (CV) e inyección posterior de gutapercha caliente, por su alta capacidad de relleno en irregularidades de los conductos radiculares (5). Sin embargo, esta técnica puede afectar a algunas propiedades fisicoquímicas de determinados selladores por el calor introducido (6,7). Es el caso, de los cementos hidráulicos ya que, requieren humedad para fraguar y se expanden con el tiempo (8).

En la actualidad, las técnicas que priorizan el sellador han ganado popularidad, por su sencillez y por ser menos sensible a la experiencia del operador. Además, existe una amplia gama de cementos en el mercado con diversas propiedades químicas, físicas y biológicas (9,10) estando recomendados para su uso con esta técnica. Sin embargo, algunos autores han publicado que puede generar más “huecos”, espacios vacíos de manera irregular, pudiendo influir negativamente en el pronóstico del tratamiento (11,12). Los gaps (espacios entre el material de obturación y la pared del conducto) y los voids (burbujas atrapadas dentro del propio material), deben considerarse como nichos potenciales para microorganismos residuales oportunistas, que pueden volver a proliferar con el tiempo y poner en peligro el éxito del tratamiento endodóntico (10).

Muchos materiales dentales deterioran sus propiedades en contacto con el agua, es por ello por lo que el cemento Portland, utilizado en la construcción, se implementó en odontología como sellador endodóntico en 1878 por Witte (13) gracias a sus propiedades hidráulicas. Pero no se adoptó en la práctica clínica hasta que, en 1993 Torabinejad lo patentó como “Agregado Trióxido Mineral” (MTA).

Darvell y Wu en 2011 introdujeron el concepto “cemento de silicato hidráulico” para describir el MTA dentro de este tipo de materiales. Sin embargo, estos cementos han ganado popularidad en los últimos años; desarrollándose numerosos selladores hidráulicos a base de silicato de calcio como selladores de conductos radiculares.

Es por eso por lo que Josette Camilleri propone 2 nuevas clasificaciones para la denominación de los mismos. Primeramente, según el contexto clínico: intracoronal, intraradicular y extraradicular. Y posteriormente según su composición química básica y su forma de presentación (polvo-líquido / suspendido en vehículo no acuoso suministrados en jeringas sin necesidad de que el clínico los mezcle) o la presencia o no de aditivos o modificadores (14). Los selladores de jeringa única o “premezclados” demostraron una ocupación mayor del conducto que los selladores polvo-liquido (15).

Los selladores a base de silicato de calcio (compuestos por disilicato y/o trisilicato de calcio) son un tipo de cementos hidráulicos que fraguan en presencia de humedad (agua o fluidos tisulares), provocando beneficios como la alta liberación de iones calcio permitiendo la mineralización de tejidos así como de iones hidroxilo capaces de inactivar las enzimas bacterianas a la exposición de pH altos con capacidad antibacteriana (16). Además, son materiales bioactivos y biológicamente compatibles (17) que pueden proporcionar curación y regeneración pulpar (18). Sin embargo, puede alterarse la química superficial, las propiedades y el fraguado de los mismos al estar en contacto con fluidos como la sangre, en contacto con dentina o interaccionando con soluciones irrigantes (14) (19–22).

Para mejorar la visibilidad de estos materiales en las radiografías postoperatorias y de control, se les agregan componentes que les aportan radiopacidad. La capacidad antibacteriana y la integridad estructural de los materiales de obturación son características más importantes que la radiopacidad (9).

El AH Plus (Dentsply Sirona, Alemania) AHP es un cemento de resina epóxica, estable y radioopaco (2). Su capacidad de adhesión le permite sellar la interfase entre el material y el diente (23). Tiene como desventaja que carece de componentes bioactivos para favorecer una mineralización del tejido (24) y presenta cierta toxicidad durante su reacción de fraguado por liberación de monómeros. Se utilizará como grupo control en este estudio.

En cuanto a los cementos hidráulicos utilizados en este serán de tipo 5 (premezclados) e intra-radicales.

- **NeoSealerFlo: Avalon** (Zar4endo, Gijón, Asturias, España) NSF, es un cemento hidráulico con presentación en jeringa única. Su composición se basa en: Silicato tricálcico (<25%), silicato dicálcico (<10%), aluminato de calcio (<25%), aluminato tricálcico (<1%) como radiopacificador óxido de tantalio (<50%) y aditivos: sulfato de calcio (<1%).
- **TotalFill HiFlow:** (FKG Dentaire, La Chaux-de-Fonds, Suiza) TFH, es un cemento hidráulico con presentación en jeringa única. Tiene un alto grado de hidratación y su composición es (17): Silicato tricálcico 20-35%, silicato dicálcico 7-15%, hidróxido de calcio 1-4% y como radiopacificador 35-45% óxido de zirconio.

Para ambos los fabricantes recomiendan el uso de calor. Además, en un estudio reciente concluyen que en los selladores AHP y TFH el empleo de calor en las técnicas de obturación es adecuado a altas temperaturas como indican en las especificaciones. Su aplicación provoca mínimos cambios en la composición química, el fraguado y en el tiempo de endurecimiento del mismo. Cabe destacar que mantienen una estabilidad adecuada con mínima pérdida de peso (25).

2. JUSTIFICACIÓN

Existen estudios limitados en la literatura que comparen el sellado tridimensional de la obturación del sistema de conductos radicular de los nuevos cementos selladores hidráulicos en comparación con cementos de resina epóxica. Se hace necesario evaluar la calidad de la obturación aplicando técnicas con uso de calor de 3 cementos diferentes en cuanto a volumen y generación de espacios de manera irregular.

3. HIPÓTESIS NULA (H0):

No existen diferencias significativas en la calidad de la obturación con la técnica de condensación vertical e inyección de gutapercha caliente entre los diferentes tipos de cementos indicados.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo principal:

Evaluar volumétricamente la calidad de la obturación del sistema de conductos radicular de 2 selladores hidráulicos diferentes (NSF y TFH), comparándolos con un cemento de resina epóxica (AHP) como grupo control y entre sí empleando la técnica de condensación vertical e inyección de gutapercha caliente.

4.2. Objetivos secundarios:

- 4.2.1. Cuantificar el tamaño y la magnitud de los gaps presentes en los conductos simulados para evaluar la integridad de la obturación.
- 4.2.2. Observar la presencia y magnitud de los voids presentes en los conductos obturados.
- 4.2.3. Estudiar el volumen total de relleno tanto en el istmo como en el tercio apical de los conductos simulados.

5. MATERIAL Y MÉTODOS:

5.1. Diseño del estudio:

Este estudio ha sido diseñado como un estudio de investigación analítico transversal experimental in vitro.

5.2. Selección de la población de estudio:

Para la elección de la anatomía más favorable, se evaluaron mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) con una resolución de 60 micras y 4 kV diferentes anatomías de las raíces mesiales de molares inferiores. Se seleccionaron como población de estudio réplicas 3D impresas en resina de raíces mesiales de molares inferiores Vertucci tipo VI con unión radicular por un istmo a nivel medio-apical y dos salidas apicales.



Fig. 1. Anatomía. A) Réplicas con diferentes anatomías de molares inferiores.
B) Réplica con la anatomía seleccionada para el estudio.

5.3. Tamaño muestral

Para el cálculo del tamaño muestral se utilizó el software G*Power 3.1 (Heinrich Heine Universität, Duesseldorf, Germany) con un error alpha de 0,05 un power (1-beta) de 0,95 y un tamaño del efecto de 0,72 calculado a partir de los resultados reportados por un estudio previo que evalúa mediante Micro-CT los gaps marginales y voids utilizando dos técnicas de obturación en caliente y diferentes cementos (26). El software indicó que eran necesarios 8 conductos

por grupo (réplicas/grupo n=4). Para compensar posibles pérdidas, errores de detección de espacios vacíos o complicaciones anatómicas en el sistema de radiología de haz cónico (CBCT) empleado o bien de procesamiento en los programas informáticos utilizados, se determinó un tamaño muestral de 16 conductos (8 réplicas) por grupo, imprimiendo un total de 24 réplicas de resina.

5.4. Selección y preparación de las réplicas:

Tras la evaluación, se imprimieron varias réplicas 3D en resina con idéntica anatomía y con la apertura cameral impresa de manera estandarizada, las réplicas fueron instrumentadas por un mismo operador experimentado.

Todo el proceso de la instrumentación se realizó bajo magnificación con microscopio Zeiss Opmi Pico (Carl Zeiss, Berlín, Alemania). En primer lugar, se permeabilizaron ambos conductos mesiales con limas K-file manuales de tamaño 10 (VDW ® Múnich, Alemania) y se estableció mediante inspección visual la longitud de trabajo (LT) a 0,5 mm del foramen apical.

La instrumentación rotatoria de las réplicas fue realizada por un único operador experimentado con el motor Z Evo (Zar4endo, Gijón, Asturias, España) utilizando el sistema TruNatomy® (Dentsply Sirona, Alemania) hasta la lima PRIME 26/04. La velocidad de 500 rpm y el torque de 1,5 N/cm se ajustaron a las recomendadas por el fabricante.



Fig. 2. *Secuencia de instrumentos del sistema TruNatomy.*

Durante la instrumentación, entre lima y lima se utilizaron 2 mL de NaOCl como irrigante para eliminar el gel de agar introducido en las réplicas simulando la pulpa dental, además de comprobar la permeabilidad apical a LT + 1 mm con

lima manual K10. No se utilizó EDTA al tratarse de conductos impresos y no existir túbulos dentinarios. El volumen total de NaOCl utilizado fue de 10 mL por cada conducto. Tras la conformación de los conductos mesiales, se realizó un nuevo CBCT de todas ellas. Los archivos DICOM generados fueron analizados visualmente y segmentados en el software 3D Slicer 5.0.3, desde donde se seleccionó el archivo mejor conformado y se creó un archivo STL que se insertó en el software AnyCubic PhotonWorkshop para determinar la posición adecuada para la posterior impresión en resina del número de réplicas idénticas necesario para la realización del estudio. Aquellas réplicas con anatomías desfavorables para la impresión en 3D, o donde la impresión presentaba algún tipo de artefacto, fueron excluidas.

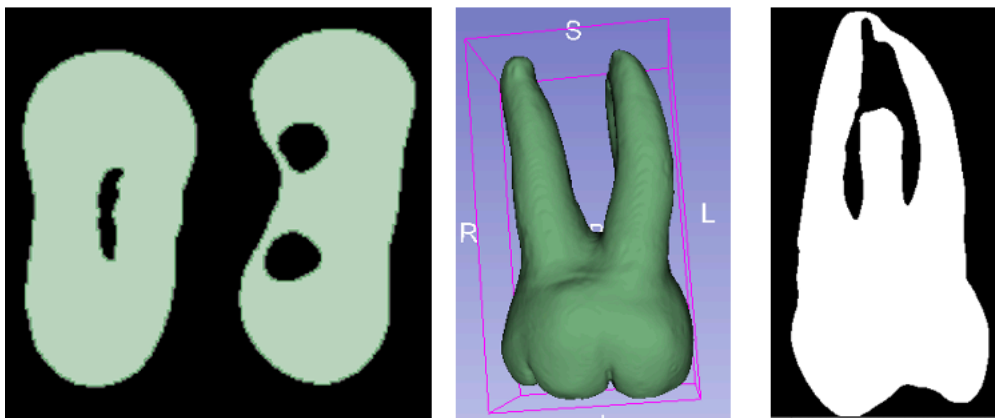


Fig 3. *Imágenes procesadas del CBCT de la réplica instrumentada. A) Corte axial B) Reconstrucción 3D C) Corte sagital*

5.5. Obturación de las muestras:

Previo a la obturación, se determinó el cono maestro para todas las réplicas con gutapercha Comfort Fit Prime Trunatomy (Dentsply Sirona, Alemania) con un correcto ajuste apical.

La obturación de todos los conductos radiculares fue realizada por el mismo operador bajo magnificación y empleando la técnica de condensación vertical con el sistema de obturación de última generación Z-Down y Z-Up (Zar4endo, Gijón, Asturias, España) ajustando la temperatura de ambos a 150°.

En el grupo de AH Plus se irrigaron las réplicas con NaOCl y se secaron con puntas de papel de 25 del sistema TruNatomy (Dentsply Sirona, Alemania). Posteriormente se mezclaron ambas pastas para preparar el cemento. Al cono maestro se le aplicó una cantidad mínima de sellador, se introdujo en el conducto hasta longitud de trabajo (LT) y se cortó con el Z-Down a cuatro milímetros de la LT. Este cono se condensó con fuerzas ligeras de forma vertical con atacadores manuales y posteriormente se inyectó la gutapercha caliente.

Para ambos cementos se irrigaron las réplicas con suero salino y se secaron con puntas de papel. Posteriormente las puntas dosificadoras se midieron con topes de goma y se introdujeron hasta la longitud media del conducto, introduciendo sellador hasta la parte cameral. Posteriormente se introdujo el cono maestro lentamente hasta LT y se cortó con Z-Down a cuatro milímetros de la LT. Se condensó con fuerzas ligeras de forma vertical con atacador manual y se realizó la inyección de gutapercha caliente.

Todas las muestras se almacenaron a temperatura ambiente y a las 48 horas se realizó un CBCT de control a todas las réplicas.

5.6. Evaluación del volumen en mm³ del conducto obturado:

A partir de los archivos DICOM obtenidos de las réplicas instrumentadas, se segmentaron los modelos, separando los conductos mesiales en el programa 3D Slicer 5.0.3 y se procesaron en el software ImageJ 1.54 (Instituto Nacional de la Salud, Bethesda) para medir el volumen total en mm³ de los conductos (VT), el volumen de los conductos mesiovestibular (CMV) y mesiolingual (CML) por separado y el volumen de los espacios vacíos gaps (G) y voids (V) presentes en los diferentes grupos. Se evaluará además por separado el volumen en mm³ del istmo sumado al tercio apical. Estos volúmenes obtenidos y cuantificados como unidad de medición serán los que se utilicen para comparar en los resultados. El operador que procesó y evaluó las muestras fue en todo momento ciego del sellador utilizado para cada réplica.

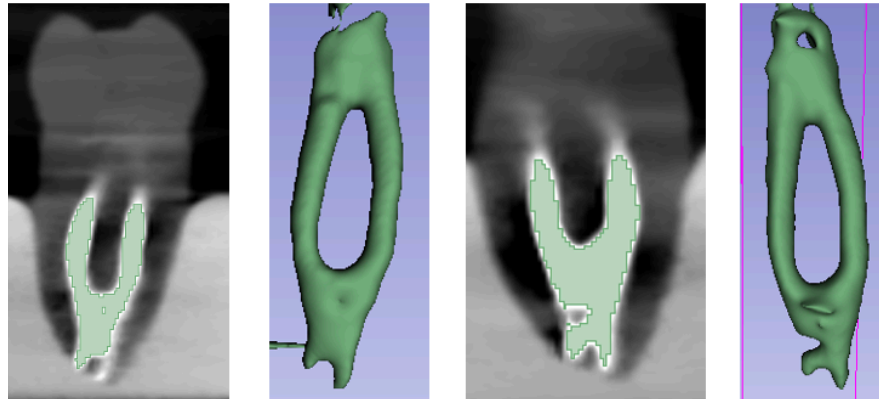


Fig. 4. Ejemplos de reconstrucción de muestras. A) Corte frontal con representación de VOID B) Corte frontal con representación de GAP.

5.7. Variables del estudio:

5.7.1. Variables independientes:

- Tipo de cementos de obturación:
 - NeoSealerFlo
 - TotalFill BC Sealer HiFlow
 - AH plus

5.7.2. Variables dependientes:

- Volumen total de los conductos
- Volumen total por conducto (CMV y CML)
- Gaps
- Voids
- Istmo y tercio apical

5.8. Análisis estadístico

La totalidad de los datos obtenidos se registraron en Excel, una base de datos. Para realizar las pruebas estadísticas, se utilizó el software R-Studio (Universidad de Auckland, Estados Unidos) con un nivel de significación establecido del 5%. La normalidad de los datos se analizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk para muestras pequeñas. La distribución de la muestra fue compatible con una distribución normal para las variables volumen total y gaps, para las cuales se utilizó el test estadístico ANOVA para la comparación entre

grupos y el análisis post-hoc de Tukey para comprobar entre qué grupos se encontraban las diferencias. En el caso de los voids y del grupo de conducto mesiolingual por separado, al no cumplir principios de normalidad en la prueba de Shapiro-Wilk, se compararon mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis.

6. RESULTADOS:

Para determinar si se cumple el supuesto de normalidad se lleva a cabo la prueba de Shapiro-Wilk, test adecuado para la muestra disponible. En la **Tabla 1** se observa que no se rechaza el supuesto de normalidad para ninguno de los cementos en las muestras de volumen total y de gaps. Sin embargo, para los voids se rechaza la distribución normal de los datos.

Al evaluar las muestras de los conductos por separado, no se rechaza el supuesto de normalidad en CMV y sí para CML.

Variable (mm ²)	Ah plus	NeoSealerFlo	TotalFill HiFlow	Todos
Volumen Total				
CMV	0,474	0,581	0,391	0,846
CML	0,443	0,835	0,036 *	0,652
Total	0,530	0,573	0,171	0,784
Volumen Voids				
CMV	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***
CML	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***
Total	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***	0,000 ***
Volumen Gaps				
CMV	0,474	0,539	0,383	0,839
CML	0,443	0,837	0,036 *	0,653
Total	0,773	0,984	0,130	0,805

Tabla 1. Evaluación de la distribución normal mediante Shapiro-Wilk

En la **Tabla 2** se muestran los resultados de las mediciones del volumen total de los conductos mesiales para cada uno de los cementos y el volumen de los voids y gaps presentes en los mismos. Mediante el test ANOVA se puede comprobar que la media de volumen total relleno con el cemento AHP es superior a la

obtenida con los otros dos cementos, siendo esta diferencia en las medias estadísticamente significativa ($p < 0,05$). El cemento TFH es en el que mayor variabilidad se observa medido tanto por su desviación típica como por el rango mínimo y máximo de sus valores. En cuanto a los voids, no se encuentran diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos ya que en todos los casos el valor más repetido en las muestras es 0. En los gaps, se puede observar en el caso de los cementos hidráulicos en comparación con el grupo control (AHP) un valor medio mayor en la presencia de gaps. Las diferencias entre los tres grupos son estadísticamente significativas de acuerdo con el test ANOVA.

Para los conductos por separado, se observan los mismos resultados. Sin embargo, las diferencias entre las medias de estos grupos no son estadísticamente significativas ($p > 0,05$).

	Ah plus	NeoSealerFlo	TotalFill HiFlow	p valor
Volumen Total				
CMV	2,09 (0,26) 2,03 (1,79-2,61)	1,93 (0,15) 1,95 (1,70-2,13)	1,85 (0,40) 1,83 (1,39-2,43)	0,249
CML	2,11 (0,20) 2,11 (1,89-2,42)	1,88 (0,17) 1,90 (1,60-2,15)	1,84 (0,26) 1,85 (1,51-2,12)	0,067
Total	2,10 (0,22) 2,04 (1,79-2,61)	1,91 (0,16) 1,93 (1,60-2,15)	1,84 (0,33) 1,83 (1,39-2,43)	0,012*
Volumen Voids				
CMV	0,00 (0,00) 0,00 (0,00-0,00)	0,002 (0,005) 0,00 (0,00-0,015)	0,002 (0,004) 0,00 (0,00-0,012)	0,099
CML	0,00 (0,00) 0,00 (0,00-0,00)	0,0001 (0,0004) 0,00 (0,00-0,001)	0,00 (0,00) 0,00 (0,00-0,00)	-
Total	0,00 (0,00) 0,00 (0,00-0,00)	0,0011 (0,0037) 0,00 (0,00-0,015)	0,0009 (0,0029) 0,00 (0,00-0,012)	0,125
Volumen Gaps				
CMV	0,89 (0,26) 0,96 (0,37-1,20)	1,05 (0,15) 1,02 (0,86-1,29)	1,13 (0,40) 1,16 (0,55-1,59)	0,256
CML	0,58 (0,20) 0,59 (0,28-0,81)	0,81 (0,17) 0,80 (0,54-1,09)	0,86 (0,26) 0,82 (0,58-1,19)	0,067
Total	0,73 (0,27) 0,77 (0,28-1,20)	0,93 (0,20) 0,96 (0,54-1,29)	0,99 (0,36) 1,01 (0,56-1,59)	0,035*

Tabla 2. Comparativa estadística entre las muestras expresado como (Media (SD) Mediana (Rango) // pvalor del ANOVA o KW)

Finalmente se ha realizado el test post-hoc de Tukey para comparación múltiple entre los grupos e identificar las diferencias en parejas entre las medias de tanto para el volumen total como para los gaps. En cuanto al volumen total de relleno, el test nos muestra que las diferencias más grandes se encuentran entre los grupos de TFH y AHP siendo estas estadísticamente significativas. Así mismo, las diferencias entre NSF y AHP están cerca de considerarse estadísticamente significativas con un p valor de 0,068. Las diferencias entre los dos cementos hidráulicos no son estadísticamente significativas. En cuanto a los gaps, los resultados obtenidos son similares a los de volumen total.

	NSF-AHP	TFH-AHP	TFH-NSF
Volumen Total			
Total	-0,200 (-0,41 a 0,01) p. 0,068	-0,260 (-0,47 a -0,05) p. 0,012 *	-0,060 (-0,27 a 0,15) p. 0,769
Volumen Gaps			
Total	0,198 (-0,045 a 0,442) p. 0,130	0,259 (0,015 a 0,503) p. 0,035 *	0,060 (-0,183 a 0,304) p. 0,820

Tabla 3. Test post-hoc de Tukey para comparativa entre grupos expresado como: Dif. Entre medias (IC95) // pvalor

Adicionalmente se ha llevado a cabo el estudio del volumen del istmo y tercio apical por separado. En la **Tabla 4** se puede observar que en ninguna de las muestras se rechaza que sigan una distribución normal.

Variable (mm ²)	Ah plus	NeoSealerFlo	TotalFill HiFlow	Todos
Volumen Total				
Istmo y tercio apical	0,107	0,470	0,378	0,306

Tabla 4. Evaluación de la distribución normal (Shapiro-Wilk) para istmo y tercio apical

En los datos obtenidos para el tercio apical (**Tabla 5**), los resultados difieren de los observados anteriormente para la totalidad de los conductos, siendo en este caso el NSF el sellador con volumen medio de obturación menor. El AHP se presenta como el sellador con mayor volumen total de ocupación del conducto simulado. Estas diferencias entre las medias de los tres grupos son estadísticamente significativas (p<0,05).

	Ah plus	NeoSealerFlo	TotalFill HiFlow	p valor
Volumen Total				
Istmo y tercio apical	1,22 (0,08)	0,93 (0,08)	1,10 (0,14)	0,0001*
	1,21 (1,15-1,36)	0,92 (0,84-1,07)	1,05 (0,93-1,31)	

Tabla 5. Comparativa estadística entre las muestras expresado como (Media (SD) Mediana (Rango) // pvalor del ANOVA)

La **Tabla 6** permite discernir entre qué grupos se están generando las diferencias, mediante el test de Tuckey. Estos resultados muestran que los grupos con diferencias estadísticamente significativas entre ellos son el NSF frente al AHP y el THF frente al NSF, las diferencias entre el TFH y el AHP no son significativas ($p > 0,05$).

	NSF-AHP	TFH-AHP	TFH-NSF
Volumen Total			
Istmo y tercio apical	-0,291 (-0,24 a 0,16) p. 0,0001***	-0,124 (-0,25 a 0,005) p. 0,062	0,166 (0,03 a 0,30) p. 0,011*

Tabla 6. Test post-hoc de Tukey para comparativa entre grupos expresado como: Dif. Entre medias (IC95) // pvalor

7. DISCUSIÓN:

Este estudio in vitro de réplicas de conductos mesiales de molares inferiores fue diseñado con el propósito de evaluar la calidad en la obturación tridimensional, así como la aparición de espacios vacíos (gaps y voids) en el sistema de conductos radicular con diferentes selladores empleando una técnica de obturación basada en la aplicación de calor. Todo ello bajo un análisis comparativo de tomografía computarizada. En el estudio se rechazó con un 95% de confianza la hipótesis nula en el volumen del relleno total de los conductos y en la formación de gaps, no pudiendo rechazarse en la aparición de voids.

Discusión de la metodología empleada:

Este estudio utiliza la configuración anatómica de conductos mesiales de primeros molares inferiores, ya que en éstos existe comunicación de istmo (complejidad anatómica en la obturación del sistema de conductos) entre los conductos mesiales en el 54,8% de los casos (27). Los istmos suponen una complejidad anatómica añadida, debido a que en ellos se pueden acumular detritus o tejido residual bacteriano no eliminado durante la desinfección químico-mecánica del sistema de conductos radicular (5). Se debe lograr un correcto sellado tridimensional de esta irregularidad anatómica para evitar reinfecciones bacterianas oportunistas. Además, su presencia se ha asociado a una alta tasa de riesgo de fracaso endodóntico (28,29). En otros estudios in vitro publicados (10,30), se han utilizado molares humanos (dientes extraídos) para evaluar el porcentaje de espacios vacíos, tanto voids como gaps en la obturación radicular. Sin embargo, para reducir la variabilidad anatómica compleja de los mismos, aumentando la validez interna de los resultados, en este estudio se utilizan los dientes impresos en resina.

Las réplicas simulan una anatomía semejante a la de los dientes naturales, pudiendo imprimirse el número necesario de las mismas y estandarizar la muestra (31,32), para poder medir el volumen y los espacios irregulares en la adaptación del material con la pared y en la estabilidad dimensional del propio sellador reduciendo el porcentaje de errores y proporcionar resultados más fiables a la hora de medir. Además, permite analizar la penetración del material en anatomías complejas como conductos laterales, istmos o ramificaciones apicales. No existe el riesgo de contaminación cruzada y se pueden comparar un mayor número de grupos con idéntica anatomía al poder imprimir el número de muestras necesario.

La obturación radicular de todos los conductos fue realizada por un único operador para una mayor homogenización. Las muestras obturadas y escaneadas con CBCT se codificaron para que el operador encargado de realizar el análisis estuviera completamente cegado del tipo de sellador utilizado en cada muestra y así reducir la posibilidad de sesgo. Sin embargo, puede

introducir sesgo en los resultados que este análisis haya sido realizado por un solo operador, aunque éste había sido previamente entrenado.

La técnica de obturación CV se eligió por ser la técnica con mayor efectividad de relleno en irregularidades anatómicas como los istmos (5,33) Los cementos hidráulicos utilizados fueron de tipo 5 de jeringa única e intra-radicales ya que han demostrado una mayor capacidad de llenado del conducto que los selladores polvo-liquido (34,35). No todos los cementos selladores hidráulicos son resistentes al calor, por lo que hay que tener en cuenta las indicaciones del fabricante al respecto. Además, no debe aplicarse calor a los selladores tipo 4 a base de agua, ya que se alteran sus propiedades frente al aumento de temperatura (7,18,36).

El tiempo de fraguado real de cada cemento no es igual para todos los selladores del estudio. Se ha demostrado en la literatura que el cemento AHP acelera su fraguado con el calor, variando en un intervalo de entre cuatro y siete horas. TFH con la aplicación de calor puede no completar totalmente su fraguado hasta las 48 horas (25). Por lo tanto, para la estandarización de las muestras los CBCT se realizaron a las 48 horas de obturar las réplicas, por ser el tiempo máximo necesario que requería el grupo de TFH (sellador que más tiempo tardaba en fraguar por completo).

Discusión de los resultados:

El éxito del tratamiento de conductos radica en la prevención, curación y control de la infección intra y extraradicular del sistema de conductos. Por ello, tras lograr una buena desinfección quimicomecánica es necesario un sellado tridimensional que se consigue en la obturación de los mismos (37). Si bien, esta obturación puede verse afectada por un relleno insuficiente o pobre de los conductos, o por la generación de espacios vacíos en dificultades anatómicas, en la adaptación del material de relleno a la pared de los conductos o dentro del propio material de obturación.

Este presente estudio demuestra que el tipo de sellador utilizado con técnica de condensación vertical puede influir en la aparición de espacios vacíos entre la pared del conducto y el sellador, así como, en el relleno completo del volumen

del sistema de conductos. Entre los selladores examinados, se encontró que el AHP era el cemento que más volumen rellenaba, así como el que menos gaps generaba, mostrando diferencias significativas con el TFH. Con el NSF no mostró diferencias estadísticamente significativas pero el volumen de llenado era alrededor de un 10% inferior para este grupo. La media entre ambos selladores hidráulicos no obtuvo diferencias significativas pese a encontrar pequeños mejores resultados para el NSF.

Los espacios vacíos obtenidos en nuestro estudio podrían estar relacionados con la pérdida de masa que sufre el material al aplicar calor pese a estar recomendado su uso con técnicas de obturación en caliente como muestra el estudio publicado por Camilleri (37). Esta pérdida de masa también puede estar relacionada con la solubilidad de los materiales. Según normativa ISO 6876:2012 la solubilidad no debe ser superior al 3%. AHP cumple la normativa con un 0,16% (4) frente a los selladores hidráulicos que, al ser sensibles a la humedad, pueden tener una alta solubilidad oscilante entre 1,2-37,6% (38,39).

Otros estudios (35) pese a utilizar técnicas en frío como el cono único, también encuentran espacios vacíos con los selladores hidráulicos. Esta similitud en resultados podría deberse a multitud de factores inherentes que pueden influir en la aparición de estos espacios como la experiencia del operador, el tiempo y medio de conservación de las muestras, la técnica de conformación, la irrigación, la técnica de obturación (tanto en frío como en caliente) seleccionada, propiedades del cemento, los programas informáticos empleados para la segmentación de las muestras, etc. (5).

En este estudio el grupo control AHP ha obtenido mejores resultados para todos los parámetros en comparación con los selladores hidráulicos mientras que otros autores han publicado que selladores hidráulicos como Bio-C Sealer generaban estadísticamente menos espacios vacíos en la obturación radicular con la técnica de CV en comparación con AH Plus (40). Otros autores han demostrado que este nuevo sellador tiene propiedades fisicoquímicas similares al TotalFill BC Sealer (41) y, por tanto, al TFH empleado (37). Estos resultados contradictorios pueden deberse a que las muestras empleadas en ese estudio eran dientes naturales por lo que el cemento hidráulico por sus propiedades

previamente comentadas puede haber formado hidroxiapatita en las paredes y túbulos dentinarios dando un mejor resultado en la aparición de menos espacios en comparación al nuestro, realizado con dientes creados artificialmente en resina.

En cuanto al análisis por separado del istmo con el tercio apical (7 últimos milímetros) se decidió realizar dado que presenta la mayor complejidad anatómica de la muestra, siendo la más relevante clínicamente. Además, otro estudio (33) concluye que la técnica de CV genera un mayor porcentaje de vacíos en esta región por no alcanzar el calor en los últimos mm del conducto. Este aspecto justifica su análisis en este estudio, asimismo otros estudios previos (1,42) también realizan esta diferenciación. En él se obtienen diferentes resultados en esta región donde el NSF tiene peores resultados estadísticos en comparación al AHP, frente al volumen total del conducto, donde los peores resultados se obtienen para el TFH.

8. CONCLUSIONES:

1. La calidad de obturación difiere entre los diferentes selladores evaluados volumétricamente. En particular, el sellador hidráulico TFH mostró una inferioridad estadísticamente significativa en comparación con el grupo control AHP, mientras que el sellador NSF no mostró diferencias significativas con ninguno de los selladores.
2. Los gaps presentes entre la pared del conducto simulado y el sellador difirió significativamente entre el grupo de TFH y AHP, siendo más frecuente la presencia de espacios vacíos en el grupo TFH.
3. Los voids no mostraron resultados relevantes al ser cercanos a cero en la mayoría de las muestras analizadas.
4. El volumen de obturación medido tanto en el istmo junto como en el tercio apical fue inferior para el grupo NSF en comparación con los otros dos selladores.

9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y FUTURAS INVESTIGACIONES:

Los dientes impresos en resina no son dientes naturales por lo que la dentina y los túbulos dentinarios no son reproducibles artificialmente. Por ello, el sellado, la adaptación marginal y la penetración del material de obturación a dentina, no es valorable en este estudio. Además, en los conductos calcificados o muy estrechos, la impresión puede generar artefactos durante la fabricación, siendo difícil obtener una réplica limpia que pueda ser válida para el uso en los estudios.

Es importante diseñar futuros estudios que comparen la adaptación marginal y penetración en dentina de dientes naturales, para poder ser extrapolables y aplicables a la realidad clínica. Además de comparar los mismos materiales con diferentes técnicas de obturación.

Sería interesante completar el estudio in vitro con análisis de imágenes de Micro-CT, al tener mayor resolución de imagen, pudiendo ser más preciso en la detección de espacios vacíos presentes en la obturación radicular, específicamente para analizar con mayor aumento los voids presentes en el seno del material de obturación.

10. BIBLIOGRAFÍA:

1. Kim S, Kim S, Park JW, et al. Comparison of the percentage of voids in the canal filling of a calcium silicate-based sealer and gutta percha cones using two obturation techniques. *Materials (Basel)* 2017;10. -
2. Kim J hyung, Cho SY, Choi Y, Kim D hyun, Shin SJ, Jung IY. Clinical Efficacy of Sealer-based Obturation Using Calcium Silicate Sealers: A Randomized Clinical Trial. *J Endod.* 2022 Feb 1;48(2):144–51.
3. Siqueira, J.F., Jr.; Rocas, I.N.; Alves, F.R.; Campos, L.C. Periradicular status related to the quality of coronal restorations and root canal fillings in a Brazilian population. *Oral Surg. Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endod.* 2005, 100, 369–374.

4. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, et al. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J* 2020; 39:703–20. 2.
5. Zhang P, Yuan K, Jin Q, Zhao F, Huang Z. Presence of voids after three obturation techniques in band-shaped isthmuses: a micro-computed tomography study. *BMC Oral Health*. 2020 31;21:227.
6. Viapiana R, Baluci CA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Investigation of chemical changes in sealers during application of the warm vertical compaction technique. *Int Endod J*. 2015 Jan 1;48(1):16–27.
7. Camilleri J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *J Endod*. 2015 Jan 1;41(1):72–8.
8. Chen B, Haapasalo M, Mobuchon C, Li X, Ma J, Shen Y. Cytotoxicity and the Effect of Temperature on Physical Properties and Chemical Composition of a New Calcium Silicate-based Root Canal Sealer. *J Endod*. 2020 Apr 1;46(4):531–8.
9. Cardinali F, Camilleri J. A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clin Oral Investig*. 2023 Aug 1;27(8):4147–55.
10. Iglecias EF, Freire LG, de Miranda Candeiro GT, et al. Presence of voids after continuous wave of condensation and single-cone obturation in mandibular molars: a micro-computed tomography analysis. *J Endod* 2017;43:638–42.
11. Ko SY, Choi HW, Jeong ED, et al. Main and accessory canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer according to different obturation techniques. *Materials (Basel)* 2020;13.
12. Kim JA, Hwang YC, Rosa V, et al. Root canal filling quality of a premixed calcium silicate endodontic sealer applied using gutta-percha cone-mediated ultrasonic activation. *J Endod* 2018;44:133–8.

13. Witte. Portland Cement a Material for Filling. *The Dental register*. 1878;32(5):219–20.
14. Camilleri J. Classification of Hydraulic Cements Used in Dentistry. *Frontiers in Dental Medicine*. 2020 Sep 8;1.
15. Kharouf N, Arntz Y, Eid A, Zghal J, Sauro S, Haikel Y, et al. Physicochemical and Antibacterial Properties of Novel, Premixed Calcium Silicate-Based Sealer Compared to Powder-Liquid Bioceramic Sealer. *J Clin Med*. 2020 Oct 1;9(10):1–17.
16. Bukhari S, Karabucak B. The Antimicrobial Effect of Bioceramic Sealer on an 8-week Matured *Enterococcus faecalis* Biofilm Attached to Root Canal Dentinal Surface. *J Endod*. 2019 Aug 1;45(8):1047–52.
17. Raman V, Camilleri J. Characterization and assessment of physical properties of three single syringe hydraulic cement-based sealers. *J Endod*. 2024 Jan.
18. Camilleri J. Mineral trioxide aggregate: present and future developments. *Endod Topics [Internet]*. 2015 May 1;32(1):31–46.
19. Nekoofar MH, Oloomi K, Sheykhrezae MS, Tabor R, Stone DF, Dummer PMH. An evaluation of the effect of blood and human serum on the surface microhardness and surface microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*. 2010 Oct;43(10):849–58.
20. Nekoofar MH, Davies TE, Stone D, Basturk FB, Dummer PMH. Microstructure and chemical analysis of blood-contaminated mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*. 2011 Nov;44(11):1011–8.
21. Kim Y, Kim S, Shin YS, Jung IY, Lee SJ. Failure of setting of mineral trioxide aggregate in the presence of fetal bovine serum and its prevention. *J Endod* 2012; 38: 536.

22. Camilleri J, Formosa L, Damidot D. The setting characteristics of MTA Plus in different environmental conditions. *Int Endod J*. 2013 Sep;46(9):831–40.
23. Silva Almeida LH, Moraes RR, Morgental RD, Pappen FG. Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *J Endod [Internet]*. 2017 Apr 1;43(4):527–35.
24. Viapiana R, Guerreiro-Tanomaru JM, Hungaro-Duarte MA, Tanomaru-Filho M, Camilleri J. Chemical characterization and bioactivity of epoxy resin and Portland cement-based sealers with niobium and zirconium oxide radiopacifiers. *Dental Materials*. 2014 Sep 1;30(9):1005–20.
25. Aksel H, Makowka S, Bosaid F, Guardian MG, Sarkar D, Azim AA. Effect of heat application on the physical properties and chemical structure of calcium silicate-based sealers. *Clin Oral Investig*. 2021 May 1;25(5):2717–25.
26. Girelli CFM, Lacerda MFLS, Lemos CAA, Amaral MR, Lima CO, Silveira FF, et al. The thermoplastic techniques or single-cone technique on the quality of root canal filling with tricalcium silicate-based sealer: An integrative review. *J Clin Exp Dent*. 2022 Jul 1;14(7):566–72.
27. De Pablo, O.V.; Estevez, R.; Peix Sanchez, M.; Heilborn, C.; Cohenca, N. Root anatomy and canal configuration of the permanent mandibular first molar: A systematic review. *J. Endod*. 2010, 36, 1919–1931.
28. Kim S, Jung H, Kim S, Shin SJ, Kim E. The Influence of an Isthmus on the Outcomes of Surgically Treated Molars: A Retrospective Study. *J Endod*. 2016 Jul 1;42(7):1029–34.
29. Leoni GB, Versiani MA, Silva-Sousa YT, Bruniera JFB, Pécora JD, Sousa-Neto MD. Ex vivo evaluation of four final irrigation protocols

on the removal of hard-tissue debris from the mesial root canal system of mandibular first molars. *Int Endod J.* 2017 Apr 1;50(4):398–406.

30. Pérez-alfayate R, Mercade M, Algar-pinilla J, Cisneros-cabello R, Foschi F, Cohen S. Root Canal Filling Quality Comparison of a Premixed Calcium Silicate Endodontic Sealer and Different Carrier-Based Obturation Systems. *J Clin Med.* 2021;10(6):1–10.
31. Gok T, Capar ID, Akcay I, Keles A. Evaluation of Different Techniques for Filling Simulated C-shaped Canals of 3-dimensional Printed Resin Teeth. *J Endod.* 2017 Sep 1;43(9):1559–64.
32. Holmes S, Gibson R, Butler J, Pacheco R, Askar M, Paurazas S. Volumetric Evaluation of 5 Root Canal Obturation Methods in TrueTooth 3-dimensional-Printed Tooth Replicas Using Nano-computed Tomography. *J Endod.* 2021 Mar 1;47(3):485-491.
33. Vazquez-Alcaraz S, Gancedo-Caravia L, Arias A, Bascones J. Performance of obturation techniques in anatomical irregularities located at different thirds of the root canal system. *Journal of Applied Oral Science.* 2024 May 20;32:e20230440.
34. Kharouf N, Arntz Y, Eid A, Zghal J, Sauro S, Haikel Y, et al. Clinical Medicine Physicochemical and Antibacterial Properties of Novel, Premixed Calcium Silicate-Based Sealer Compared to Powder-Liquid Bioceramic Sealer. *J Clin Med.* 2020:3096.
35. Sfeir G, Bukiet F, Kaloustian MK, Kharouf N, Slimani L, Casel B, et al. 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 19;10(11).
36. Cardinali F, Camilleri J. A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clin Oral Investig.* 2023 27:4147–55.

37. Hadis M, Camilleri J. Characterization of heat resistant hydraulic sealer for warm vertical obturation. *Dental Materials*. 2020 Sep 1;36(9):1183–9.
38. Elyassi Y, Amir †, Moinzadeh T, Kleverlaan CJ. Characterization of Leachates from 6 Root Canal Sealers. *J Endod*. 2019 May;45(5):623-627.
39. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J*. 2017 Jan 1;50:120–36.
40. Girelli CFM, de Lima CO, Silveira FF, Lacerda MFLS, Nunes E. Marginal gaps and voids using two warm compaction techniques and different sealers: a micro-CT study. *Clin Oral Investig*. 2023 Jun 1;27(6):2805–11.
41. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of Physicochemical Properties of a New Calcium Silicate-based Sealer, Bio-C Sealer. *J Endod*. 2019 Oct 1;45(10):1248–52.
42. Jho W, Park JW, Kim E, Song M, Seo DG, Yang DK, et al. Comparison of root canal filling quality by mineral trioxide aggregate and gutta percha cones/AH plus sealer. *Dent Mater J*. 2016 Jul 29;35(4):644–50.