



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

“ESTUDIO IN VITRO DE LA  
CAPACIDAD DE SELLADO DE  
TÉCNICAS TERMOPLÁSTICAS EN  
MOLARES INFERIORES”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA  
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN  
ESTOMATOLOGÍA CON MENCIÓN EN  
ENDODONCIA

PIERRE ALFREDO MEJIA ROJAS

LIMA-PERÚ  
2023



**ASESOR**

Mg. Leyla Delgado Cotrina

**JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

MG. CARLOS VLADIMIR ESPINOZA MONTES

PRESIDENTE

MG. PABLO CESAR SANCHEZ BORJAS

VOCAL

MG. LILLIE ELIZABETH ABANTO SILVA

SECRETARIO (A)

### **DEDICATORIA.**

A Dios en primer lugar, por darme mucha salud.

A mis padres por ser mis guías y fortaleza.

A mi novia Hellen mi inspiración y compañera de vida que me apoya  
siempre.

### **AGRADECIMIENTOS.**

A mis docentes que estuvieron en todo este proceso de formación.

A mi asesora Leyla Delgado, por ayudarme y asesorarme en la ejecución de  
este trabajo.

A los coordinadores de este curso.

### **FUENTES DE FINANCIAMIENTO.**

Trabajo de investigación autofinanciado.

# ESTUDIO IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE SELLADO DE TÉCNICAS TERMOPLÁSTICAS EN MOLARES INFERIORES

## INFORME DE ORIGINALIDAD



## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Catolica De Cuenca Trabajo del estudiante	1%
2	www.youblisher.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uigv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.scielo.br Fuente de Internet	1%
6	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unesp.br Fuente de Internet	1%
8	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCION	1
II. DESARROLLO TEMATICO	2
2.1. Docencia universitaria estomatológica	2
2.2. Análisis crítico de literatura estomatológica	7
2.3. Proyecto de investigación en estomatología	14
III. CONCLUSIONES	34
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
V. ANEXOS	

## **RESUMEN**

**Introducción:** El objetivo final de todo tratamiento de conducto es el sellado tridimensional tanto del conducto radicular como de sus ramificaciones anatómicas en todo el diámetro del conducto a través de técnicas de obturación termoplásticas, evitando así la colonización de bacterias y tejidos periapicales a largo plazo.

Se desarrolló un portafolio con 3 trabajos temáticos: Silabo, Revisión de Literatura estomatológica y Proyecto de Investigación. **Conclusiones:** El silabo nos permite abordar temas de manera más estructurada con el fin de que sea de mejor entendimiento para los estudiantes. El poder realizar un análisis crítico de literatura nos permitirá discernir la calidad de cada artículo científico que podamos leer. Finalmente, con el proyecto de investigación se quiere comparar la capacidad de sellado de la obturación lateral ultrasónica y obturación con inyección de gutapercha termoplástica en primeros molares inferiores.

**PALABRAS CLAVE:** ENDODONCIA, ULTRASONIDO, TOMOGRAFÍA.

## **ABSTRACT**

**Introduction:** The ultimate goal of all root canal treatment is the three-dimensional sealing of both the root canal and its anatomical branches throughout the diameter of the root canal through thermoplastic filling techniques, thus avoiding the colonization of bacteria and periapical tissues in the long term. A Portafolio was developed with 3 thematic works: Syllabus, Review of stomatological literature and a Research Project. **Conclusions:** This syllabus allows us to address topics in a more structured way so that students can understand better. Being able to carry out a critical analysis of literature will allow us to discern the quality of each scientific paper or article that we can read. Finally, with this research Project we want to compare the sealing capacity of ultrasonic lateral seal and thermoplastic gutta-percha injection filling in mandibular first molars.

**KEYWORDS:** ENDODONTICS, ULTRASOUND, TOMOGRAPHY

## **I. INTRODUCCIÓN**

El objetivo de la obturación de conductos radiculares es el relleno y sellado de la manera más efectiva, después de la preparación químico-mecánica. La importancia del sellado de sus irregularidades anatómicas implica varios desafíos en la desinfección y posterior sellado de éstas, es por eso que para lograr una obturación de alta calidad se debe tener en cuenta las características del material y las técnicas de obturación que existen. Los estudios han demostrado ventajas de usar técnicas de obturación termoplásticas en conductos irregulares, ovalados en comparación con técnicas de obturación convencionales. Entre ellas está la técnica lateral ultrasónica que se basa en el uso de puntas ultrasónicas para obtener una masa densa en la obturación. La evaluación tomográfica aplicada a la Endodoncia nos permite una evaluación de la calidad y fallas en la obturación de los conductos radiculares. En el presente trabajo de investigación se ha elaborado un Sílabo donde el curso lleva por nombre Introducción a la obturación termoplástica en endodoncia, aquí se abordarán principios fundamentales para la obturación termoplástica, así como manejar diferentes sistemas termoplásticos en conductos simulado de dientes de acrílico.

Como segundo producto del portafolio, se realizó un análisis crítico de literatura estomatológica, donde el artículo base tuvo como tema principal determinar la técnica óptima para minimizar los espacios en la interfase sellador – dentina, para poder analizar la calidad del reporte escrito mediante CRIS y la calidad metodológica del estudio mediante AXIS.

Finalmente se elaboró un proyecto de investigación tomando como base el artículo

que fue analizado anteriormente, este proyecto trata sobre la capacidad de sellado de técnicas termoplásticas en molares inferiores

## II. DESARROLLO TEMÁTICO

### 2.1. Docencia universitaria estomatológica

<b>FACULTADES DE MEDICINA, DE ESTOMATOLOGIA Y DE ENFERMERIA</b>
<b>FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA</b>
<b>UNIDAD DE POSGRADO Y ESPECIALIZACIÓN</b>
<b>EDUCACIÓN CONTINUA</b>

<b>I. DATOS GENERALES</b>		
<b>1.1</b>	Nombre del curso	<b>Introducción a la obturación termoplástica en endodoncia</b>
<b>1.2</b>	Dirigido a	Cirujano dentista, especialistas.
<b>1.3</b>	Organizado por	Área de Endodoncia
<b>1.4</b>	Horas y/o créditos	Horas: 8 horas teóricas 16 horas prácticas
<b>1.5</b>	Modalidad	Presencial
<b>1.6</b>	Créditos	<b>1 crédito</b>
<b>1.7</b>	Duración	<b>Del 16 de agosto al 20 de Setiembre de 2023</b>
<b>1.8</b>	Profesor coordinador	<b>CD. Esp. Pierre Alfredo Mejia Rojas</b> <a href="mailto:pierre.mejia.r@upch.pe">pierre.mejia.r@upch.pe</a>

<b>II. SUMILLA</b>
<p>El curso de Introducción a la Obturación Termoplástica en Endodoncia es de naturaleza teórico - práctico y tiene como propósito que el estudiante pueda adquirir conocimientos sobre la utilización de la técnica de obturación termoplástica en la etapa final del tratamiento de conductos.</p> <p>El estudiante comprende las ventajas del uso de estas técnicas y diferentes marcas que están disponibles.</p> <p>El estudiante aprende a utilizar los diferentes equipos de obturación termoplástica en dientes de acrílico.</p>

### III. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Al término del curso el estudiante será capaz de:

- Comprender los principios fundamentales que rigen para la obturación termoplástica.
- Manejar las diferentes técnicas de los sistemas termoplásticos en conductos simulados de dientes de acrílico.

### IV. CONTENIDOS

1. Principios y Fundamentos de la Obturación termoplástica de Conductos.
2. Obturación con sistemas Bee Fill - WDW
3. Obturación con sistemas Elements – Sybron Kerr
4. Obturación con sistema Fast Pack- Fast Fill - Eighteeth
5. Obturación con sistema Fi P – Fi G - Woodpecker.

### V. ESTRATEGIAS DIDÁCTICAS

El contenido del curso se desarrollará en base a:

Clase magistral: Exposición de un tema por un experto siguiendo una estructura determinada, con ayudas audiovisuales y promoviendo la participación activa de los estudiantes a través de preguntas y solicitando opinión y comentarios, en modalidad presencial.

Práctica de Laboratorio: Aprendizaje a nivel individual que se orienta a la adquisición de destrezas procedimentales y capacidad analítica. De manera Presencial y requiere de una guía y se evalúa el desempeño. El alumno aprenderá el manejo de las técnicas de obturación y practicará en conductos simulados de dientes de acrílico.

### VI. EVALUACIÓN

La evaluación final se obtendrá de los siguientes criterios.

1. Taller práctico	30%
2. Examen final	70%
Total	100 %

1. La nota final se expresará en escala vigesimal, en valores con dos decimales. No habrá redondeo a la cifra inmediatamente superior o inferior.
2. La nota mínima aprobatoria del curso será ONCE (11.00)

### VII. CERTIFICACIÓN

Certificado

- Al finalizar el curso se hará entrega de un certificado.
- Se considerará al estudiante la entrega de certificado por asistencias iguales o mayores al 80% a las actividades de aprendizaje.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

1. Berutti E, Gagliani M. Manual de endodoncia. España: Amolca; 2017.
2. Canalda SC, Brau AE. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 4ta. ed. España: Elsevier Health Sciences; 2019.
3. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen's pathways of the pulp. 12th. ed. Elsevier. St. Louis Missouri; 2021.
4. Lima Machado ME. Endodoncia Ciencia y Tecnología. 3 Tomos. Caracas, Venezuela: Amolca; 2016.
5. Faus-Llacer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, et al. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: in vitro study. J Clin Exp Dent. 2015 Apr;7(2):e299–e303.
6. Rossetto DB, Fernandes SL, Cavenago BC, Hungaro Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Bombarda de Andrade F. Influence of the Method in Root Canal Filling Using Active Lateral Compaction Techniques. Braz. Dent. J. 2014 Jul; 25(4):295-301.
7. Valdivia JE, Machado MEL. Onda ultrassônica de termoplastificação da obturação pela técnica segmentada. Full Dent Sci. 2018; 9(35):135-43.
8. Celikten B, Jacobs R, Vasconcelos KD, Huang Y, Ferreira L, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artifact in Filled Root Canals Using Different Cone Beam Computed Tomographic Devices. J Endod. 2017 Sep;43(9):1517-21.
9. Ahluwali Y, Sharma U, Kumar N, Malik A, Singh A, Narayan A. Adaptation of Single-Cone Gutta-Percha in Curved Canals Prepared and Obturated with Protaper and Heroshaper Systems by Using Cone Beam Computed Tomography. J Int Soc Prev Community Dent. 2019 Mar-Apr;9(2):185-93.
10. Vasconcelos RA, Camargo CH, Cavalcanti BN, Manhães LR Jr, Gonçalves SH. Adaptation of gutta percha to oval canals: A Cone Beam computed tomographic analysis. Gen Dent. 2017 May-Jun;65(3):e13-7.
11. Schafer E, Schrenker C, Zupanc J, Burklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. J Endod. 2016 Feb;42(2):294-8.
12. Shan Ho ES, Chang JWW, Cheung GSP. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. Restor Dent Endod. 2016 Feb;41(1):22-8.
13. Gambarini G, Piasecki L. In vitro evaluation of carrier based obturation technique: a CBCT study. Ann Stomatol, 2016 Jul;19 7(1-2): 11-5.
14. Grossman L. Práctica endodóntica. 13a. Edición. India: Wolters Kluwer Health India; 2014.
15. 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;43(9):1559-64.

## ANEXO 1

### PROFESORES PARTICIPANTES

<b>Grado o Título</b>	<b>Nombre</b>	<b>Apellidos</b>	<b>Correos electrónicos</b>	<b>Departamento Académico</b>
CD. ESP.	Pierre	Mejia Rojas	<a href="mailto:pierre.mejia.r@upch.pe">pierre.mejia.r@upch.pe</a>	DACE

**ANEXO 2**  
**PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDADES**

<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CONTENIDO</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>RESPONSABLE</b>
16 de Agosto	8:00 – 13:00	Principios fundamentales de la Obturación termoplástica.	Clase magistral Práctica de Laboratorio	Se describe las técnicas de Obturación Termoplástica.	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas
23 de Agosto	8:00 – 13:00	Sistema Bee Fill (VDW)	Clase magistral Práctica de Laboratorio	Se describen el manejo del equipo, indicaciones según fabricante y el protocolo de obturación del sistema Bee Fill.	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas
30 de Agosto	8:00 – 13:00	Sistema Elements (Sybron/Kerr)	Clase magistral Práctica de Laboratorio	Se describen el manejo del equipo, indicaciones según fabricante y el protocolo de obturación del sistema Elements.	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas
06 de Setiembre	8:00 – 13:00	Sistema Fast Pack – Fast Fill (Eighteeth)	Clase magistral Práctica de Laboratorio	Se describen el manejo del equipo, indicaciones según fabricante y el protocolo de obturación del sistema Fast Pack y Fast Fill.	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas
13 de Setiembre	8:00 – 13:00	Sistema Fi - P , Fi - G (Woodpecker)	Clase magistral Práctica de Laboratorio	Se describen el manejo del equipo, indicaciones según fabricante y el protocolo de obturación del sistema Fi P y Fi G.	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas
20 de Setiembre	09:00-10:00	Examen Final	Evaluación escrita	Examen Presencial	CD. Esp. Pierre Mejia Rojas

## II.2. Análisis crítico de literatura estomatológica

### 2.2.1. Información general

Información	Descripción
Título	Estudio de Microscopia Electrónica de Barrido Comparando 3 Técnicas de Obturación para sellar la dentina al sellador biocerámico del conducto Radicular en 30 segundas premolares inferiores recientemente extraídos
Autores	Alghamdi NS. Et al.
Revista	Medical Science Monitor
Año de publicación	14-05-2023
País	Arabia Saudita
Tipo de estudio	In Vitro/ experimental
Objetivo	Determinar la técnica óptima para minimizar los espacios en el interfaz sellador – dentina.
Metodología	Treinta premolares se dividieron en 3 grupos (n = 10 cada uno) según la técnica de obturación: SCT, CLCT y CWT. Todos los grupos utilizaron el sellador de conductos radiculares biocerámico CeraSeal. Se seleccionaron muestras de raíces en los tercios apical, medio y coronal, y se realizó microscopía electrónica de barrido de alta resolución para medir gaps de las raíces marginales/internas. Los datos se analizaron mediante ANOVA unidireccional y la prueba de rango de Tukey, considerando estadísticamente $P \leq 0,05$ significativo.
Resultados	CWT mostró menos vacíos en todos los niveles, sin diferencias significativas dentro de una técnica. Entre las técnicas, la SCT tuvo los mayores gaps medias en todos los niveles [apical ( $5,43 \pm 0,16$ ), media ( $5,28 \pm 0,20$ ), coronal ( $5,73 \pm 0,24$ )], mientras que CWT tuvo los gaps medios más pequeñas [apical ( $3,02 \pm 0,19$ ), media ( $2,95 \pm 0,14$ ), coronal ( $2,76 \pm 0,15$ )]. Las diferencias de medias entre técnicas fueron estadísticamente significativas ( $P \leq 0,05$ ).
Conclusiones	La obturación CWT con el sellador de conductos radiculares CeraSeal produce menos espacios marginales en el interfaz sellador-dentina.

### 2.2.2. Calidad del reporte escrito: CRIS para estudios in vitro

Secciones	Item	Recomendación	Descripción	Página
<b>Título y resumen</b>				
Título y resumen	1a	Identifica en el título que es un estudio in vitro/laboratorio.	No, el título solo refleja lo que se quiere evaluar.	1
	1b	Resumen estructurado del diseño, métodos, resultados y conclusiones.	Sí, está estructurado según lo indicado.	1
<b>Introducción</b>				

Antecedentes y objetivos	2a	Antecedentes científicos y explicación de los motivos del estudio	Sí, representa los antecedentes referenciales y el motivo del trabajo	2
	2b	Objetivos específicos o hipótesis	Sí, Objetivos específicos	2
<b>Métodos</b>				
Intervenciones	3	La intervención para cada grupo, incluyendo cómo y cuándo se administraron realmente, tienen suficiente detalle para permitir su reproducción.	Sí, Cada grupo presenta los detalles para realizar la intervención de cada grupo	2-5
Resultados (outcomes)	4	Medidas de resultado primarias y secundarias completamente definidas, incluyendo cómo y cuándo fueron evaluadas.	Sí, se obtuvieron mediciones de los grupos con microscopía electrónica de barrido, análisis estadístico con programa Excel, y se obtuvieron los grupos que presentaron más espacios en la obturación.	6
Tamaño muestral	5	Explica cómo se determinó el tamaño muestral.	Sí, se utilizó una calculadora avanzada para determinar el tamaño de la muestra (de 0,8 de potencia a un nivel de significancia de 0.05). Es por eso que se decidió utilizar 10 piezas para cada grupo.	3
Randomización:				
Generación de la secuencia	6	Menciona el método utilizado para generar la secuencia de asignación aleatoria.	No, el estudio fue dividido en 3 grupos. No fue aleatorizado.	
Mecanismo de ocultación de la asignación	7	Indica el mecanismo usado para implementar la secuencia de asignación aleatoria (como contenedores numerados secuencialmente), descripción de las medidas adoptadas para ocultar la secuencia hasta la asignación de las intervenciones.	No aplica.	
Implementación	8	Determina quién generó la secuencia de asignación aleatoria, quién enroló las muestras y quién las asignó a la intervención.	No aplica.	
Cegamiento	9	En caso sea afirmativo, ¿indica a quién se cegó tras la asignación a las intervenciones (por ejemplo, a los profesionales sanitarios, a los que evalúan los resultados) y	No aplica.	

		cómo se hizo?		
Métodos estadísticos	10	Menciona los métodos estadísticos usados para comparar los grupos para resultados primarios y secundarios	Sí, se obtuvieron valores obtenidos de cada sección (apical, medio y coronal) de cada grupo, y los registraron en Excel. Se calculó la desviación estándar para cada valor, se utilizó ANOVA con una prueba de rango múltiple TUKEY para determinar las diferencias entre los 3 grupos estudiados. Luego el análisis estadístico se realizó transfiriendo datos al software SPSS.	5-6
<b>Resultados</b>				
Especímenes analizados	11a	Indica el número de especímenes incluidos en cada grupo de análisis.	Sí, fueron 3 grupos de 10 especímenes.	3
Resultados y estimación	11b	Describe los resultados primarios y secundarios, de cada grupo, y la magnitud estimada del efecto y su precisión (como el intervalo de confianza del 95%, valor de p, etc.)	Sí, los resultados: Grupo 1 y 2: presentaron espacios vacíos más pequeños en tercio medio, mientras que en el Grupo 3 presentaron espacios vacíos más pequeños en tercio apical. No hubo diferencias significativas en los 3 grupos a los 3 tercios evaluados.	6
<b>Discusión</b>				
Limitaciones	12a	Establece las limitaciones, abordando las fuentes de posibles sesgos, imprecisiones y, si procede, multiplicidad de análisis.	Sí, estuvo limitado por el número de técnicas investigadas y sugieren mayores estudios posteriores con técnicas de obturación utilizando calor.	11
Generalización	12b	Indicar la generalización (validez externa, aplicabilidad) de los resultados.	Sí, el estudio es replicable para realizar otros estudios. Utilizable para futuros estudios de técnicas de obturación termo plastificadas, y así poder obtener resultados confiables con estas técnicas de	

			obturación.	
Interpretación	12c	Interpretación coherente con los resultados, sopesando los beneficios y los perjuicios, y teniendo en cuenta otras pruebas pertinentes.	Sí, Resultados claros y coherentes según las técnicas evaluadas con las pruebas utilizadas.	
<b>Otra información</b>				
Protocolo	24	Indica dónde puede consultarse el protocolo completo, si está disponible	Sí, la metodología del estudio fue realizada en base a una referencia de otro estudio que lo menciona en materiales y preparación de la muestra.	3
Financiamiento	25	Menciona las fuentes de financiamiento y otras ayudas (como suministros), papel de los financiadores	No, no se menciona financiamiento.	11

### 2.2.3. Calidad metodológica del estudio: AXIS adaptada para estudios in vitro

Introducción	Sí	No	No sé	¿Por qué?	Página
1. ¿Fueron los objetivos del estudio claros?	X			Evaluaron los gaps de 3 técnicas de obturación con sellador biocerámico	2
<b>Métodos</b>					
2. ¿Fue el estudio diseñado apropiadamente para los objetivos propuestos?	X			Se basaron a estudios previos para esta evaluación	2
3. ¿Fue el tamaño de muestra justificado?	X			Fue calculado en base a un análisis con un nivel de significancia de 0.05	3
4. ¿Fueron los especímenes tomados de una población de base apropiada?	X			Los especímenes fueron premolares inferiores recientemente extraídos del servicio de Ortodoncia. Tuvieron criterios de exclusión.	3
5. ¿Fue el proceso de selección de especímenes congruente con la población de investigación?	X			Se estandarizó en base a estudio anterior mencionado en referencias.	3

6. ¿Se midieron adecuadamente los resultados de acuerdo con los objetivos del estudio?	X			Desde la selección de las muestras, la metodología fue estandarizada para la evaluación y obtención de resultados de los 3 grupos.	5
7. ¿Se midieron correctamente los resultados con el uso de instrumentos o medidas que hayan sido experimentadas, probadas o publicadas previamente?	X			Desde la determinación del tamaño muestral, las pruebas de medición fueron las adecuadas	5-6
8. ¿Está claro que se usó para determinar significancia estadística, estimadores de precisión, o ambos? (por ejemplo: valores p, intervalos de confianza)	X			Está claro, se determinó para ver diferencias entre los grupos estudiados. Se obtuvieron comparaciones entre los grupos 1 ( $p=0.219$ ), 2 ( $p=1.103$ ) y 3 ( $p=0.198$ ). No menciona Nivel de confianza, solo Nivel de significancia: $P \geq 0.05$ .	6
9. ¿Fueron los métodos (incluye métodos estadísticos) suficientemente descritos para permitir que estos sean repetidos?	X			La metodología de muestras y las pruebas estadísticas estuvieron acordes para este estudio, y sí podrían ser reproducibles para estudios posteriores.	5
<b>Resultados</b>					
10. ¿Fueron descritos adecuadamente los datos básicos?	X			La descripción de las técnicas evaluadas y la evaluación estadística fueron bien descritas y fueron representadas en tablas y gráficos de fácil lectura.	8-9
11. ¿Si es apropiado, la información de los individuos con no respuesta fue descrita?				No aplica	
12. ¿Fueron los resultados consistentes internamente?	X			Los resultados son acordes a lo que se midió en los 3 grupos. La estandarización de las muestras ayudó a la correcta medición con	5-7

				las herramientas que se usaron.	
13. ¿Fueron presentados los resultados descritos para su análisis en métodos?	X			Las pruebas realizadas, el análisis estadístico y resultados fueron descritas en la metodología.	
<b>Discusión</b>					
14. ¿Fueron las discusiones y conclusiones de los autores justificadas por los resultados?	X			En los estudios citados en la Discusión se comprobó nuevamente que la técnica de obturación termoplástica es la que menos espacios deja dentro del conducto radicular	7-10
15. ¿Fueron discutidas las limitaciones del estudio?	X			Mencionaron que el estudio estuvo limitado por el número de técnicas evaluadas, su punto fuerte fue el uso del Microscopio Electrónico de Barrido	11
<b>Otros</b>					
16. ¿Existieron algunas fuentes de financiación o conflictos de interés que puedan afectar la interpretación de los resultados por los autores?		X		No hubo conflictos de interés, ni financiamiento	11
17. ¿Se obtuvo aprobación ética o consentimiento de los participantes?	X			Se presentó solicitud al Comité de Ética y firma de consentimiento informado a los pacientes para la obtención de premolares inferiores.	2

**Adaptado de:**

1. Krithikadatta J, Gopikrishna V, Datta M. CRIS Guidelines (Checklist for Reporting In-vitro Studies): A concept note on the need for standardized guidelines for improving quality and transparency in reporting in-vitro studies in experimental dental research. J Conserv Dent. 2014;17(4):301–304.
2. Downes MJ, Brennan ML, Williams HC, et al. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). BMJ Open 2016;6:e011458.

3. Plaza-Ruiz SP. Estudios transversales analíticos. En: Barbosa-Liz DM, Pineda-Vélez EL, Agudelo-Suárez AA. Odontología basada en la evidencia: de la teoría a la práctica. Medellín: Corporación para Investigaciones Biológicas; 2020.

### II.3. Proyecto de investigación en estomatología

#### TÍTULO

Estudio in vitro de la capacidad de sellado de técnicas termoplásticas en molares inferiores.

#### RESUMEN

**Antecedentes:** El tratamiento de conducto se caracteriza inicialmente por remover los restos orgánicos e inorgánicos de todo el sistema radicular, después de una correcta desinfección y preparación biomecánica, evitando así la colonización de bacterias y tejidos periapicales a largo plazo; posteriormente se realizará la obturación hermética y tridimensional del sistema de conductos radiculares.

**Objetivo:** Comparar la capacidad de sellado de la obturación lateral ultrasónica y obturación con inyección de gutapercha termoplástica en conductos mesiales de primeros molares inferiores. **Material y Métodos:** La presente investigación se desarrollará en el paradigma cuantitativo y el diseño de estudio será de tipo *in vitro*, experimental y comparativo. Se emplearán 20 molares inferiores, 10 molares para cada grupo. Se evaluará la capacidad de sellado de 2 técnicas de obturación analizadas con tomografía computarizada.

**PALABRAS CLAVE:** ENDODONCIA, ULTRASONIDO, TOMOGRAFÍA.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de conducto empieza por remover los restos orgánicos e inorgánicos de todo el sistema radicular, después de una correcta desinfección y preparación biomecánica, evitando así la colonización de bacterias y tejidos periapicales a largo plazo; posteriormente, se realizará la obturación hermética y tridimensional del sistema de conductos radiculares, la cual se puede ver afectada por las irregularidades anatómicas y éstas pueden ocasionar espacios vacíos con bacterias remanentes que podrían poner en riesgo el tratamiento de conductos (1-3). Debido a la importancia de la obturación se puede catalogar como óptima cuando se produce un sellado correcto de la parte coronal y apical (4,5).

Algunos autores han demostrado que la mala adhesión del material de obturación puede crear vacíos en la interfaz entre la gutapercha y la dentina, facilitando así el movimiento de bacterias las cuales sobrevivieron a las etapas previas de preparación biomecánica y medicación intraconducto, las cuáles viajan hasta el tercio apical de la raíz, produciendo así una periodontitis apical (6,7,8). Para lograr una obturación de alta calidad, se deben tener en cuenta las características del material, las consideraciones anatómicas y la técnica de obturación específica que se utilizará (3,6,8,9).

Las nuevas técnicas de preparación e instrumentación han traído consigo progreso en la práctica endodóntica, provocando así que los fabricantes ofrezcan conos de gutapercha que coincidan con el diámetro de los instrumentos rotatorios de NiTi y

a su vez nuevas técnicas de obturación radicular, las cuáles garantizan la obturación de conductos sin dejar espacios y obtener así una buena adaptación del material en el conducto radicular (10-12). Algunas técnicas utilizadas son compactación lateral en frío, inyección de gutapercha termoplastificada, compactación vertical, obturación con cono único y compactación lateral con uso de ultrasonido (13-15). Entre las técnicas de obturación más utilizadas podemos encontrar la compactación lateral, la cual ha demostrado en diversos estudios que es la que presenta mayor cantidad de espacios entre la gutapercha y la pared del conducto radicular y la dentina (13,16).

Por otro lado, se encuentra la técnica de compactación vertical, la cual se modificó posteriormente incorporando la técnica de onda continua (17). En 1960 se propuso la técnica obturación termoplastificada o también llamada onda continua, la cual tuvo resultados satisfactorios en homogeneidad y alto porcentaje de éxito en obturación de conductos con gutapercha, sin embargo, esta técnica es considerada comparada con los materiales que se requieren para una obturación lateral en frío (13,18,19).

Algunas de las ventajas de utilizar técnicas de obturación termoplástica incluyen fácil manejo, bajo costo y tiempo de procedimiento corto. Entre las desventajas se encuentra la presencia de porosidades cuando se trata de grandes volúmenes, la contracción del fraguado y la disolución del material (3,6). Con respecto a la técnica propuesta por Bailey, donde utilizó la compactación lateral, y el uso de ultrasonido, en este estudio se concluyó que la obturación ultrasónica permite un mejor sellado

a nivel del conducto radicular, en comparación con la técnica convencional de compactación lateral en frío (1,12). La obturación con energía ultrasónica produce una obturación radicular más densa y homogénea, debido a que se activa en seco, lo que hace que la fricción genere calor, plastificando la gutapercha para así, obtener la obturación termoplastificada. Esto se debe a que durante la obturación la gutapercha mostró mejor adaptación en el conducto y obturaciones más homogéneas especialmente en aquellos casos con irregularidades significativas. Además, se identificó que la temperatura de la compactación con ultrasonido a nivel del ligamento periodontal es de 10°, lo cual no se considera nocivo para este (13,20,21,22).

Actualmente para lograr la obturación completa del conducto radicular y lograr resultados óptimos, se utilizan espaciadores activados con ultrasonido para la condensación lateral con conos de gutapercha. Los espaciadores al ser activados vibran linealmente y producen calor, reblandeciendo así la gutapercha, logrando una masa más homogénea con disminución en el número y tamaño de los espacios y, por lo tanto, produciendo una obturación tridimensional del conducto radicular (18,23). Para observar los resultados óptimos de obturación en endodoncia se han utilizado varios métodos evaluación y análisis en los que podemos encontrar: las radiografías convencionales, radiografías digitales, los radioisótopos, la penetración de colorantes, análisis microscópico y tomografía computarizada (CBCT) (24). Las radiografías convencionales fueron descubiertas e incorporadas a la odontología por Kels en 1895, dando inicio así al diagnóstico y tratamiento a partir de éstas imágenes sin embargo, estas radiografías bidimensionales no son

suficientes para un buen diagnóstico (25).

Por otra parte, la tomografía computarizada (CBCT) ha existido desde 1980 y se utiliza actualmente en odontología por la capacidad de mostrar imágenes tridimensionales (3D); estas imágenes nos permiten diagnósticos más precisos, planeación de tratamientos, e identificación de áreas que presentan fallas o vacíos de obturación radicular especialmente en conductos mesiales curvos o estrechos, también podemos observar el tipo de morfología del conducto radicular, y la eficiencia de la preparación de conductos (4,26,27). Además, ésta tomografía nos dará la medición del volumen del material presente en el conducto radicular (24,27). La imagen de CBCT comparada con secciones histológicas, puede capturar con precisión la morfología tridimensional (3D) del conducto y el material de obturación (13); por ello, la pregunta de investigación es: ¿Cuál es In Vitro la capacidad de sellado de la obturación lateral ultrasónica y la técnica de obturación con inyección de gutapercha termoplastificada en conductos mesiales de primeros molares inferiores?

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar in vitro de la capacidad de sellado de la obturación lateral ultrasónica y obturación con inyección de gutapercha termoplastificada en conductos mesiales de primeros molares inferiores.

## **Objetivos específicos**

1. Comparar el área obturada con la obturación lateral ultrasónica y obturación de inyección de gutapercha termoplastificada, en tercio apical de conductos mesiales de molares inferiores.
2. Comparar el volumen del sellado con la obturación lateral ultrasónica y obturación de inyección de gutapercha termoplastificada, en tercio apical de conductos mesiales de molares inferiores.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Tipo de estudio**

Experimental in vitro

### **Muestra**

Se utilizará raíces mesiales de primeras molares inferiores donadas por el Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia que cumplan los criterios de inclusión para lo cual se adjunta la carta de donación otorgada al Servicio (Anexo 2). Se realizará un estudio piloto basados en el artículo base de Talamantes-Ramírez JC (1) para determinar el tamaño de muestra asumiendo un nivel de confianza de 95%. Los grupos de estudio

serán:

Grupo 1: Obturación Lateral Ultrasónica con puntas de ultrasonido (NSK)

Grupo 2: Obturación con gutapercha plastificada (Bee Fill 2nen 1)

### **Criterios de selección**

#### Criterios de inclusión

- Dientes multirradiculares
- Dientes con paredes de la cámara pulpar intacta.
- Raíces mesiales con curvatura según la técnica de schneider con curvatura menor de 30°
- Longitud de raíces estandarizadas a 16 mm

#### Criterios de exclusión

- Raíces mesiales de molares con ápices abiertos.
- Raíces mesiales de molares fracturadas.
- Raíces mesiales de molares calcificadas, haciendo la verificación radiográfica.

### **Definición operacional de variables (Anexo 1)**

Técnicas de obturación: Colocación de material de relleno (gutapercha) dentro del conducto radicular. La variable es de tipo cualitativo, la escala nominal. Las categorías son: Obturación lateral ultrasónica y obturación con inyección de

gutapercha.

Capacidad de Sellado: Bloqueo hermético y tridimensional del conducto radicular después de su limpieza y conformación.

Variable que presenta dos dimensiones:

- Área obturada: Diferencia del área total final menos el área total inicial.

Variable cuantitativa, continua en escala de razón y se expresarán en  $\text{mm}^2$

- Volumen obturado: Diferencia del volumen total final menos el volumen total inicial. Variable cuantitativa, continua en escala de razón. Los valores se expresarán en  $\text{mm}^3$

## **Técnicas y procedimientos**

### Piloto

Se realizará la calibración inter e intra examinador con un especialista en Radiología, que acredita 5 años de experiencia y el investigador, experto en el manejo del Roemexis software Planmeca scanner CBCT, para lo cual se confeccionará 03 maquetas de silicona pesada de 5.5 cm de largo por 3 cm de ancho donde se colocarán 04 piezas dentarias por maqueta. Se realizará un escaneado de prueba de una de las bases de silicona, luego se procederá a realizar la calibración del operador, y así luego evaluar la pre y post-obturación de los conductos radiculares de las muestras, en las cuales se medirá las áreas totales obturadas y de la tomografía de post-obturación se reconstruirá y se medirá el volumen obturado a en el tercio apical, obteniendo los resultados finales en  $\text{mm}^2$  y en  $\text{mm}^3$

respectivamente. Para proceder con el desarrollo de la investigación se espera encontrar una concordancia superior a 0.90%.

#### Selección y preparación de la muestra

Se seleccionarán raíces mesiales de primeros molares inferiores recientemente extraídos donadas por el Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial del Centro Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, y serán sumergidas en una solución salina al 0.9% hasta el momento de la preparación. Se iniciarán las aperturas camerales con una fresa redonda diamantada de alta velocidad y la ampliación de la cámara se realizará con una fresa EndoZ. Luego se realizará la amputación de la raíz distal con discos de carborundum a 2 mm de la furcación, pues no formarán parte del estudio. Los dientes serán desgastados en su parte coronal hasta obtener una longitud estandarizada de 16 mm desde el borde cortado hasta el ápice anatómico en todas las piezas.

Se colocarán limas tipo K Nro. 06, 08 y 010 para permeabilizar los conductos mesiales, se accionarán con un contraángulo 4:1 (Sybron Endo) las longitudes de trabajo serán determinadas introduciendo una lima K Nro. 10 hasta el foramen y luego disminuyendo 1 mm. Posteriormente se tomarán radiografías respectivas en sentido mesiodistal y bucolingual para corroborar la continuidad de los conductos radiculares. Luego las raíces serán fijadas a una superficie plana alineadas entre sí en un molde de plástico previamente llenado de silicona pesada, para mantener un grupo homogéneo. Se realizará el primer escaneo tomográfico pre-instrumentación.

Posteriormente, se realizarán las preparaciones biomecánicas en las muestras, éstas se prepararán manualmente con limas K-Flexofile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Suiza) a un tamaño correspondiente a limas 20, luego serán instrumentados por instrumentos rotatorios Hyflex EDM (Coltene/Whaledent) con una secuencia 25/.12, seguido de la 10/.05 hasta un tamaño apical de 25 / - Instrumento único. La permeabilidad se mantendrá utilizando limas K-file de tamaño 10. Los canales se irrigarán con 3 ml de hipoclorito de sodio al 2.5% después del uso de cada instrumento con una aguja de salida lateral de calibre 27 (jeringa de irrigación endodóntica con aguja, Monoject, Covidien, Mansfield, MA, EE. UU.).

Antes de la obturación, los canales se irrigarán con 5 ml de hipoclorito de sodio y 5 ml de ácido etilendiaminotetraacético al 17% (EDTA). Luego se secará los conductos con conos de papel. Las muestras se separarán en dos grupos para la obturación, utilizando las técnicas de condensación lateral ultrasónica e inyección con gutapercha termoplastificada.

*Grupo 1: Obturación lateral ultrasónica:*

Se seleccionará un cono de gutapercha maestro, ajustado a la longitud de trabajo, con conos accesorios se insertarán y compactarán con el espaciador manual y se usará un instrumento de níquel-titanio de lados lisos (punta ultrasónica (NSK E-4) en el ajuste de potencia más bajo usando un equipo ultrasónico. La punta ultrasónica se hundirá gradualmente de forma apical hasta 2 - 3mm de la longitud de trabajo. Otros conos accesorios se insertarán, primero con un espaciador en frío, y luego usando el instrumento activado ultrasónicamente. La técnica fue similar a la

descrita por Bailey y cols. (2004)

*Grupo 2: Obturación con gutapercha termoplastificada:*

Esta técnica de obturación requiere el uso de conos cónicos no estandarizado como 25. Se seleccionará el condensador manual rojo de Machtou, se trabajará de forma pasiva en el tercio apical. Se activará el condensador con calentamiento eléctrico y se cortará el cono maestro a 3 – 5 mm antes de la LT, se utilizará un condensador manual más pequeño y se presionará mediante movimientos circulares breves y firmes por todos los conductos, luego de hacer el tapón apical se introducirá la cánula caliente (backfill) dentro de los conductos y se activará en pequeñas porciones la gutapercha caliente (180<sup>0</sup> C) y se compactará con el condensador manual rojo con movimientos circulares firmes.

Escaneo con CBCT

Posteriormente, los bloques de silicona con las piezas serán digitalizadas en un tomógrafo Planmeca scanner CBCT, que permitirá obtener imágenes con un voxel isotrópico de 75 µm. Se usará un voltaje de rayos X y operará a 70 kV, 10 mA, serán 15 segundos de exposición con rotación de 360°, las imágenes resultantes se analizarán y serán reconstruidas en su propio software (Roemexis software v. 4.4.1) para obtener registros 3D posteriores a la obturación de cada espécimen.

Medición de resultados

Las imágenes se analizarán y se reconstruirán con el software Planmeca Roemexis v. 4.4.1 (Planmeca, Helsinki, Finlandia) utilizando el algoritmo de reconstrucción

de haz cónico Feldkamp modificado. Las imágenes originales en escala de grises se procesarán para la reducción de artefactos utilizando un algoritmo de reducción bajo y así evaluar el área total obturada mediante herramientas de medición del propio software, para luego reconstruir y analizar el volumen total obturado en el tercio apical de los conductos obturados.

### **Plan de análisis**

Se realizará una estadística descriptiva obteniendo media y desviación estándar de las áreas obturadas de los conductos radiculares de las piezas dentarias. Se realizará una estadística inferencial luego de realizar la prueba de normalidad Shapiro Wilks y de varianzas homogéneas mediante lo cual se optará por una prueba paramétrica tipo T- Student o una prueba no paramétrica como U Mann Whitney con la finalidad de comparar los resultados entre ambas técnicas de obturación con STATA v. 17.0, con un nivel de confianza de 95% y un  $p < 0.05$ .

### **Consideraciones éticas**

Los procedimientos experimentales que se realizarán en este estudio serán revisados y aprobados por el Comité de Ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia previo a la ejecución del estudio. Las piezas dentarias serán donadas por el Servicio de Cirugía Oral y Maxilofacial de la Clínica Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, para lo cual se adjunta la carta de donación otorgada por el Servicio, el investigador no tendrá contacto con las personas que

donarán las piezas dentarias. (Anexo 2) El investigador no presenta conflictos de interés con ninguna de las marcas comerciales de los sistemas de obturación que se utilizarán en el estudio.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Talamantes-Ramírez JC, Soriano-León PS, Flores-Camacho NE, Vázquez-Rodríguez EM. Comparación del sellado apical: Obturación lateral con ultrasonido VS Obturación con inyección de gutapercha termoplastificada. *Revista Electrónica Medicina, Salud y Sociedad*. 2015 May-Ago;5(3):198-208.
2. Guimaraes BM, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, Marciano MA, de Andrade FB, Duarte MA. Influence of ultrasonic activation of 4 root canal sealers on the filling quality. *J Endod*. 2014 Jul;40(7):964-8.
3. Iglecias EF, Freire LG, Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod*. 2017 Apr;43(4):638-42.
4. 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;43(9):1559-64.
5. Tsesis I, Goldberger T, Taschieri S, Seifan M, Tamse A, Rosen E. The dynamics of periapical lesions in endodontically treated teeth that are left without intervention: a longitudinal study. *J Endod*. 2013 Dec;39(12):1510-5.

6. Kim S, Kim S, Park JW, Jung Y, Shin SJ. Comparison of the Percentage of Voids in the Canal Filling of a Calcium Silicate-Based Sealer and GuttaPercha Cones Using Two Obturation Techniques. *Materials* (Basel). 2017 Oct;10(10):1170.
7. Gambarini G, Piasecki L. In vitro evaluation of carrier based obturation technique: a CBCT study. *Ann Stomatol*. 2016 Jul; 7(1-2): 11-15.
8. Grossman L. *Práctica endodóntica*. 13a. Edición. India: Wolters Kluwer Health India; 2014.
9. Schafer E, Schrenker C, cand med dent, Zupanc J, cand med dent, Burklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *J Endod*. 2016 Feb;42(2):294-8.
10. Faus-Llacer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, et al. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: in vitro study. *J Clin Exp Dent*. 2015 Apr;7(2):e299–303.
11. Rossetto DB, Fernandes SL, Cavenago BC, Hungaro Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Bombarda de Andrade F. Influence of the Method in Root Canal Filling Using Active Lateral Compaction Techniques. *Braz Dent J*. 2014;25(4):295-301.
12. Shan Ho ES, Chang JWW, Cheung GSP. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod*. 2016 Feb;41(1):22-28.

13. Schafer E, Koster M, Burklein S. Percentage of gutta-percha filled areas in canals instrumented with NiTi systems and obturated with matching single cones. *J Endod.* 2013 Jul;39(7):924–8.
14. Yilmaz A, Kucukay IK. In vitro comparison of gutta-percha-filled area percentages in root canals instrumented and obturated with different techniques. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017 Apr;51(2):37-42.
15. Gupta R, Dhingra A, Panwar NR. Comparative Evaluation of Three Different Obturating Techniques Lateral Compaction, Thermafil and Calamus for Filling Area and Voids Using Cone Beam Computed Tomography: An Invitro study. *J Clin Diagn Res.* 2015 Aug;9(8):15-7.
16. Libonati A, Montemurro E, Nardi R, Campanella V. Percentage of Gutta-percha-filled Areas in Canals Obturated by 3 Different Techniques with and without the Use of Endodontic Sealer. *J Endod.* 2018 Mar;44(3):506-9.
17. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Properties of a novel polysiloxane-guttapercha calcium silicate-bioglass-containing root canal sealer. *Dent Mater.* 2016 May;32(5):e113–26.
18. Schafer E, Koster M, Burklein S. Percentage of Gutta-percha-filled Areas in Canals Instrumented with Nickel-Titanium Systems and Obturated with Matching Single Cones, *J Endod.* 2013 Jul;39(7):924-8.
19. Bailey GC, Cunnington SA, Ng YL, Gulabivala K, Setchell DJ. Ultrasonic condensation of gutta-percha: the effect of power setting and activation time on temperature rise at the root surface – an in vitro study. *Int Endod J.* 2004 Jul;37(7):447-54.

20. Sakamoto M, Siqueira JF Jr, Rocas IN, Benno Y. Molecular analysis of the root canal microbiota associated with endodontic treatment failures. *Oral Microbiol Immunol.* 2008 Aug;23(4):275-81.
21. ElAyouti A, Achleithner C, Löst C, Weiger R. Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *J Endod.* 2005 Sep;31(9):687–90.
22. Valdivia JE, Machado MEL. Onda ultrassônica de termoplastificação da obturação pela técnica segmentada. *Full Dent Sci.* 2018; 9(35):135-43.
23. Celikten B, Jacobs R, Vasconcelos KD, Huang Y, Ferreira L, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artifact in Filled Root Canals Using Different Cone-beam Computed Tomographic Devices. *J Endod.* 2017 Sep;43(9):1517-21.
24. Singh R, Chaudhary S, Manuja N, Chaitra TR, Sinha AA. Evaluation of Different Root Canal Obturation Methods in Primary Teeth Using Cone Beam Computerized Tomography. *J Clin Pediatr Dent.* 2015;39(5):462-9.
25. Ahluwali Y, Sharma U, Kumar N, Malik A, Singh A, Narayan A. Adaptation of Single-Cone Gutta-Percha in Curved Canals Prepared and Obturated with Protaper and Heroshaper Systems by Using Cone Beam Computed Tomography. *J Int Soc Prev Community Dent* 2019 Mar-Apr;9(2):185-93.
26. Vasconcelos RA, Camargo CH, Cavalcanti BN, Manhães LR Jr.,Gonçalves SH. Adaptation of gutta percha to oval canals: A conebeam computed tomographic analysis. *Gen Dent.* 2017 May-Jun;65(3):e13-e7.
27. Schafer E, Schrenker C, cand med dent, Zupanc J, cand med dent, Burklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *J Endod* 2016 Febr;42(2):294-8.

## **PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA**

### **Presupuesto**

#### Recursos Financieros:

Material bibliográfico	200.00
Instrumentos de estudio	6000.00
Muestras	300.00
Tomografías	1000.00
Servicios complementarios	400.00

-----  
S/. 7900.00

## Cronograma

<b>ACTIVIDADES</b>							
<b>FASE DE PLANEACIÓN</b>	Revisión del protocolo	X					
	Presentación a autoridades	X					
	Recolección de la muestra	X					
	Capacitación del examinador	X					
	Calibración del examinador	X					
	Prueba del instrumento de medición	X					
<b>FASE DE EJECUCIÓN</b>	Recolección de datos		X				
	Codificación y almacenamiento de los datos		X				
	Verificación de datos ingresados			X			
	Análisis e interpretación				X		
<b>FASE DE DIVULGACIÓN</b>	Redacción del informe final					X	
	Impresión de tesis					X	
	Sustentación						X

## ANEXOS

### Anexo 1. Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Definición Operacional	Indicador	Tipo	Escala	Valor/Categoría
Técnicas de obturación	Conjunto de Procedimientos que se utilizan para el sellado del conducto radicular	-	Colocación de material de relleno (gutapercha) dentro del conducto radicular.	Equipo utilizado	Cualitativa	Nominal	Obturación lateral ultrasónica Obturación con inyección de gutapercha
Capacidad de Sellado	Bloqueo hermético y tridimensional del conducto radicular después de su limpieza y conformación	Área Obturada	Diferencia del área total final menos el área total inicial	Roemexis software, Planmeca scanner CBCT.	Cuantitativa	Razón	mm <sup>2</sup>
		Volumen Obturado	Diferencia del volumen total final menos el volumen total inicial	Roemexis software, Planmeca scanner CBCT.	Cuantitativa	Razón	mm <sup>3</sup>

## Anexo 2. Carta de solicitud de donación de piezas dentarias

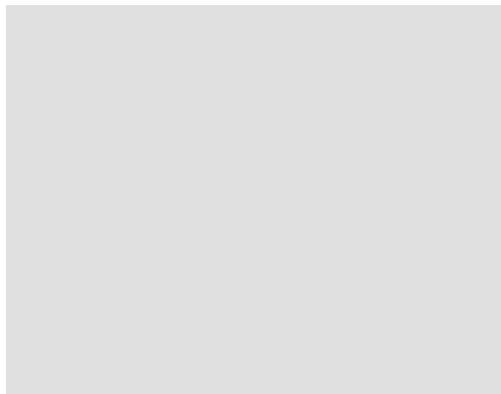
Lima, 10 de Setiembre de 2023

Doctor  
José Chavez  
Director clínico  
Centro Dental Docente  
Universidad Peruana Cayetano Heredia.  
Presente.-

Yo, Pierre Alfredo Mejia Rojas, con DNI no. [REDACTED], alumno de la Maestría en Estomatología con mención en Endodoncia, solicito a usted me conceda donación de primeras molares, los cuales serán extraídos por condiciones terapéuticas ajenas al estudio, con el fin de llevar a cabo mi trabajo de investigación: **"ESTUDIO IN VITRO DE LA CAPACIDAD DE SELLADO DE TÉCNICAS TERMOPLÁSTICAS EN MOLARES INFERIORES"** como requisito para la obtención del grado académico, manifestando el compromiso de manejar de manera correcta y con la confidencialidad correspondiente la información obtenida.

Agradeciendo de antemano su colaboración para el desarrollo de este proyecto de investigación, me despido,

Atentamente,



### **III. CONCLUSIONES**

Del presente trabajo de investigación se concluye que:

1. El silabo nos permite abordar temas de manera ordenada, siguiendo una estructura y así se puede lograr que las clases sean más didácticas y de mejor entendimiento para los estudiantes.
2. El poder realizar un análisis crítico de literatura estomatológica nos permite interpretar la metodología de desarrollo, la calidad de cada artículo científico que podamos encontrar, así como posibles sesgos y posibles errores en la muestra durante la elaboración de una investigación.
3. Con este proyecto de investigación se quiere determinar la capacidad de sellado de técnicas termoplásticas en molares inferiores, debido a que no existen muchos estudios que se realicen en este tipo de piezas dentarias, y se espera que sea de aporte para la sociedad.

#### **IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Ahluwali Y, Sharma U, Kumar N, Malik A, Singh A, Narayan A. Adaptation of Single-Cone Gutta-Percha in Curved Canals Prepared and Obturated with Protaper and Heroshaper Systems by Using Cone Beam Computed Tomography. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2019 Mar-Apr;9(2):185-93.
2. Berutti E, Gagliani M. *Manual de endodoncia.* España: Amolca; 2017.
3. Berman LH, Hargreaves KM. *Cohen's pathways of the pulp.* 12th. ed. Elsevier. St. Louis Missouri; 2021.
4. Bailey GC, Cunnington SA, Ng YL, Gulabivala K, Setchell DJ. Ultrasonic condensation of gutta-percha: the effect of power setting and activation time on temperature rise at the root surface – an in vitro study. *Int Endod J.* 2004 Jul;37(7):447-54.
5. Canalda SC, Brau AE. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.* 4ta. ed. España: Elsevier Health Sciences; 2019.
6. Celikten B, Jacobs R, Vasconcelos KD, Huang Y, Ferreira L, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artifact in Filled Root Canals Using Different Cone Beam Computed Tomographic Devices. *J Endod.* 2017 Sep;43(9):1517-21.
7. ElAyouti A, Achleithner C, Löst C, Weiger R. Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *J Endod.* 2005 Sep;31(9):687–90.
8. Faus-Llacer V, Collado-Castellanos N, Alegre-Domingo T, et al. Measurement of the percentage of root filling in oval-shaped canals obturated with Thermafil Obturators and Beefill 2in1: in vitro study. *J Clin Exp Dent.* 2015 Apr;7(2):e299–e303.

9. Gambarini G, Piasecki L. In vitro evaluation of carrier based obturation technique: a CBCT study. *Ann Stomatol*, 2016 Jul;19 7(1-2): 11-5.
10. 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;43(9):1559-64.
11. Guimaraes BM, Amoroso-Silva PA, Alcalde MP, Marciano MA, de Andrade FB, Duarte MA. Influence of ultrasonic activation of 4 root canal sealers on the filling quality. *J Endod*. 2014 Jul;40(7):964-8.
12. Grossman L. *Práctica endodóntica*. 13a. Edición. India: Wolters Kluwer Health India; 2014.
13. Iglecias EF, Freire LG, Miranda Candeiro GT, Dos Santos M, Antoniazzi JH, Gavini G. Presence of Voids after Continuous Wave of Condensation and Single-cone Obturation in Mandibular Molars: A Micro-computed Tomography Analysis. *J Endod*. 2017 Apr;43(4):638-42.
14. Kim S, Kim S, Park JW, Jung Y, Shin SJ. Comparison of the Percentage of Voids in the Canal Filling of a Calcium Silicate-Based Sealer and GuttaPercha Cones Using Two Obturation Techniques. *Materials (Basel)*. 2017 Oct;10(10):1170.
15. Libonati A, Montemurro E, Nardi R, Campanella V. Percentage of Gutta-percha-filled Areas in Canals Obturated by 3 Different Techniques with and without the Use of Endodontic Sealer. *J Endod*. 2018 Mar;44(3):506-9.
16. Lima Machado ME. *Endodoncia Ciencia y Tecnología*. 3 Tomos. Caracas, Venezuela: Amolca; 2016.
17. Rossetto DB, Fernandes SL, Cavenago BC, Hungaro Duarte MA, Ordinola-

Zapata R, Bombarda de Andrade F. Influence of the Method in Root Canal Filling Using Active Lateral Compaction Techniques. *Braz. Dent. J.* 2014 Jul; 25(4):295-301.

18. Sakamoto M, Siqueira JF Jr, Rocas IN, Benno Y. Molecular analysis of the root canal microbiota associated with endodontic treatment failures. *Oral Microbiol Immunol.* 2008 Aug;23(4):275-81.

19. Singh R, Chaudhary S, Manuja N, Chaitra TR, Sinha AA. Evaluation of Different Root Canal Obturation Methods in Primary Teeth Using Cone Beam Computerized Tomography. *J Clin Pediatr Dent.* 2015;39(5):462-9.

20. Shan Ho ES, Chang JWW, Cheung GSP. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod.* 2016 Feb;41(1):22-28.

21. Schafer E, Schrenker C, Zupanc J, Burklein S. Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique. *J Endod.* 2016 Feb;42(2):294-8.

22. Schafer E, Koster M, Burklein S. Percentage of gutta-percha filled areas in canals instrumented with NiTi systems and obturated with matching single cones. *J Endod.* 2013 Jul;39(7):924-8.

23. Talamantes-Ramírez JC, Soriano-León PS, Flores-Camacho NE, Vázquez-Rodríguez EM. Comparación del sellado apical: Obturación lateral con ultrasonido vs Obturación con inyección de gutapercha termoplastificada. *Revista Electrónica Medicina, Salud y Sociedad.* 2015 May-Ago;5(3):198-208.

24. Tsesis I, Goldberger T, Taschieri S, Seifan M, Tamse A, Rosen E. The dynamics of periapical lesions in endodontically treated teeth that are left without intervention: a longitudinal study. *J Endod.* 2013 Dec;39(12):1510-5.
25. Valdivia JE, Machado MEL. Onda ultrassônica de termoplastificação da obturação pela técnica segmentada. *Full Dent Sci.* 2018; 9(35):135-43.
26. Vasconcelos RA, Camargo CH, Cavalcanti BN, Manhães LR Jr, Gonçalves SH. Adaptation of gutta percha to oval canals: A Cone Beam computed tomographic analysis. *Gen Dent.* 2017 May-Jun;65(3):e13-e7.
27. Yilmaz A, Kucukay IK. In vitro comparison of gutta-percha-filled area percentages in root canals instrumented and obturated with different techniques. *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2017 Apr;51(2):37-42.

## V. ANEXOS

### Anexo 1. Artículo empleado para el análisis crítico de literatura estomatológica



Received: 2023.04.01  
Accepted: 2023.04.24  
Available online: 2023.04.28  
Published: 2023.05.14

**CLINICAL RESEARCH**

e-ISSN 1643-3750  
© Med Sci Monit, 2023; 29: e940599  
DOI: 10.12659/MSM.940599

## A Scanning Electron Microscopy Study Comparing 3 Obturation Techniques to Seal Dentin to Root Canal Bioceramic Sealer in 30 Freshly Extracted Mandibular Second Premolars

**Authors' Contributions:**  
Study Design A  
Data Collection B  
Statistical Analysis C  
Data Interpretation D  
Manuscript Preparation E  
Literature Search F  
Funds Collection G

**ABEFG 1 Nuha S. Alghamdi**  
**ABCEG 2 Ruaa A. Alamoudi**   
**ABDEG 1 Suheel Manzoor Baba**   
**ACDEF 3 Khurshid Mattoo**  
**BDEF 4 Rushdiyah H. Abu Hawi**  
**BDEF 4 Wejdan Nasser Ali**  
**ABCDEF 4 Nouf Mohammed Hassan Almadhlami**  
**BCEF 4 Alya Mohammed Ahmed Lahiq**

1 Department of Restorative Dental Sciences, College of Dentistry, King Khalid University, Abha, Saudi Arabia  
2 Endodontic Department, Faculty of Dentistry, King Abdul-Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia  
3 Prosthetic Dental Sciences, College of Dentistry, Jazan University, Jazan, Saudi Arabia  
4 Dental Graduates, College of Dentistry, King Khalid University, Abha, Saudi Arabia

**Corresponding Author:** Suheel Manzoor Baba, e-mail: baba@kku.edu.sa  
**Financial support:** None declared  
**Conflict of interest:** None declared

**Background:** Obturation is a crucial step in dentistry, involving the filling and sealing of a prepared root canal with sealer and core material to prevent bacterial invasion and ensure successful treatment. This study employed scanning electron microscopy to compare the effectiveness of 3 obturation techniques – single-cone technique (SCT), cold lateral compaction technique (CLCT), and continuous-wave technique (CWT) – in sealing dentin to recently introduced root canal bioceramic sealer in 30 extracted mandibular second premolars. The goal was to determine the optimal technique for minimizing gaps at the sealer-dentin interface.

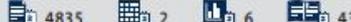
**Material/Methods:** Thirty premolars were divided into 3 groups (n=10 each) based on obturation technique: SCT, CLCT, and CWT. All groups used CeraSeal bioceramic root canal sealer. Root samples were sectioned at apical, middle, and coronal thirds, and high-resolution scanning electron microscopy was performed to measure marginal/internal gaps. Data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey range test, with  $P \leq 0.05$  considered statistically significant.

**Results:** CWT showed fewer voids at all levels, with non-significant differences within a technique. Among the techniques, SCT had the largest mean gaps at all levels [apical ( $5.43 \pm 0.16$ ), middle ( $5.28 \pm 0.20$ ), coronal ( $5.73 \pm 0.24$ )], while CWT had the smallest mean gaps [apical ( $3.02 \pm 0.19$ ), middle ( $2.95 \pm 0.14$ ), coronal ( $2.76 \pm 0.15$ )]. The differences in means between techniques were statistically significant ( $P \leq 0.05$ ).

**Conclusions:** CWT obturation with CeraSeal root canal sealer produces fewer marginal gaps at the sealer-dentin interface.

**Keywords:** Calcibiotic Root Canal Sealer • Endodontics • Regenerative Endodontics • Root Canal Filling Materials • Root Canal Obturation

**Full-text PDF:** <https://www.medscimonit.com/abstract/index/idArt/940599>

 4835  2  6  43



Publisher's note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) **e940599-1** Indexed in: [Current Contents/Clinical Medicine] [ISI Expanded] [ISI Alerting System] [ISI Journals Master List] [Index Medicus/MEDLINE] [EMBASE/Excerpta Medica] [Chemical Abstracts/CAS]

## Background

Endodontic treatment of deciduous or permanent natural teeth, either in unison with the patient's current treatment requirement or as part of multidisciplinary referrals, is a common dental treatment, with the primary objective being to save the natural tooth from removal. One of the most defining clinical steps that determine the long-term success of endodontic treatment of any tooth is root canal obturation. Obturation is basically a method of filling that includes sealing of a root canal that was prepared accordingly, and the seal is obtained using a root canal sealer and core material. Hermetic seal is a term that has been synonymous for obturation goals for a long time, which in contemporary current practice has been replaced by the terms fluid-impervious and/or bacteria-tight seal [1,2]. The primary goal of canal obturation is to plug and cover the endodontic space in 3 dimensions (3D) so as to prevent regress/relapse/reinfection of microorganism within the canal [3]. The associated pain in such cases is a useful indicator of disease but takes long time to develop, which makes obturation a critical clinical step to prevent such failure. Gutta-percha (a tree, genus *Palaquium* in the family Sapotaceae) in conjunction with a root canal sealer (RCS) are the 2 major components of canal obturation. The gutta-percha cone, either single or multiple, essentially forms the core, while they may be adhesively or cohesively joined together and/or to the dentin surface by an RCS and/or application of chemicals/heat. Traditional techniques of heat applied to soften and bond the gutta-percha cones inadvertently affect the physical properties of gutta-percha cones while at the same time rendering RCS unstable and affecting its biocompatibility [4,5]. Gutta-percha cones (natural thermoplastic latex) cannot bond to the dentin surface or between cones, which is why endodontic sealers have to be used to enhance the connection between additional cones and the dentinal surface. In doing so, they form an attachment complex between gutta-percha cones and also seal the dentinal tubular surface along with any accessory root canal present within the canal [6,7]. Marginal and/or surface gap within an obturated canal between the inner dentinal surface and the RCS can lead to treatment failure through reinfection; therefore, close adherence of sealer to dentine is also mandatory [8]. Efficient root canal cleaning/shaping does not preclude the absence of infection within the canal, and 30% of cases have been reported to have persistent infection [9].

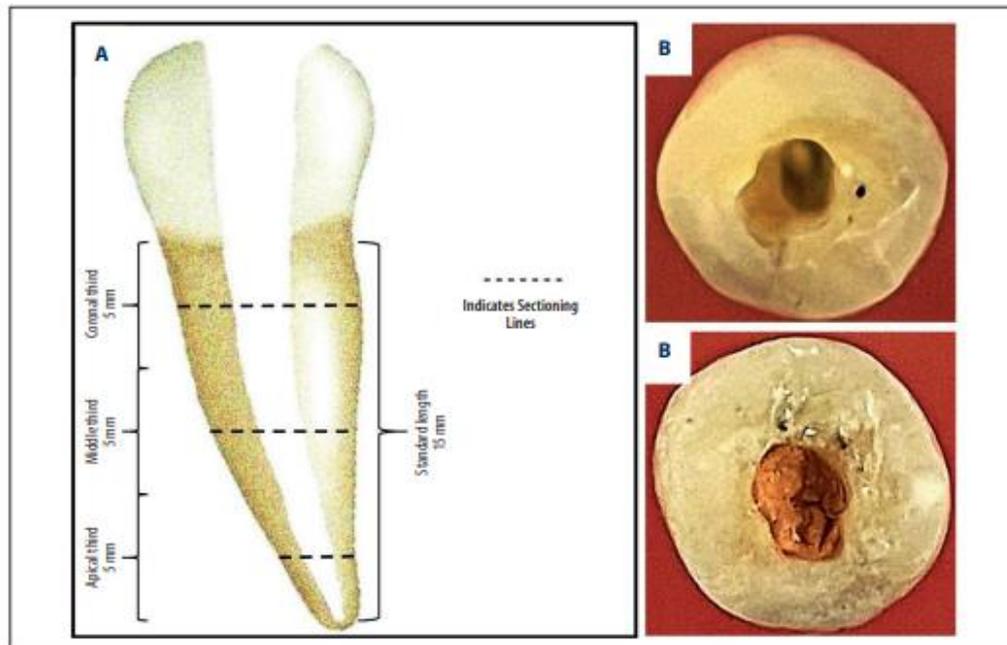
RCS thus serves the primary function of being a lubricant for gutta-percha that plugs vacuums (spaces) while allowing the whole complex to also fill accessory root canals that cannot be obturated conventionally using gutta-percha. To achieve an attachment between a non-binding core (gutta-percha) on 1 side and a consistently damp dentin surface, various RCS materials have evolved. Zinc oxide eugenol was the first material used, followed by resin-based (epoxy), cements (glass ionomer), silicones, and the more recent bioceramic calcium

silicate-based sealers (CSBS) [10]. Bioceramic sealers are inorganic, nonmetallic, and biocompatible materials that have mechanical properties similar to dental hard tissues. Being chemically stable and noncorrosive they interact well with the organic tissue. Newer bioceramic sealers possess very high bond strength with dentin walls through the formation of hydroxyapatite crystals [11]. Progress in development of RCS brought multiple different obturation clinical techniques (e.g., single/multiple cones, chemo- and thermo-plasticized, lateral/vertical compaction, apical barrier) to produce the best possible non-leakage seal within the root canal obturation complex. Some basic techniques (e.g., lateral compaction) have been adapted (warm and cold) for use in different clinical situations. The widely-used cold lateral compaction technique (CLCT) provides a standard for comparison of other obturation techniques [12]. The technique traditionally uses a core of gutta-percha with zinc oxide eugenol RCS, which necessitates extra clinical time and clinician effort [13]. Conversely, the single-cone technique (SCT) is more convenient, requires less clinical time, and has better canal wall adaptation [14], which is based on core cones equivalent in size and taper to the corresponding instrumentation files. The continuous-wave down technique (CWDT) or CWT utilizes specific customized instruments that allow a heat carrier to soften the gutta-percha core mass. With heat carrier moving apically, the gutta-percha is forced laterally to eliminate canal irregularities. CeraSeal (Meta Biomed, Cheongju-si, Korea) is a recently developed 1-paste system bioceramic root canal sealer that contains primarily calcium silicate (tricalcium silicate-based) and zirconium oxide. The sealer claims to have no shrinkage, is bioactive (biomineralization), and has high flow and adhesive ability, thus making it a promising new RCS. Since gutta-percha is inherently hydrophobic, any sealer is likely to pull away from gutta-percha once the material sets. This shrinkage in the sealer creates marginal gaps. Therefore, marginal adaptation measurement of CeraSeal RCS for the 3 above-mentioned techniques can provide a high-quality obturation method. Therefore, the present scanning electron microscopy study aimed to compare 3 obturation techniques (SCT, CLCT, and CWT) to seal dentin to the root canal using a recently-introduced bioceramic sealer (CeraSeal) in 30 freshly extracted mandibular second premolars. We hypothesized that there will be differences between the 3 techniques. Alternatively, the null hypothesis states that there will no differences between 3 techniques when using a CeraSeal RCS.

## Material and Methods

### Ethics

The current *in vitro* study was conceptualized after a literature review, following which a research proposal was submitted and duly approved (approval no IRB/KKUCOD/ETH/2021-22/019) by



**Figure 1.** (A) Schematic depiction of the specimen measurements and their planned sections. (B) An exemplary specimen showing access cavity preparation. (C) An exemplary specimen showing the completed obturation. Figure created using MS PowerPoint, version 20H2 (OS build 19042.1466), Windows 11 Pro, (Microsoft corporation).

the Committee on Research Ethics of the College of Dentistry and the affiliated university (King Khalid University, Saudi Arabia). The extracted teeth used in the study were obtained from the patients who had consented for their extraction as part of their dental treatment.

### Study Design

This ex vivo study was conducted between the first and third quarter of the year 2022. The study design was experimental, in which intervention in the form of the canal obturation was done on natural extracted teeth followed by storage, sectioning, and evaluation by scanning electron microscopy.

### Sample Selection and Preparation

Calculated sample size for the measures was based on a power analysis [power of 0.8 at significance level of 0.05 ( $\beta=0.2$ )]. The sample size accordingly was decided to be 10 teeth per group. Freshly extracted teeth stored (formalin-dipped) in the Department of Oral Surgery and Orthodontics were procured, from which 35 mandibular premolars with a single straight root with no evidence of occlusal/root/secondary caries were selected. The teeth were first decontaminated (5.25% sodium

hypochlorite solution) for 10 minutes, then physically cleaned with water, following which they were ultrasonically cleaned (scaler) and polished (pumice). The selected teeth then were radiographed to exclude teeth with extra canals, root fractures, internal resorption, or non-negotiable root canals (tortuous/curved, calcified, unnatural anatomy). Thirty-five (30 for the study with 5 extras as replacements) mandibular second premolar (18 right and 17 left) teeth were then stored in a container filled with distilled water. A standard root length of 15 mm was considered to be optimum for the experiment requirement. Each tooth was marked 15 mm from its root apex, and the length was divided into 3 divisions of 5 mm each, as apical, middle, and coronal third sections of the tooth samples (Figure 1A). The center of each section was also marked with a V-shaped notch on each root surface at the same time as sectioning of the root specimens for scanning electron microscopy evaluation. Each sample tooth was then decoronated at a level higher than the previously planned root length (15 mm from the root apex) with a sectioning disk (diamond) (KG Sorensen, São Paulo, Brazil) [8]. Since the crown of each sample was in the same vertical plane alteration, the root-to-crown ratio was insignificant in terms of the level of the decoronation radiographically or in vitro [15].

### Endodontic Procedure

Decoronation of samples was supervised by thorough evaluation of the cross-sectional thickness of the roots, as mentioned in previous literature [16]. This was then followed by an endodontic instrumentation procedure that involved, foremost, removal of pulp tissue using a barbed broach (Dentsply, Switzerland). The patency of each investigated canal was performed with endodontic file (# 10 k), following which canal length was determined with a similar-size file (Dentsply, Switzerland). Working length for each sample was estimated by observing the tip of the instrument at the apex with the naked eye. After withdrawing a safety distance of 1 to 2 mm from the visible apex, the probable working length was noted for each individual sample. A fixed mounting jig fastened to the working table of a preclinical laboratory was used to standardize the alignment of each tooth. Each tooth was attached to the jig with the intervening space filled with a putty-consistency elastomer (Reprosil, Dentsply/Caulk; USA). After adjusting for the most convenient axial inclination for the root of each tooth, the jig was locked in place with a tooth firmly held by the hardened putty surrounding it. This assembly also allowed each individual tooth to be removed with ease later for sectioning. For all teeth, the instrumentation of the root canals (biomechanical preparation) was performed using NiTi rotary files (ProTaper next, Dentsply-Maillefer) attached to the corresponding contra-angled Endo-Motor (Endo-Mate DT, Japan). Standardization for biomechanical root canal preparation included constant speed (300 rpm) and torque (200 gcm), access cavity preparation (endo access bur, Dentsply) (Figure 1B), irrigation (5.25% sodium hypochlorite) (Chloraxid, Poland), smear layer removal (17% ethylene diamine tetra acetic acid, EDTA) (PD, Vevey, Switzerland), rinsing (5 ml distilled water), canal desiccating (paper points – Pro Taper next size X3) (Dentsply-Maillefer), and related instructions of the manufacturer [6]. Biomechanical preparation for each canal followed the standard clinical procedure, which included instrumentation of each canal up to Pro Taper next file size X3.

### Sample Grouping Based on Obturation Techniques

Differences in the experimental procedures started at this stage with an allotment of 10 samples each of 3 specific groups (Gp) based on the obturation technique [Gp 1: single-cone technique (SCT), Gp 2: cold lateral compaction technique (CLCT), Gp 3: continuous-wave technique (CWT)]. An exemplary completed obturation that shows the level at which the gutta-percha core was cut is presented in Figure 1C.

**Gp 1 (SCT) (Figure 2A):** The corresponding Pro Taper next gutta-percha cone (size X3) was selected based on the working length and its ability to resist withdrawal at the apical end (tug-back). Premixed bioceramic sealer was placed into the

canal with the provided syringe tip up to 2/3 of the canal. A Pro Taper Next X3 cone was inserted into the canal. The excess cone was then sheared off with a hot instrument (spoon excavator). An exemplary radiograph showing the quality of obturation by SCT is shown in Figure 2A.

**Gp 2 (CLCT) (Figure 2B):** This technique uses ISO standardized cones of gutta-percha for completing the whole obturation process. The primary gutta-percha cone was the one which provides a tug-back resistance at the apical end of the canal that was worked upon. This conformed to size 30 of the gutta-percha cone, which was placed in the canal along with a coating of CeraSeal sealer, which was inserted in the canal with the provided syringe tip. Multiple accessory smaller-size gutta-percha cones (size 10/20) were then added to the lateral aspect of the master cone along with a coating of the sealer. Once placed, the compaction of the entire gutta-percha complex was accomplished by using a finger spreader. The compaction was continued until the spreader was limited by going into the canal, at which stage the excess gutta-percha was sheared off at the coronal aspect of the canal with a hot spoon excavator (Figure 1C). An exemplary radiograph showing the quality of obturation by CLCT is shown in Figure 2B.

**Gp 3 (CWT) (Figure 2C):** In this technique, after application of a Cera Seal sealer in the root canal, a Pro Taper Next gutta-percha cone size X3 was inserted into the canal. A continuous-wave heated plugger was then placed through the master cone to within 5 mm of the predetermined working length. This created a 5-mm apical plug, which was then condensed with a plugger to form a good apical seal. Once the apical plug was formed, the rest of the canal was backfilled with a specially designed commercially available obturation system (BL, Beta Obturation System, BL Biotech, USA). The tip of the backfilling device (BL, Beta Obturation System) was placed as apically as allowable (preferably butting up with the apical plug of GP). The tip was allowed to sit on the canal for a few seconds and then we pressed the button to start injecting. Once the flow of gutta-perch was activated, the thermoplastic gutta-percha automatically backed the delivery unit out of the canal. Immediately following the backfilling process, larger hand pluggers were placed on the coronal extent of the warm gutta-percha, and apical pressure was applied as the gutta-percha cooled. This vertically condensed the gutta-percha, creating a homogeneous mass of obturation material. An exemplary radiograph showing the quality of obturation by CWT is shown in Figure 2C.

For all samples in all groups, the obturating material was removed 3 mm beneath the cementum enamel junction, following which the remaining cavity was restored with Cavit G (3M ESPE, Seefeld, Germany). The storage of the samples before testing was accomplished by keeping the samples in an



**Figure 2.** (A) An exemplary intra-oral periapical radiograph showing the radiographic quality of single-cone technique obturation. (B) An exemplary intra-oral periapical radiograph showing the radiographic quality of Cold Lateral Compaction Technique obturation. (C) An exemplary intra-oral periapical radiograph showing the radiographic quality of continuous-wave down technique. Photographs taken using a digital single-lens reflex (DSLR) camera (Canon EOS 700D) with 100mm macro lens) with/without ring flash.

auto-humidifier (95% relative humidity at 37°C) for 7 days before testing the specimens.

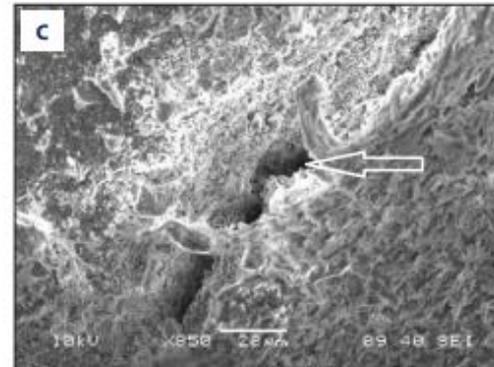
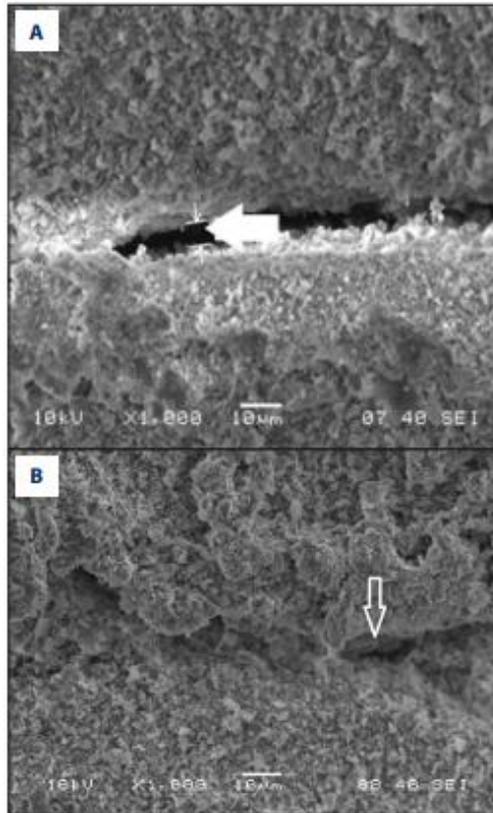
#### Data Measurements, Evaluation, Collection, and Analysis

Data collection was all related to the data observed under scanning electron microscopic evaluations. The predetermined positions for sectioning that were marked before the obturation process were located on both sides and marked with a notch. Using normal water for irrigation with a minitom (Struers, Germany), each sample was sectioned at 3 places to yield 3 corresponding samples (apical, middle, and coronal third). Each section was further reduced to an observable thickness of 1 mm. Finishing of each section was done using sandpaper (fine, emery) while polishing was achieved with orthophosphoric acid (10%). Once the samples were dried, they were further dehydrated through increasing ethyl alcohol (Sigma Pool, India) concentrations (30%, 50%, 70%, 90%, 100%). Finally, all specimens were then observed under a scanning electron microscope (VEGA Easy Probe, Germany) at 3 randomly selected points to measure the marginal gaps. The SEM uses electrons

rather than use of light to form high-resolution images, which follows a vertical path through the column of the microscope, thus minimizing distortion since the beams are focused. The lenses used are condenser lenses made of magnets that can bend the path of electrons, which produces clear and detailed images. The gap width (maximum) considered was the maximum distance between material and the canal, which was measured accordingly (magnification 5000×). The photomicrographs for each specimen were viewed at higher magnifications (500 to 1000 times). Each image was then analyzed using software (Image J), after automatic correction for brightness and contrast, for calculating the surface area of the gaps. The marginal/internal gap area was thus calculated after fractionizing it into a percentage of the total canal area. Thus, for each root specimen, internal gaps were recorded at different levels (coronal, apical, and middle).

#### Statistical Analysis

Internal marginal gap values for each section (apical, middle, and coronal third) in each group were recorded on an Excel



**Figure 3.** (A) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the apical third of the canal in a sample with SCT obturation. (B) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the middle third of the canal in a sample with SCT obturation. (C) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the coronal third of the canal in a sample with SCT obturation. Figure created using MS Paint, version 11.2301.22.0, Windows 11 Pro, (Microsoft Corporation).

sheet. The mean scores of each section were calculated from 3 values randomly chosen for each SEM photomicrograph. The standard deviation for each mean value was calculated. Following the testing of data distribution for normality, a one-way analysis of variance (ANOVA) with a post hoc multiple range test (Tukey) was used to determine the differences between the 3 studied groups. A *P* value of less or equal ( $\leq$ ) to 0.05 was considered to be statistically significant. Statistical analysis was accomplished by transferring of coded data to SPSS software (version 23 for Windows – IBM, Armonk, New York).

## Results

### SEM Photomicrograph

The marginal gap voids for different groups as seen under a scanning electron microscope are presented in **Figure 3** (Gp 1 [SCT – A (apical third), B (middle third), C (coronal third)], **Figure 4** (Gp 2) [CLCT – A (apical third), B (middle third), C (coronal third)] and **Figure 5** (Gp 3) [CWT – A (apical third), B

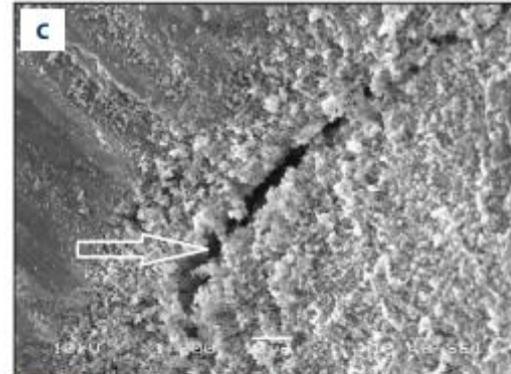
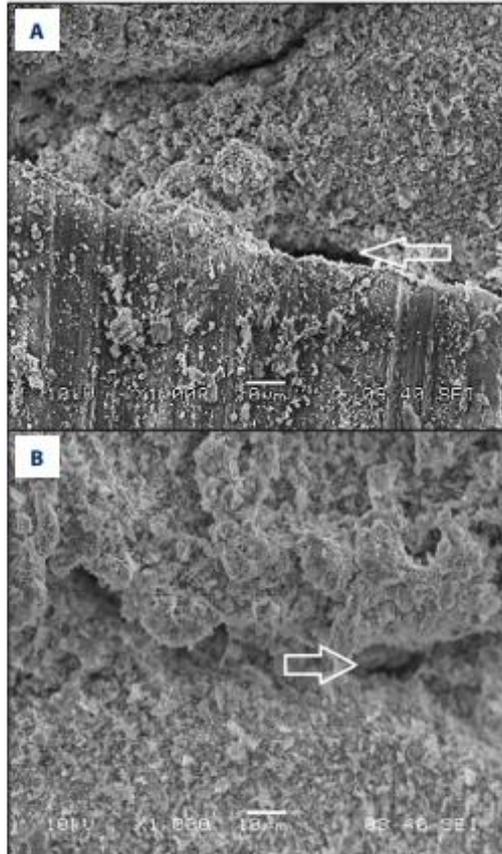
(middle third), C (coronal third)]. Gaps at different levels (apical, middle, and coronal) are presented for Gp 1 (**Figure 3A-3C**), Gp 2 (**Figure 4A-4C**), and Gp 3 (**Figure 5A-5C**). The marginal gaps observed in samples for SCT were visible at apical, middle, and coronal thirds. The least marginal gaps were observed in samples of Gp 3 for continuous-wave technique.

### Differences in Marginal Adaptation Within Each Technique

**Table 1** presents the comparative differences in mean gap voids within each group at 3 observed levels. The samples in group 1 and group 2 showed smaller gap voids in the middle third ( $5.28 \pm 0.20$  and  $3.42 \pm 0.13$ , respectively), while samples in Gp 3 showed the smallest width in the apical third ( $2.76 \pm 0.15$ ). Differences in gap voids for all groups between the 3 observed levels were found to be non-significant ( $P < 0.05$ ). Despite having larger gaps at 3 levels, the samples in Gp 1 were not significantly different, and despite having smaller marginal gaps in Gp 3, the differences between the 3 levels were not significant.

### Differences in Marginal Adaptation Between the 3 Techniques

**Table 2** presents the mean and standard deviations of gaps in the material-to-dentin interface with the 3 obturation techniques. The largest gap was found for Gp 1 at the coronal level ( $5.73 \pm 0.24$ ), while the smallest gaps were found for Gp 3 at the coronal level ( $2.76 \pm 0.15$ ). The samples in Gp 1 had the largest gaps at all observed levels, while the samples in Gp 3 had the smallest gaps at all levels. The differences between



**Figure 4.** (A) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the apical third of the canal in a sample with cold lateral compaction technique obturation (CLCT). (B) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the middle third of the canal in a sample with cold lateral compaction technique obturation (CLCT). (C) SEM photomicrograph (5000×) showing marginal gap width at the coronal third of the canal in a sample with cold lateral compaction technique obturation (CLCT). Figure created using MS Paint, version 11.2301.22.0, Windows 11 Pro, (Microsoft Corporation).

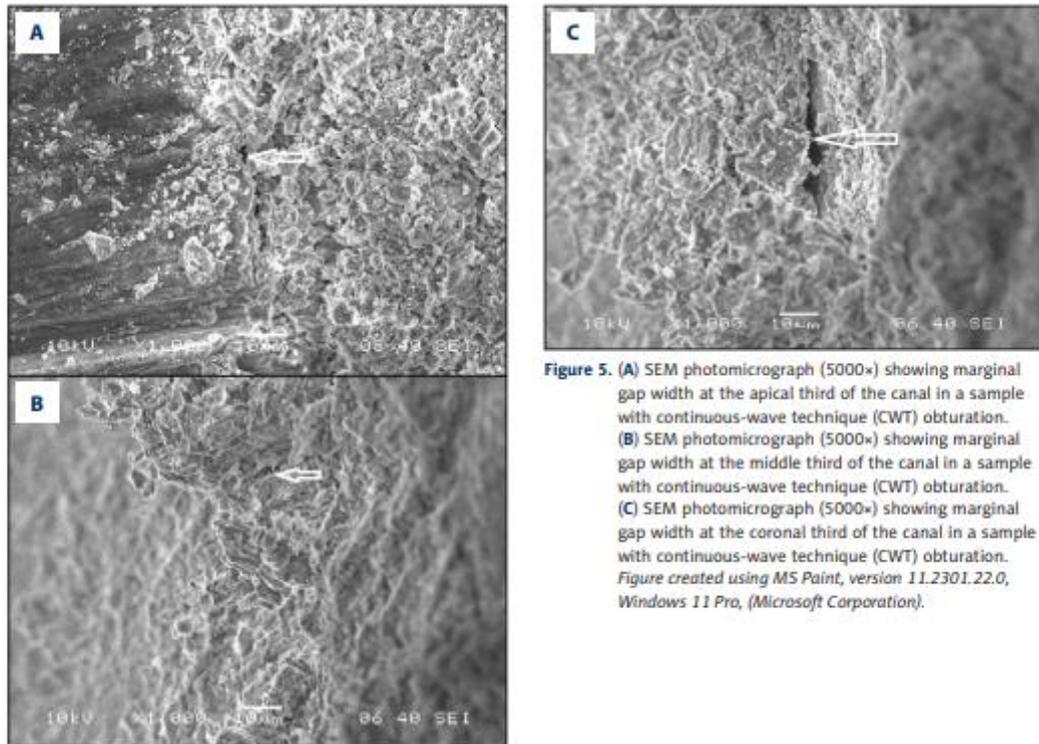
the 3 groups were statistically significant ( $P < 0.05$  (Table 2)). At the apical portion of the samples, the smallest gaps were in Gp 3 ( $2.76 \pm 0.15$ ), while the largest gaps in Gp 1 ( $5.43 \pm 0.16$ ) (Figure 6).

## Discussion

This ex vivo study on 30 extracted teeth evaluated the differences in marginal gaps at 3 different levels of the root canal between 3 technically different commonly-used clinical obturation techniques. We investigated a recently introduced bioceramic sealer, CeraSeal, and the observational analysis used SEM. SEM, which uses electromagnets instead of lenses, provides clear images under high magnification and the sealer-dentin interface can be viewed longitudinally as well as in transverse section. Longitudinal section was observed in middle and coronal third evaluation. The main findings of this study are that when obturation was performed using a continuous-wave technique, the marginal adaptation between the bioceramic

sealer and the dentin showed smaller marginal gaps than with a single cone or cold lateral compaction technique. The differences between the 3 different techniques were statistically significant, thereby rejecting the null hypothesis.

The results also show that among the 3 investigated techniques, the single-cone technique had the largest margin gaps at apical, middle, and coronal levels of the root canal. Marginal gaps between the dentin and the sealer are of clinical significance, and the size of a gap depends largely on the obturation technique [17]. Close adaptation between sealer and tooth minimizes gaps, and some form of physical force is necessary to do so. Different obturating techniques have therefore been assessed in the scientific literature, with the aim of newest and most advanced techniques being to improve clinical success of endodontic treatment via minimizing marginal gaps. But irrespective of the most clinically efficient technique, there are still some factors which are not controlled by the operator, which can lead to marginal gaps. One of the inherent drawbacks of many different sealers is tweaking (withdrawing or retracting) away from the gutta-percha and the dentin during or after setting [18]. This retraction can be also due to the hydrophobic nature of the gutta-percha cones, which results in internal gaps between the cone and the sealer. CeraSeal bioceramic sealer was investigated in this study because it was recently introduced and has shown promising results in Europe and Asia, but has never been investigated in the Middle East.



**Figure 5.** (A) SEM photomicrograph (5000x) showing marginal gap width at the apical third of the canal in a sample with continuous-wave technique (CWT) obturation. (B) SEM photomicrograph (5000x) showing marginal gap width at the middle third of the canal in a sample with continuous-wave technique (CWT) obturation. (C) SEM photomicrograph (5000x) showing marginal gap width at the coronal third of the canal in a sample with continuous-wave technique (CWT) obturation. Figure created using MS Paint, version 11.2301.22.0, Windows 11 Pro, (Microsoft Corporation).

**Table 1.** Comparative differences in mean interval voids at different cross-sections of the root within each group.

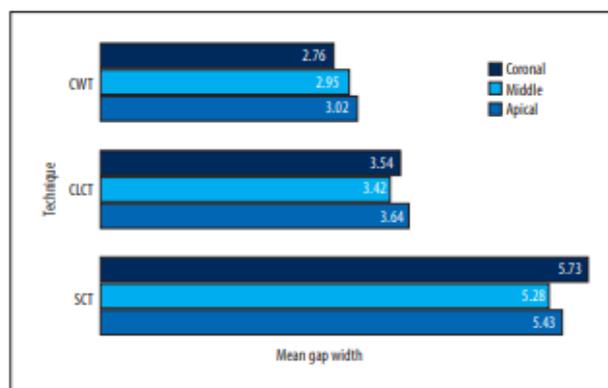
Root sections and groups		Gap width mean $\mu\text{m}\pm\text{SD}$	One-way ANOVA		Tukey HSD	
			F value	P value	Pairwise comparison	P value
SCT	Apical	5.43±0.16	3.478	0.219	SCT – CLCT	NS
	Middle	5.28±0.20			SCT – CWT	NS
	Coronal	5.73±0.24			CWT – CLCT	NS
CLCT	Apical	3.64±0.16	0.059	1.103	SCT – CLCT	NS
	Middle	3.42±0.13			SCT – CWT	NS
	Coronal	3.54±0.34			CWT – CLCT	NS
CWT	Apical	3.02±0.19	1.369	0.198	SCT – CLCT	NS
	Middle	2.95±0.14			SCT – CWT	NS
	Coronal	2.76±0.15			CWT – CLCT	NS

SD – standard deviation; SCT – single cone technique; CLCT – cold lateral compaction technique; CWT – continuous wave technique; F – variation between samples; P – probability. Level of significance: NS (non-significant)= $P\geq 0.05$ ; \* Significant= $P<0.05$ . All differences made at the probability (p) value of  $\leq 0.05$ .

**Table 2.** Comparative differences in mean interval voids at different cross-sections of the root among the 3 groups.

Root sections and groups		Gap width mean $\mu\text{m}\pm\text{SD}$	One-way ANOVA		Tukey HSD	
			F value	P value	Pairwise comparison	P value
Apical	SCT	5.43 $\pm$ 0.16	527.9	<.00001*	SCT – CLCT	0.0000*
	CLCT	3.64 $\pm$ 0.16			SCT – CWT	0.0000*
	CWT	3.02 $\pm$ 0.19			CWT – CLCT	0.0000*
Middle	SCT	5.28 $\pm$ 0.20	588.12	<.00001*	SCT – CLCT	0.0000*
	CLCT	3.42 $\pm$ 0.13			SCT – CWT	0.0000*
	CWT	2.95 $\pm$ 0.14			CWT – CLCT	0.0000*
Coronal	SCT	5.73 $\pm$ 0.24	361.87	<.00001*	SCT – CLCT	0.0000*
	CLCT	3.54 $\pm$ 0.34			SCT – CWT	0.0000*
	CWT	2.76 $\pm$ 0.15			CWT – CLCT	0.0000*

SD – standard deviation; SCT – single cone technique; CLCT – cold lateral compaction technique; CWT – continuous wave technique; F – variation between samples; P – probability. Level of significance: NS (non-significant)= $P\geq 0.05$ ; \* Significant= $P<0.05$ . All differences made at the probability (p) value of  $\leq 0.05$ .



**Figure 6.** Graphical presentation of the differences between the 3 obturation techniques and the mean marginal gaps observed at 3 different levels. Figure created using MS Excel, version 20H2 (OS build 19042.1466), Windows 11 Pro, Microsoft Corporation).

### CeraSeal as a Bioceramic Sealer

Bioceramic sealers are broadly branded as 2 different types: calcium silicate-based and calcium phosphate-based. The calcium silicate-based sealers are further classified as either mineral trioxide (MTA)-containing or non-MTA-containing. A tricalcium silicate (MTA)-based bioceramic root canal sealer is available commercially as a 1-paste system, containing calcium silicates, zirconium oxide, and a thickening agent. The contents are premixed to allow for direct application. Calcium silicate presents a gel of calcium aluminate and calcium silicate hydrate on contact with moisture from root canal dentin [19]. The reaction is accompanied by crystallization of calcium hydroxide, which distinguishes its biocompatibility (bioactive), allowing them to form surface hydroxyapatite as well as exerting

their osteogenic effects [11]. The sealer does not shrink or discolor and has a shorter setting time of 3.5 h. The short setting time prevents washout of the sealer and allows sealer penetration to intricate shapes of canals, even after treatment [20]. In case the sealer is not sufficiently cured, physical forces tend to wash it away, which is prevented by its shorter setting time. CeraSeal cures faster than other bioceramic sealers. Its high flow is enhanced by hydraulic press dispensation and a very narrow nozzle intra-canal tip that allows placement within a narrow canal. Although the final mix is acidic (pH 12.7), because it is nontoxic does not harm tissue. Unlike other ceramic and non-ceramic sealers, the use of zirconium oxide prevents tooth discoloration over time.

### Differences Among Techniques

The results of this study show that the CWT obturation showed comparatively smaller mean marginal gaps throughout the whole extent of the root canal wall when compared with SCT and CLCT obturation. The CWT uses primarily a single Pro Taper gutta-percha cone that fits to the anatomical apical thirds. The technique is principally based on penetration of a heated tip within the gutta-percha and compressing the tip apically up to a predetermined distance. The peripheral adaptation of the sealer is potentially affected by the lateral compaction that occurs while applying the heated tip vertically. The gutta-percha is displaced laterally, which pushes the free-flowing ceramic sealer into the lateral accessory canals, as well as causing a close adaptation of the sealer to the dentin wall [21]. The effect of negative pressure in enhancing sealers' adaptation to the dentin walls has been investigated with other obturation techniques, with promising results [8,22]. Compared to the other 2 techniques (SCT and CLCT), CWT shows greater marginal adaptation with minimum gap voids. Our results agree with the findings of Oh et al [23], who reported superior filling adaptation and increased density of filling in CWT as compared to CLCT. Void areas have also been compared between CWT and thermoplasticized (Guttacore) gutta-percha obturation. The differences between the 2 have not been found to be significant, suggesting that in relation to interface adaptation, the CWT shows superior results in different studies [24,25]. Contrary to our results, Olczak et al reported no significant differences for gutta-percha and sealer content in terms of percentage, nor in voids between CWT, CLCT, and thermoplasticized obturation [14]. CLCT, being a widely-used clinical technique, is still used for comparison with new obturation techniques/systems.

Our results show that SCT obturation produced larger marginal gap voids than CLCT and CWT obturation. Artificial irregularities within mandibular incisors root canals have been reported to be unfilled when cold gutta-percha was used [26], and these irregularities must be filled by sealers. However, sealer accumulation in gap areas increases the chances of poor marginal adaptation, contraction after setting, and sealer dissolution [27]. The SCT has been investigated with different types of sealers [28], different gutta-percha cones (bioceramic impregnated gutta-percha) [29], and different clinical techniques (warm vertical compaction) [30]. SCT has been shown to adequately fill accessory canals when used with bioceramic sealer (AH Plus), while it produced more gaps when bioceramic impregnated gutta-percha was used. Use of heat was reported to decrease the marginal gaps in SCT when used with bioceramic sealer (Bioroot RCS) [31]. The bioceramic sealer used in the present study shows that in addition to its sealing capacity, it also promotes adaptation while setting and, most importantly, is compatible with the thermal changes that occur when the

heated tip is placed. These features are in agreement with the previously reported studies that investigated other bioceramic sealers (AH Plus) [32-34]. Application of heat has been reported to produce a percentage weight loss [4,35], but bioceramic sealers were reported to undergo minimal structural changes. CWT has been also reported to properly fill even difficult root canals (molar) [23]. Variations in the results between the comparative studies are attributed to various factors, especially the methods of testing and observation.

### Differences Within Each Technique

We found that CWT obturation produced the smallest marginal gaps within the root canal at the 3 observed levels (apical, middle, and coronal thirds). CLCT had smaller marginal gaps than the SCT but larger than CWT obturation. Different techniques of CLCT (manual, mechanical, and ultrasonic) have been investigated but were found to cause void areas within the canal [36]. These voids have been attributed to the use of a spreader that generates larger spaces than with other cones [37]. The superiority of CWT obturation in terms of better marginal adaptation and concomitantly smaller gap voids have been attributed to its ability to allow plasticization of the entire length of gutta-percha cone, which creates a mass that is homogenous and can fill minor irregularities [38]. This homogenization also decreases the sealer layer, which is less dimensionally stable than the gutta-percha core [39]. For a pulpal infection to recur and spread to the periodontal area, the quality of the obturation in the apical third of the root canal becomes critical [40]. SCT and CLCT had a larger gap width in the coronal third than in the apical third, while the CWT had larger gaps in the apical third than in the middle and coronal thirds. However, the interpretation of these results should be made with caution since the comparisons were made within groups. The larger gap voids in the apical third for the CWT obturation may be attributed to the technique used, since the heated tip is not meant to reach the apical third. When compared to other groups, the CWT had smaller marginal gaps in the apical third, which agrees with earlier studies [23,37]. Our results for CWT marginal gap width comparison among apical, middle, and coronal thirds are contrary to those obtained by Pinto et al [37], who reported low void percentage in the apical third when compared to the coronal and middle thirds. Among the 3 techniques, the CWT also showed less voids in the coronal third, which agrees with previous studies [38,41]. The presence of smaller void in the coronal third is attributed to the coronal third receiving more compaction forces directly [42]. The ability of the sealer also has to be taken into account. CeraSeal, being a bioceramic sealer, can promote new mineralized tissue regeneration or development due to its physicochemical properties [43].

Bioceramic sealers have been shown to penetrate dentinal tubules and form a hybrid layer (due to hydrophilic monomers

and solvent) [11]. This hybrid layer seals external-to-internal canal communication, thus forming a complete seal. It is also quite possible that the technique may be only bringing the sealer in close contact to the dentin surface, while the sealer which is bioactive may close the gaps later through its biomineralization abilities. Other factors like porosities within the sealer, setting contraction, dissolution of sealer, and taper of the cones may play significant roles in the larger marginal gaps found using SCT obturation. In addition, bioceramic sealers have a small particle size, low contact angles, chemical bonding to dentin, significant expansion, continuous flow, surface activity, and hydrophilicity, which in combination contribute to minimizing marginal gaps at the obturation interface.

### Strength and Limitations

This study investigated the effect of 3 different obturation techniques on the marginal gap of CeraSeal bioceramic-based root canal sealer, which has been recently introduced in the Middle East and thus has been little studied. The strength of the study is the SEM evaluation of marginal gaps, which provides high-resolution detection of small voids in root canal obturation. The study is limited by the number of obturation techniques investigated, for which further studies are advised, especially those that use heat for compaction.

### References:

1. Cohen S, Hargreaves KM. Pathways of the pulp. 10<sup>th</sup> Ed. St. Louis, Mo.: Elsevier Mosby. 2011;352
2. Polineni S, Bolla N, Mandava P, et al. Marginal adaptation of newer root canal sealers to dentine: A SEM study. *J Conserv Dent.* 2016;19(4):360-63
3. Ingle JI, Newton CW, West JD, et al. Obturation of the radicular space. In: Ingle JI, Bakland LK, editors. *Endodontics.* 5<sup>th</sup> Ed. Hamilton, Ontario: BC Decker; 2002:571-668
4. Chavarria-Bolanos D, Komabayashi T, Shen I, et al. Effects of heat on seven endodontic sealers. *J Oral Sci.* 2022;64(1):33-39
5. Mattoo KA, Garg R, Gupta A, Jain N. Toxicology and biocompatibility of dental materials: A review. *Res J Pharmac Biol Chem Sci.* 2012;3(4):1091-99
6. Kumar SA, Shivanna V, Nalian MT, Shivamurthy GB. Comparative evaluation of the apical sealing ability and adaptation to dentine of three resin-based sealers: An in vitro study. *J Cons Dent.* 2011;14(1):16-20
7. Salz U, Poppe D, Sbliego S, Roulet JF. Sealing properties of a new root canal sealer. *Int Endod J.* 2009;42(12):1084-89
8. Li GH, Niu LN, Selem LC, et al. Quality of obturation achieved by an endodontic core-carrier system with cross linked gutta-percha carrier in single-rooted canals. *J Dent.* 2014;42:1124-34
9. Waltimo T, Trope M, Haapasalo M, Ørstavik D. Clinical efficacy of treatment procedures in endodontic infection control and one year follow-up of periapical healing. *J Endod.* 2005;31(12):863-66
10. Al-Shawikani HA, Mattoo K, Ali FM, et al. Effect of two different experimental mixing ratios on selective physical, antibacterial and tissue compatibility properties of two commonly used endodontic root canal sealers – an in-vitro and in-vivo study. *J Biomater Tissue Eng.* 2022;12(10):2092-99
11. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers: A review. *Int J Biomater.* 2016;2016:9753210
12. Hammad M, Qualtrough A, Sillikas N. Evaluation of root canal obturation: A three-dimensional in vitro study. *J Endod.* 2009;35(4):541-44
13. Lipski M. Root surface temperature rises in vitro during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha on a carrier or by injection. *J Endod.* 2004;30(6):441-43

### Conclusions

Under similar conditions used in this study, we conclude that CWT obturation produces smaller marginal gaps between a root canal and CeraSeal RCS. The study also concludes that marginal adaptation of CWT performed better than CLCT and SCT. Comparatively, in CWT, marginal adaptation was better in the coronal and middle and apical thirds, which is attributed to the limitation of the technique recommended by manufacturer. Whether the CWT tip can be modified to extend into the apical third is a matter for future study.

### Acknowledgements

The authors extend their appreciation to the non-teaching staff of the preclinical laboratory at the College of Dentistry. The authors also extend their whole heartfelt thanks to the chairman of the department for allowing use of laboratory facilities.

### Declaration of Figures' Authenticity

All figures submitted have been created by the authors, who confirm that the images are original with no duplication and have not been previously published in whole or in part.

14. Olczak K, Klimek L, Pawlicka H. Ex vivo area-metric analysis of root canal obturation using cold and warm gutta-percha. *Adv Mater Sci.* 2016;16:1-7
15. Sindi AS, Al-Sanabani F, Al-Makramani BM, et al. A Radiographic study of the root-to-crown ratio of natural permanent teeth in 81 Saudi adults. *Med Sci Monit.* 2022;28:e936085
16. Yadav L, Mattoo KA, Kapoor A, Shuja S. Factors associated with post core correction of malpositioned teeth. *International Journal of Research in Medical Sciences and Technology* 2015;1(2):5-7
17. Tyagi S, Mishra P, Tyagi P. Evolution of root canal sealers: An insight story. *Eur J Gen Dent* 2013;2(3):199-218
18. Shaharavan A, Haghdoost AA, Adl A, et al. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: A systematic review and meta-analysis. *J Endod.* 2007;33(2):96-105
19. Allan NA, Walton RE, Schaffer M. Setting times for endodontic sealers under clinical usage and in vitro conditions. *J Endod.* 2001;27:421-23
20. Nunes VH, Silva RG, Alfredo E, et al. Adhesion of epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. *Braz Dent J.* 2008;19:46-50
21. Angerame D, De Blasi M, Pecci R, et al. Analysis of single point and continuous wave of condensation root filling techniques by micro-computed tomography. *Ann Ist Super Sanita.* 2012;48:35-41
22. Munoz HR, Camacho-Cuadra K. In vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *J Endod.* 2012;38(4):445-48
23. Oh S, Perinpanayagam H, Kum DJW, et al. Evaluation of three obturation techniques in the apical third of mandibular first molar mesial root canals using micro-computed tomography. *J Dent Sci.* 2016;11:95-102
24. Celikten B, Uzuntas CF, Orhan AI, et al. Evaluation of root canal sealer filling quality using a single-cone technique in oval shaped canals: An in vitro micro-CT study. *Scanning.* 2016;38(2):133-40
25. Guess GM, Edwards KR, Yang ML, Iqbal MK, Kim S. Analysis of continuous-wave obturation using a single-cone and hybrid technique. *J Endod.* 2003;29(8):509-12

26. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1971;32(2):271-75
27. Kikly A, Jaáfoura S, Kammoun D, Sahtout S. Sealing ability of endodontic cements: An in vitro study. *Int J Dent.* 2020;2020:5862598
28. Fernández R, Restrepo JS, Aristizábal DC, Álvarez LG. Evaluation of the filling ability of artificial lateral canals using calcium silicate-based and epoxy resin-based endodontic sealers and two gutta-percha filling techniques. *Int Endod J.* 2016;49:365-73
29. Eltair M, Pitchika V, Hickel R, et al. Evaluation of the interface between gutta-percha and two types of sealers using scanning electron microscopy (SEM). *Clin Oral Investig.* 2018;22:1631-39
30. 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;44:133-38
31. Atmeh AR, AlShwaimi E. The effect of heating time and temperature on epoxy resin and calcium silicate-based endodontic sealers. *J Endod.* 2017;43:2112-18
32. Macedo LM, Silva-Sousa Y, Silva SR, et al. Influence of root canal filling techniques on sealer penetration and bond strength to dentin. *Braz Dent J.* 2017;28:380-84
33. Santos-Junior AO, Tanomaru-Filho M, Pinto JC, et al. Effect of obturation technique using a new bioceramic sealer on the presence of voids in flattened root canals. *Braz Oral Res.* 2021;35:e028
34. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XI. Influence of warm vertical compaction technique on physical properties of root canal sealers. *J Endod.* 2016;42(12):1829-33
35. Shen J, Daniel J, Vo K, Ahn C, et al. Use of micro-CT to examine effects of heat on coronal obturation. *J Oral Sci.* 2022;64(3):224-27
36. Ho ES, Chang JW, Cheung GS. Quality of root canal fillings using three gutta-percha obturation techniques. *Restor Dent Endod.* 2016;41(1):22-28
37. Pinto JC, Pivoto-João MM, Guerreiro-Tanomaru JM, et al. Continuous wave of condensation improves the filling of curved canals: A micro-CT study. *Odontos - International Journal of Dental Sciences.* 2023;305-15
38. Keleş A, Alcin H, Kamalak A, Versiani MA. Micro-CT evaluation of root filling quality in oval-shaped canals. *Int Endod J.* 2014;47(12):1177-84
39. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, et al. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod.* 2005;31(1):37-39
40. Saunders WP, Saunders EM, Herd D, Stephens E. The use of glass ionomer as a root canal sealer - a pilot study. *Int Endod J.* 1992;25(5):238-44
41. 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(4):638-642
42. Zhang W, Li Z, Peng B. Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;107:e79-e82
43. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, et al. Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res.* 2008;87:974-79