



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS COMPUESTOS
POR MINERAL TRIÓXIDO AGREGADO, SILICATO DE CALCIO Y ÓXIDO DE ZINC,
ESTUDIO IN VITRO

Línea de investigación:

Biomateriales

Tesis para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Autor

Mendoza Celmi, Cristian José

Asesor

Mauricio Valentin, Franco Raúl

ORCID: 0000-0003-3658-0302

Jurado

Mendoza Murillo, Paul Orestes

Castro Pérez Vargas, Antonieta Mercedes

Galarza Valencia, Diego Javier

Lima - Perú

2025



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS COMPUESTOS POR MINERAL TRIOXIDO AGREGADO, SILICATO DE CALCIO Y ÓXIDO DE ZINC, ESTUDIO IN VITRO

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

24%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 repositorio.uwiener.edu.pe 8%
Fuente de Internet

2 repositorio.unfv.edu.pe 2%
Fuente de Internet

3 hdl.handle.net 2%
Fuente de Internet

4 Submitted to Universidad Nacional Federico
Villarreal 2%
Trabajo del estudiante

5 alicia.concytec.gob.pe 1%
Fuente de Internet

6 www.researchgate.net 1%
Fuente de Internet

7 pesquisa.bvsalud.org 1%
Fuente de Internet

tesis.ucsm.edu.pe



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
COMPUESTOS POR MINERAL TRIÓXIDO AGREGADO, SILICATO DE CALCIO Y
ÓXIDO DE ZINC, ESTUDIO IN VITRO

Línea de Investigación:

Biomateriales

Tesis para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Autor

Mendoza Celmi, Cristian José

Asesor

Mauricio Valentin, Franco Raúl

ORCID: 0000-0003-3658-0302

Jurado

Mendoza Murillo, Paul Orestes

Castro Pérez Vargas, Antonieta Mercedes

Galarza Valencia, Diego Javier

Lima-Perú

2025

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios. También a mi madre Fortunata, a mi padre Alfredo y a mis hermanos, quienes han sido fundamentales para que lograra concluir mi carrera. Agradezco especialmente a mis hermanos por haber estado siempre a mi lado, brindándome sus consejos y apoyo incondicional.

Agradecimiento

A mi querida alma mater, por haber sido un pilar fundamental en mi desarrollo académico y profesional, brindándome las herramientas y el conocimiento necesarios para crecer en mi carrera. Asimismo, extendo mi más sincero agradecimiento al Dr. Esp. Franco Raúl Mauricio Valentín, mi asesor, por su invaluable orientación, apoyo constante y dedicación durante todo este proceso.

ÍNDICE

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema.....	2
1.2. Antecedentes	4
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos	10
1.4. Justificación.....	10
1.5. Hipótesis.....	11
II. MARCO TEÓRICO	12
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	12
2.1.1. Endodoncia	12
2.1.2. Cementos endodónticos	13
III. MÉTODO	18
3.1. Tipo de investigación.....	18
3.2. Ámbito temporal y espacial	18
3.3. Variables	18
3.3.1. Variable Principal	18
3.3.2. Operacionalización de la Variable	18
3.4. Población y muestra.....	18
3.4.1. Criterios de selección.....	19
3.5. Instrumentos.....	19
3.6. Procedimientos.....	20

3.6.1. Preparación de especímenes	20
3.6.2. Medición de la resistencia a la compresión	21
3.7. Análisis de datos	21
3.8. Consideraciones éticas	22
IV. RESULTADOS	23
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	25
VI. CONCLUSIONES	31
VII. RECOMENDACIONES.....	32
VIII. REFERENCIAS.....	33
IX. ANEXOS.....	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Prueba de Normalidad de los datos con la prueba Shapiro Wilk.....	23
Tabla 2. Comparar la resistencia a la compresión de los cementos endodónticos compuestos por MTA, Silicato de sodio y Óxido de zinc, in vitro.....	24
Tabla 3. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA, in vitro.....	25
Tabla 4. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio, in vitro.....	26
Tabla 5. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc, in vitro.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparar la resistencia a la compresión de los cementos endodónticos compuestos por MTA, Silicato de sodio y Óxido de zinc, in vitro.....	25
Figura 2. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA, in vitro.....	26
Figura 3. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio, in vitro.....	27
Figura 4. Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc, in vitro.	28

RESUMEN

Objetivo: Comparar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro. **Metodología:** Se aplicó un tipo de estudio experimental, analítico, transversal, prospectivo y comparativo. La muestra consistió en 24 especímenes divididos en tres grupos, con 8 especímenes en cada uno: un grupo con MTA, otro con silicato de calcio y el último con óxido de zinc. **Resultados:** Los resultados de la resistencia a la compresión demostraron que el grupo compuesto de silicato de calcio tuvo la mayor resistencia a la compresión con un valor de 61,4 Mpa en comparación de los grupos de MTA (54 Mpa) y óxido de zinc (10,7 Mpa), con una diferencia significativa ($p < 0.05$). Asimismo, el análisis post hoc indicó que tanto el silicato de calcio como el MTA presentaron una resistencia a la compresión considerablemente mayor en comparación con el óxido de zinc, aunque no se observaron diferencias significativas entre el silicato de calcio y el MTA ($p < 0.05$). **Conclusiones:** Se determinó que existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc.

Palabras clave: resistencia, compresión, cementos endodónticos

ABSTRACT

Objective: To compare the compressive strength of endodontic cements composed of MTA, calcium silicate and zinc oxide in vitro. **Methodology:** An experimental, analytical, cross-sectional, prospective and comparative type of study was applied. The sample consisted of 24 specimens divided into three groups, with 8 specimens in each: one group with MTA, another with calcium silicate and the last with zinc oxide. **Results:** The compressive strength results showed that the calcium silicate group had the highest compressive strength with a value of 61.4 Mpa compared to the MTA (54 Mpa) and zinc oxide (10.7 Mpa) groups, with a significant difference ($p < 0.05$). Also, post hoc analysis indicated that both calcium silicate and MTA exhibited significantly higher compressive strength compared to zinc oxide, although no significant difference was observed between calcium silicate and MTA ($p < 0.05$). **Conclusions:** It was that there is a significant difference in the compressive strength of endodontic cements composed of MTA, calcium silicate and zinc oxide.

Keywords: strength, compressive, endodontic cements

I. INTRODUCCIÓN

En el campo de la odontología enfocada en la restauración dental y en los tratamientos endodónticos, la elección del material adecuado para el sellado y relleno de conductos radiculares resulta fundamental para garantizar el éxito sostenido y duradero de los tratamientos a lo largo del tiempo. Los cementos endodónticos juegan un papel fundamental en la prevención de la filtración bacteriana, protegiendo el sistema de conductos radiculares y favoreciendo el proceso de curación periapical (Gasner y Brizuela, 2023).

Entre los diversos materiales disponibles, el agregado de trióxido mineral (MTA), el silicato de calcio y el óxido de zinc han sido ampliamente reconocidos por sus propiedades bioactivas, capacidad de sellado y biocompatibilidad. Sin embargo, la resistencia compresiva de estos cementos, un factor determinante para soportar las fuerzas masticatorias y prevenir fracturas dentales, aún requiere una exploración detallada (Komabayashi et al., 2020).

Este estudio se propone evaluar comparativamente la resistencia compresiva in vitro de tres cementos endodónticos con composiciones diferentes: MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, con el fin de proporcionar una guía basada en evidencia para la selección del material más adecuado para el tratamiento endodóntico (Parirokh et al., 2018).

En tal sentido, el presente trabajo académico se estructura en diversos capítulos que abordan diferentes aspectos de la investigación. La primera parte aborda los aspectos preliminares, incluyendo una contextualización del tema, el planteamiento de la problemática a investigar, una revisión de estudios previos relevantes, los objetivos, la argumentación sobre la relevancia del estudio y las proposiciones (hipótesis) que guiarán la investigación. La segunda sección establece las bases conceptuales, profundizando en los fundamentos teóricos relacionados con la temática central. La tercera parte detalla el diseño metodológico, especificando el tipo de estudio, su delimitación temporal y espacial, la muestra a analizar y su selección, las herramientas de recolección de información, los procedimientos, las técnicas de

análisis y los principios éticos que rigen la investigación. Los resultados obtenidos se presentarán posteriormente en el cuarto capítulo, utilizando análisis descriptivos e inferenciales, respaldados visualmente con gráficos y tablas. La discusión de los resultados en comparación con otros estudios se llevará a cabo en el quinto capítulo, mientras que las conclusiones se expondrán en el sexto. Las recomendaciones se incluirán en el séptimo capítulo, seguidas por las referencias bibliográficas en el octavo. Finalmente, el noveno y último capítulo contendrá los anexos relevantes para la investigación.

Por lo cual el objetivo del presente estudio será comparar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, *in vitro*.

1.1. Descripción y formulación del problema

En el campo de la odontología endodóntica, la búsqueda de materiales de obturación que ofrezcan una resistencia y sellado adecuados es constante. Los cementos endodónticos son fundamentales en este proceso, contribuyendo a la obturación tridimensional del sistema de conductos radiculares, lo que impacta directamente en el éxito a largo plazo del tratamiento. La resistencia compresiva es una propiedad clave que determina la idoneidad de un material para esta aplicación, ya que garantiza su capacidad para soportar las fuerzas masticatorias sin fracturarse o deformarse, asegurando así la integridad del sellado y previniendo la reinfección del conducto (Gasner y Brizuela, 2023).

Actualmente, hay un creciente interés en desarrollar materiales restauradores óptimamente resistentes a la compresión, especialmente en ambientes húmedos como la cavidad oral. La búsqueda se centra en la aplicación clínica de materiales biocerámicos con propiedades biológicas y físicas adecuadas. Sin embargo, muchos tratamientos destinados a la conservación de la pieza dentaria no siempre son las mejores opciones, debido a la baja resistencia de los cementos utilizados en estos procedimientos. Esta situación destaca la importancia de investigar y comparar la resistencia compresiva de diferentes materiales

endodónticos para mejorar la selección y aplicación clínica de estos, garantizando así el éxito y la durabilidad de los tratamientos de conductos radiculares (Vaiani et al., 2023).

El MTA, el silicato de calcio y el óxido de zinc son tres cementos endodónticos ampliamente utilizados, cada uno con composiciones químicas y propiedades físicas únicas. Estos materiales han demostrado ser eficaces en ciertas aplicaciones clínicas. Evaluar y comparar la resistencia compresiva de estos tres cementos endodónticos bajo condiciones controladas de laboratorio sigue siendo un área de investigación vital y relevante en el campo de la odontología endodóntica ya que es crucial para determinar su idoneidad en situaciones clínicas específicas y para guiar la elección del material más apropiado para cada caso (Parirokh et al., 2018).

Además, comprender cómo las diferentes composiciones químicas de estos cementos endodónticos influyen en su resistencia compresiva puede proporcionar información valiosa sobre sus propiedades físicas y mecánicas subyacentes. Esto puede conducir a mejoras en la formulación y desarrollo de nuevos materiales de obturación endodóntica con características optimizadas para aumentar la longevidad y el éxito de los tratamientos de conductos radiculares (Camilleri et al., 2022).

Por lo tanto, esta investigación propuso comparar la resistencia compresiva de tres cementos endodónticos ampliamente utilizados: MTA, silicato de calcio y óxido de zinc. Mediante ensayos *in vitro*, se determinó cómo estas composiciones diferentes afectan la capacidad de los cementos para resistir fuerzas compresivas, con el objetivo de proporcionar información útil para la selección y aplicación clínica adecuada de estos materiales en el tratamiento de conductos radiculares.

En ese sentido, se expone la siguiente pregunta como formulación del problema identificado: “¿Cuál es la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, *in vitro*?”

1.2. Antecedentes

Jang et al. (2023) en Corea del Sur, presentaron el propósito de “comparar las propiedades físicas de cuatro cementos a base de silicato de calcio, 2 tipos de mezcla polvo-líquido (Retro MTA ® [RTMX] y Endocem ®MTA Zr [EZMX] y dos tipos de materiales premezclado (Well -Root™PT [WRPR] y Endocem ® MTA premezclado [ECPR])”. La resistencia a la compresión fue mayor en ECPR con 76,67 Mpa y una variación de 25,67 Mpa. Le siguió WRPR, con 38,39 Mpa y una variación de 7,25 Mpa; RTMX, con 35,07 Mpa y una diferencia de 5,34 Mpa; y finalmente EZMX, que presentó el valor más bajo, con 4,07 Mpa y una variación de 0,60 Mpa. En conclusión, en la prueba de resistencia a la compresión, se observó una diferencia estadística entre EZMX, que mostró la resistencia a la compresión más baja, y ECPR, que mostró la resistencia a la compresión más alta ($p < 0,0083$).

Kang et al. (2021) también en Corea del Sur, presentaron como objetivo “evaluar y comparar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de Endocem MTA (EC), Dia-Root Bio MTA (DR), RetroMTA (RM) y ProRoot MTA (PR)”. Cada material de MTA se mezcló y se llenó en un molde de 4 mm de diámetro y 8 mm de longitud. Se prepararon siete muestras cilíndricas para cada grupo. Los especímenes fueron sometidos a un proceso de incubación en condiciones de saturación hídrica (100% de humedad relativa) manteniendo una temperatura constante de $37 \pm 1^\circ\text{C}$. Para la resistencia a la compresión se molieron con 7 días después de la preparación. Se utilizó una máquina de prueba universal controlada por computadora (Modelo 3366; Instron®, Norwood, MA, EE. UU.) para comprimir las muestras. La resistencia a la compresión se midió a una velocidad de la cruceta de 0,25 mm/min. La resistencia mecánica de RM no fue significativamente diferente de la de PR ($p > 0,05$); sin embargo, los grupos EC y DR no fueron tan fuertes como PR ($p < 0,05$). En conclusión, los resultados de este estudio confirmaron que EC, RM, DR y PR exhiben propiedades fisicoquímicas y mecánicas clínicamente aceptables.

Rodrigues et al. (2021) en Brasil, llevaron a cabo su publicación con el objetivo de “comparar las biocerámicas Biodentine, MTA Repair HP y Bio-C Repair en términos de fuerza de unión a la dentina, modo de falla y compresión”. Se preparó un total de 10 muestras de biocerámica de forma cilíndrica para probar la resistencia de compresión. La normalidad de la distribución de los datos se analizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para la resistencia a la compresión se analizó mediante el “análisis de varianza” y la “prueba de Tukey”, considerando un nivel de significancia de 0,05. Biodentine mostró un rendimiento superior en la resistencia a la compresión, registrando una media de 29,59 MPa (desviación estándar: 8,47). En comparación, MTA Repair HP y Bio-C Repair mostraron resultados inferiores, con medias de 18,68 MPa (desviación estándar: 7,40) y 19,96 MPa (desviación estándar: 3,96) respectivamente. La diferencia observada entre estos materiales se confirmó con un valor p inferior a 0,05. Se concluyó que Biodentine mostró una mayor resistencia a la compresión que los demás especímenes.

Eskandarinezhad et al. (2020) en Irán, propusieron el objetivo de “investigar la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc e hidroxiapatita sobre la resistencia a la compresión del MTA blanco (WMTA)”. Fue un estudio *in vitro* en el cual se evaluaron los siguientes materiales: MTA, MTA+5% nanopartículas de óxido de zinc (ZnO), MTA+10% nanopartículas de óxido de zinc, MTA+5% nanopartículas de hidroxiapatita (HA), MTA+10% nanopartículas de óxido de zinc. La resistencia a la compresividad en los diferentes grupos investigados se midió los días 4 y 21 después de mezclar el MTA usando una máquina de prueba universal. Se utilizó la prueba ANOVA de dos vías para comparar los grupos y determinar la importancia del efecto del tiempo y el material sobre la resistencia a la compresión ($p < 0,05$). La fuerza de compresión en todos los grupos aumentó con el tiempo desde el día 4 hasta el día 21. Sin embargo, este aumento no fue estadísticamente significativo ($p = 0,06$), excepto en el grupo MTA, que exhibió un aumento significativo en la fuerza de

compresión con el tiempo desde el día 4 hasta el día 21 ($p = 0,007$). En conclusión, la incorporación de nanopartículas de HA y ZnO en MTA no tuvo efectos perjudiciales sobre su resistencia y estas nanopartículas pueden usarse para mejorar las otras propiedades del MTA.

Adel y Mohammad (2019) en Egipto, presentaron como objetivo “evaluar la resistencia de compresión y radiopacidad in vitro de denovo cemento de silicato de calcio sintetizado que contiene zinc nanopartículas de óxido versus materiales comerciales”. Se prepararon un total de 100 muestras para este estudio, 25 en cada uno de los 4 grupos de materiales: Cemento de silicato de calcio sintetizado (SYNT), Nano óxido de zinc agregado al cemento de silicato de calcio sintetizado (NANO), Agregado Trióxido Mineral blanco Angelus (MTA) y Theracal (THCL). Luego, las 25 muestras se distribuyeron de la siguiente manera: 10 se probaron para determinar la MPa el día diez, los otros 10 para determinar MPa el día treinta; las últimas 5 muestras fueron analizadas para determinar su radiopacidad. Los resultados medios de MPa en el día diez se registró más alto para THCL-10 ($55,35 \pm 9,82$), mientras que el valor más bajo se registró para NANO-10 ($4,90 \pm 1,61$). El MPa medio más alto en el día treinta fue registrado por NANO-30 ($52,66 \pm 19,30$) y el valor más bajo se registró para SYNT-30 ($21,70 \pm 2,55$). Todos los subgrupos del día diez en comparación con los del día treinta mostraron diferencias estadísticas con significancia en $p < 0,05$; cuando el MPa medio de SYNT-30 fue menor que el de SYNT-10, se observó lo mismo en los subgrupos de THCL. En cuanto a que el MPa medio de NANO-30 fue mayor que el de NANO-10, los subgrupos de MTA expresaron los mismos resultados. En conclusión, la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc en base de silicato de calcio mejora las propiedades físico-mecánicas del cemento expresadas en términos de resistencia a la compresión en comparación con materiales disponibles comercialmente como MTA y Theracal.

Rivera (2022) en Lima, Perú; propuso como objetivo “determinar la resistencia mecánica a la fuerza compresiva de materiales biocerámicos endodónticos MTA, MTA Repair

HP y NeoMTA2”. El grupo de muestra se compuso de 60 especímenes divididos en 20 muestras para cada variante de materiales biocerámicos. Se llevó a cabo una comparación de secciones longitudinales, evaluando la resistencia a la fuerza compresiva de los materiales MTA, MTA Repair HP y NeoMTA2 en condiciones in vitro después de 7 y 28 días desde su preparación. El análisis de diferencias estadísticas se realizó mediante pruebas de Anova y Shapiro, revelando que la resistencia a la fuerza compresiva fue superior a los 28 días en comparación con los 7 días. Específicamente, se obtuvieron los siguientes valores: para MTA 18.7810 MPa a los 28 días y 13.8810 MPa a los 7 días; para MTA Repair HP 39.2890 MPa a los 28 días y 21.8990 MPa a los 7 días; y para NeoMTA2 23.0190 MPa a los 28 días y 34.1920 MPa a los 7 días. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre MTA y MTA Repair HP, así como una discrepancia significativa en relación a la temporalidad ($p < 0.001$). En resumen, se observó que NeoMTA2 presenta una mayor resistencia compresiva en comparación con MTA y MTA Repair HP.

Navarro (2021) en Lima, Perú, llevaron a cabo la finalidad de “determinar la resistencia a la compresión de la microdureza superficial de cuatro cementos a base de silicato de calcio; cemento Portland blanco, Portland gris, Mineral trióxido agregado (MTA Angelus®) y Biodentine™”. Fue un trabajo que se desarrolló como experimental, descriptiva, transversal y comparativa en condiciones in vitro. El conjunto de muestras estuvo constituido por 80 especímenes cilíndricos elaborados con cemento de silicato cálcico, organizados en cuatro grupos equitativos de 20 unidades cada uno. Posteriormente, los grupos se subdividieron en dos subgrupos, uno evaluado a las 24 horas y el otro a las 48 horas. La evaluación de la microdureza se realizó mediante un microdurómetro Vickers, efectuando tres penetraciones con cargas de 10, 25 y 50 gramos en cada cuerpo muestral. La información se registró en una ficha donde se consignaron las mediciones de fractura de cada muestra. El análisis de la resistencia a la compresión de la microdureza superficial, realizado tras 24 horas, mostró que

el cemento Biodentine™ destacó con un valor de 33,33 kg/mm². Le siguieron en rendimiento los cementos Portland blanco y gris, registrando 6,18 y 6,81 kg/mm² respectivamente. Por su parte, el MTA Angelus® exhibió el menor valor, alcanzando 5,07 kg/mm². tras 48 horas reveló que el cemento Biodentine™ destacó notablemente con un valor de 38,42 kg/mm². Los cementos Portland blanco y gris mostraron resultados intermedios, alcanzando 7,95 y 8,41 kg/mm² respectivamente. El MTA Angelus® registró el menor valor, con 7,44 kg/mm². Estas variaciones entre los grupos se confirmaron como estadísticamente significantes ($p > 0,05$). Como conclusión, se demostró la superioridad del cemento Biodentine™ en términos de resistencia compresiva de la microdureza superficial, superando al MTA Angelus® y a ambas variantes del cemento Portland, tanto a las 24 como a las 48 horas de evaluación.

Luis (2021) en Lima, Perú en su tesis tuvo como finalidad “evaluar la resistencia a la compresión de tres cementos biocerámicos, MTA, MTA Repair HP y Biodentine in vitro”, se empleó una metodología experimental, aplicativa y comparativa. Se utilizaron 60 especímenes cilíndricos en total, 20 por cada tipo de cemento, con dimensiones de 6 mm de diámetro y 4 mm de longitud. Las mediciones se realizaron a las 24 y 48 horas tras la preparación de los materiales. Se realizó el análisis estadístico mediante las prueba de “Anova y Shapiro-Wilk”. Se reveló un incremento en la resistencia compresiva de todos los cementos a las 48 horas en comparación con las 24 horas. El MTA pasó de 2,51 MPa a 3,69 MPa, el MTA Repair HP de 1,47 MPa a 2,96 MPa, y el Biodentine de 51,28 MPa a 69,97 MPa. Estos contaron con una significancia estadística ($p < 0,001$). Se concluyó que el Biodentine mostró una resistencia a la compresión notablemente superior en comparación con el MTA y el MTA Repair HP, lo que podría considerarse como la alternativa más favorable entre los materiales biocerámicos basados en silicato de calcio.

Reina (2021) en Lima, Perú presentó la finalidad de “determinar la resistencia experimental a la compresión del Cemento Portland (CP) asociado con micropartículas de

circonio (OZi) en comparación al MTA Lima – 2020”. Fue de carácter experimental *in vitro* y prospectivo. Se emplearon tres tipos de cementos: Portland, MTA Angelus y Portland con micropartículas de circonio (CP + OZi), cada uno con 10 cuerpos de prueba, para un total de 30 muestras. La evaluación de la capacidad de los cementos experimentales basados en silicato de calcio para resistir fuerzas compresivas se llevó a cabo empleando una “máquina de ensayo Universal Instron®”. Este equipo especializado se utilizó para aplicar una fuerza gradual sobre los especímenes, medida en kiloNewtons (kN), a una tasa constante de desplazamiento de 1 milímetro por minuto y expresando los resultados en MPa. Se observó que el CP obtuvo la resistencia más alta, seguido por el MTA Angelus y, finalmente, el CP + OZi, luego de un período de 48 horas. De acuerdo con estos resultados, se concluyó que el agregado de micropartículas de circonio al Cemento Portland no produjo un incremento en su rendimiento mecánico tras un período de 48 horas, sin embargo, este último cemento podría ser considerado como una alternativa viable a los materiales basados en MTA.

Cuzquen et al. (2022) en Lima, Perú tuvieron como fin “comparar la resistencia a la compresión de dos materiales de recubrimiento pulpar directo”. Fue de tipo experimental *in vitro*. La muestra estuvo constituida por 40 cuerpos de pruebas, 20 para el material A (MTA) y las otras 20 para el material B (TheraCal). Se fabricaron especímenes discoidales de materiales experimentales basados en silicato de calcio, adhiriéndose estrictamente a los protocolos establecidos en las normas ISO 9917/2013. Estos cuerpos de prueba cilíndricos presentaban dimensiones específicas: una altura de 6 milímetros y un diámetro de 4 milímetros. La preparación de estas muestras se realizó siguiendo las indicaciones proporcionadas por el fabricante. Tras someter el "Material A" a pruebas de resistencia compresiva, se determinó que, transcurridas 24 horas desde su elaboración, este exhibió un promedio de 47,13 MPa, mientras que a los 21 días fue de 86,50 MPa. En cuanto al "Material B", su resistencia promedio a las 24 horas fue de 148,43 MPa y a los 21 días fue de 154,95 MPa. Se evidenció que el “Material

B” mostró una capacidad superior para soportar fuerzas compresivas en comparación con el “Material A”, esta superioridad, se mantuvo constante tanto en la evaluación realizada a las 24 horas posteriores a la preparación, como en el análisis efectuado transcurridos 21 días. En consecuencia, se concluye que el “Material B” es una opción preferente y más ventajosa en comparación con las alternativas evaluadas.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Comparar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA, in vitro.

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio, in vitro.

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc, in vitro.

1.4. Justificación

Teórica

La resistencia compresiva es una propiedad fundamental en los materiales utilizados en endodoncia, ya que estos deben soportar las fuerzas generadas durante el proceso de obturación del conducto radicular y resistir las cargas masticatorias una vez aplicados en la restauración final. Diferentes cementos endodónticos han sido desarrollados con composiciones distintas, tales como el MTA, el silicato de calcio y el óxido de zinc, cada uno con propiedades físicas y químicas únicas que pueden influir en su resistencia compresiva.

Práctica

Este estudio tuvo como objetivo evaluar y comparar la resistencia compresiva de tres cementos endodónticos con composiciones diferentes: MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, mediante pruebas in vitro. La selección de estos materiales se basa en su amplio uso en la práctica clínica y su relevancia en la obturación y restauración endodóntica.

Social

La información obtenida de este estudio proporciona datos valiosos sobre la capacidad de estos cementos para resistir fuerzas compresivas, lo cual es crucial para determinar su idoneidad en aplicaciones clínicas específicas. Además, permite a los profesionales de la odontología tomar decisiones informadas al seleccionar el material más adecuado para cada caso clínico, contribuyendo así a mejorar la eficacia y durabilidad de los tratamientos endodónticos.

1.5. Hipótesis

Existen diferencias significativas en la resistencia a la comprensión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. Endodoncia

La endodoncia aborda el tratamiento relacionado con la anatomía, función, lesiones y patologías que afectan la pulpa dental y el área perirradicular, junto con la prevención de tales problemas. En la mayoría de los casos, la periodontitis apical surge principalmente como consecuencia de procesos infecciosos (Duncan et al., 2023).

La comprensión de los factores causales, la identificación precisa de las manifestaciones dolorosas y el reconocimiento de las diversas patologías que afectan a las estructuras dentales constituyen elementos fundamentales e indisolubles en el ejercicio profesional de la endodoncia. El alcance del área especial de la práctica odontológica conocida como endodoncia está dentro de los requisitos educativos para la formación de un dentista, tal como lo menciona la Sociedad Europea de Endodoncia en las directrices del plan de estudios de pregrado en Endodoncia (European Society of Endodontology, 2006).

El tratamiento de endodoncia comprende una serie de procedimientos destinados a preservar la salud de la totalidad o parte de la pulpa dental. En situaciones donde la pulpa dental se encuentra enferma o lesionada, el tratamiento busca conservar la integridad de los tejidos perirradiculares. En casos de periodontitis apical, el objetivo del tratamiento es restaurar la salud de estos tejidos, lo cual suele lograrse mediante intervenciones de tratamiento de conducto, ocasionalmente complementadas con endodoncia quirúrgica (European Society of Endodontology, 2006).

En el caso de que la terapia endodóntica no pueda ser realizada en una sola sesión, es crucial sellar temporalmente el espacio de la pulpa con un cemento adecuado. Este cemento temporal debe poseer características esenciales, como proporcionar un sellado efectivo para

prevenir la contaminación del espacio pulpar por bacterias y fluidos procedentes de la cavidad oral (Pérez, 2023).

En ese sentido, el alcance de la endodoncia parte del objetivo principal de la odontología de mantener una dentición sana y natural para la población, la finalidad del tratamiento endodóntico es preservar los dientes funcionales sin perjudicar la salud del paciente (Löst, 2006).

2.1.2. Cementos endodónticos

La selección de un cemento endodóntico para su aplicación clínica es una elección fundamental que influye directamente en el éxito a largo plazo del tratamiento de conducto no quirúrgico. Los selladores, empleados en forma de pasta fina y pegajosa, desempeñan un papel crucial al actuar como lubricantes y agentes de fijación durante el proceso de obturación (Gasner y Brizuela, 2023).

Los cementos selladores desempeñan un papel crucial en la obturación endodóntica, ya que poseen la capacidad de penetrar y obturar espacios diminutos, conductos laterales y accesorios que los materiales de obturación principal no logran alcanzar. La eficacia de estos selladores es fundamental, pues si no cumplen adecuadamente su función, existe el riesgo de que se produzca una microfiltración. Este fenómeno puede comprometer el éxito del tratamiento endodóntico no quirúrgico, al permitir la infiltración imperceptible de microorganismos, fluidos orales, moléculas o iones entre la estructura dental y el material de restauración, lo que podría conducir al fracaso terapéutico y a la necesidad de retratamiento. Conocer las cualidades y características de un cemento endodóntico es fundamental para determinar el mejor selección y aplicación para cada caso clínico. Los cementos endodónticos se categorizan según su composición química y el proceso de fraguado que experimentan. Esta clasificación abarca una amplia gama de sistemas, incluyendo aquellos basados en óxido de zinc-eugenol, salicilato, ácido graso, ionómero de vidrio, silicona, resina epoxi, silicato

tricálcico y resina de metacrilato. En la búsqueda constante de mejorar las propiedades de estos materiales, se han desarrollado selladores innovadores que incorporan cargas o polvos cerámicos bioactivos. Entre estos aditivos destacan el hidróxido de calcio, el agregado de trióxido mineral (MTA) y diversos fosfatos de calcio. No obstante, estos selladores en su mayoría se componen de las matrices selladoras mencionadas anteriormente (Komabayashi et al., 2020).

2.1.2.1. Silicato de calcio. Los cementos de silicato de calcio se introdujeron en la odontología inicialmente para reparar perforaciones y para usarse como materiales de obturación radicular. El uso de tales materiales, que se originaron en la industria de la construcción, tenía el propósito específico de usarse en ambientes húmedos como los sitios quirúrgicos. Desde su introducción a mediados de la década de 1990, se han producido varios avances interesantes en estos materiales y ahora se ha reconocido que este grupo de cementos hidráulicos tiene una gran cantidad de usos en la práctica de endodoncia (Granados et al., 2022).

Dentro de las propiedades físicas y químicas de estos cementos es que son biocompatibles y tienen propiedades selladoras y bactericidas. Se adhieren bien a las paredes del conducto radicular y proporcionan un sellado hermético para prevenir la filtración bacteriana y la reinfección del canal (Corral-Núñez et al., 2016).

En cuanto al tiempo de fraguado puede variar dependiendo de la marca y la formulación específica del producto. Algunos cementos pueden tener un tiempo de fraguado más rápido, lo que permite una aplicación más rápida y conveniente durante el procedimiento endodóntico (Cahyanto et al., 2023).

Asimismo, los cementos endodónticos a base de silicato de calcio suelen tener una buena resistencia a la compresión y a la fractura, lo que contribuye a la durabilidad de la restauración endodóntica a largo plazo (Cahyanto et al., 2023).

2.1.2.2. Mineral trióxido agregado (MTA). El MTA fue desarrollado en la Universidad de Loma Linda, en la década de 1990 y se describió por primera vez como un cemento utilizado para reparar perforaciones radiculares laterales. La composición del MTA se caracteriza principalmente por ser una mezcla de silicatos de calcio, compuesta principalmente por óxido de calcio (CaO) (50–75% p/p) y dióxido de silicio (SiO₂) (15–25% p/p). Desde su desarrollo inicial, el MTA ha sido sometido a exhaustivas pruebas en entornos de laboratorio, investigaciones con animales y pruebas clínicas. Los resultados favorables obtenidos en estas investigaciones han establecido al MTA como un material ampliamente utilizado en el campo de la odontología pediátrica y la endodoncia (Ha et al., 2017).

En la actualidad es empleado principalmente para sellar perforaciones radiculares laterales y como material de obturación del extremo de la raíz. Se identificó el uso de MTA como material de obturación del extremo de la raíz porque el material es hidráulico y fragua en la presencia de agua. El primer MTA fue fabricado por Dentsply Sirona como ProRoot MTA (Tulsa Dental Products, Tulsa, OK, EE. UU.), hubo muy poco desarrollo en este campo debido al bloqueo de cualquier desarrollo adicional de material por parte de las solicitudes de patente estadounidenses. Posteriormente, Dentsply Sirona desarrolló un MTA blanco, se creía que este desarrollo era la solución a la decoloración de los dientes informada con MTA gris. El único otro avance fue la introducción de la MTA Angelus (Angelus Soluções Odontológicas, Londrina, Brasil), este material estuvo limitado para la venta en Brasil inicialmente hasta 2005, después de lo cual se desarrollaron y comercializaron más materiales para uso clínico (Camilleri, 2008).

2.1.2.3. Óxido de zinc. Los cementos basados en óxido de zinc-eugenol gozan de una amplia aceptación y uso en el campo de la odontología restauradora y la endodoncia. Entre sus ventajas destacan su accesibilidad económica, lo que los convierte en una opción costo-efectiva para diversos procedimientos. Además, estos cementos se caracterizan por su facilidad de

manipulación y aplicación, así como por la simplicidad en su remoción cuando es necesario. Sumado a esto, presentan propiedades antibacterianas que contribuyen a reducir el riesgo de infecciones postoperatorias, y ofrecen un efecto sedante que puede ser beneficioso en casos de sensibilidad dental. Otra característica notable es su capacidad para proporcionar un sellado cavitario eficaz, lo cual es crucial para prevenir la microfiltración y asegurar el éxito a largo plazo de los tratamientos restauradores y endodónticos. No obstante, se ha sugerido que la presencia de eugenol en estos cementos puede tener un efecto adverso en la adhesión de los sistemas adhesivos comúnmente utilizados. Además, se ha señalado que la presencia de residuos de materiales eugenólicos puede afectar negativamente las propiedades físicas de los materiales restauradores resinosos, lo que podría resultar en fracasos debido a una menor resistencia adhesiva, adaptación marginal deficiente y microfiltración en las restauraciones. Estos cementos tienen un tiempo de manipulación prolongado, son plásticos, endurecen lentamente en ausencia de humedad y muestran poco cambio volumétrico; sin embargo, se utilizan mejor para restaurar una cavidad de acceso convencional que un defecto más grande ya que se han registrado casos en los que los cementos a base de óxido de zinc eugenol sobre tejidos vivos, pueden producir una reacción, que puede ser una respuesta inflamatoria de leve a severa (Bezerra et al., 2019).

El cemento que se utiliza en la actualidad representa una evolución del cemento original desarrollado por Grossman. Este material tiene sus raíces en la formulación inicial creada por Rickert, quien posteriormente lo introdujo al mercado odontológico a través de la compañía Kerr Sybron Corp. Este cemento poseía muchas propiedades favorables debido a su composición, pero tenía el inconveniente de pigmentar el tejido dental debido a la presencia de una porción de plata, la cual se utilizaba para conferirle radiopacidad. Alrededor de 1958, Grossman reformuló el cemento, eliminando el componente pigmentador sin sacrificar su capacidad de proporcionar radiopacidad. Esta versión mejorada del cemento de Grossman se

convirtió en un punto de referencia para el desarrollo de otros cementos en la industria (Mendoza, 2018).

En la actualidad las marcas comerciales más conocidas son:

Tubliseal (Kerr Sybron Corp.)

Cemento de Wach's (Roth Pharmacy)

Pulp Canal Sealer (Kerr Manufacturing Co.)

EndoSeal (Ultradent Products, Inc.)

Bioseal (Ogna, Italia)

Can - A-Seal (Schein)

Endo-Fill (Dentsply, Brasil)

Fill Canal (D.G. Ligas Odontológicas, Brasil) (Mendoza, 2018).

2.1.2.4. Resistencia compresiva en los cementos endodónticos. La resistencia a la compresión es un indicador de la reacción de fraguado y la estabilidad de los materiales (Sobhnamayan et al., 2017).

En el contexto de los cementos endodónticos, esta característica es importante porque estos materiales se utilizan para rellenar los conductos radiculares y proporcionar un sellado hermético, lo que contribuye a la estabilidad y la longevidad del tratamiento de endodoncia. Una alta resistencia a la compresión en los cementos endodónticos garantiza que puedan soportar las fuerzas masticatorias y las tensiones a las que están sometidos en el entorno oral, lo que ayuda a prevenir la fractura del material y la filtración bacteriana, lo que a su vez reduce el riesgo de reinfección del diente tratado (Gasner y Brizuela, 2023).

Es importante destacar que la resistencia compresiva de los cementos endodónticos puede variar dependiendo de varios factores, como la composición exacta del material, el proceso de fabricación y las condiciones de prueba específicas (Baghdadi et al., 2021).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Experimental, analítico, transversal, prospectivo y comparativo.

3.2. Ámbito temporal y espacial

El presente estudio se realizó en el año 2024 en el laboratorio privado High technology en Lima, Perú.

3.3. Variables

3.3.1. Variable Principal

- Resistencia compresiva.

3.3.2. Operacionalización de la Variable

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	ESCALA VALORATIVA
Resistencia compresiva	Capacidad para soportar una carga por unidad de área	Máquina universal	Cuantitativa de razón	Mpa

3.4. Población y muestra

La población de estudio fueron todos los especímenes de cementos de endodoncia compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc.

La muestra para cada grupo de evaluación estuvo constituida por ocho especímenes de acuerdo a la norma ISO 9917-1:2007. Siendo la distribución de los grupos de la siguiente manera:

Grupo A: especímenes con cementos de endodoncia compuestos por MTA.

Grupo B: especímenes con cementos de endodoncia compuestos por silicato de calcio.

Grupo C: especímenes con cementos de endodoncia compuestos por óxido de zinc.

3.4.1. Criterios de selección

3.4.4.1. Criterios de Inclusión. Fue tomado en cuenta los siguientes criterios:

- Especímenes sin cuerpos extraños.
- Especímenes sin burbujas.
- Especímenes sin fracturas y sin fisuras.
- Especímenes preparados según las indicaciones de los fabricantes.

3.4.4.2. Criterios de exclusión: Fueron excluidas las muestras que presentaron:

- Especímenes con alguna irregularidad en la superficie
- Especímenes que no cumplan con las medidas que se establecen.

3.5. Instrumentos

- En la investigación se empleó la ficha de recolección de datos, en la cual se registraron los datos numéricos de la fuerza compresiva en los distintos tipos de muestras de los cementos endodónticos hasta la fractura del material (Anexo B).

- Máquina digital de prueba universal (Modelo CMT-5L, Korea):

Esta máquina presenta una cabina que debe ser mantenida a una temperatura de 37.1°C , y a una humedad relativa de 30%. Para determinar la resistencia a la compresión se divide el molde con las placas. El molde presenta una dimensión de 6.0 ± 0.1 mm de alto y de 4.0 ± 0.1 mm de diámetro. Además, tienen una abrazadera de tornillo, un micrómetro de tornillo con graduaciones de $2 \mu\text{m}$ o menos y un probador mecánico que opera a una velocidad de 0.75 ± 0.3 mm/min y una velocidad de carga de 50 ± 16 N/min.

Las máquinas de ensayo universales, comúnmente llamadas máquinas de pruebas de tracción, utilizan sistemas electromecánicos e hidráulicos para llevar a cabo ensayos de tracción, compresión, flexión, pelado, desgarrado, cizallamiento, fricción y otras pruebas mecánicas siguiendo las normas ISO. El uso de este equipo ayuda a evitar sesgos en las mediciones, ya que deben estar debidamente calibradas.

3.6. Procedimientos

El investigador recibió formación por parte de un especialista en endodoncia, quien lo instruyó detalladamente en el proceso de preparación de las muestras empleadas en el estudio. A lo largo de todo el procedimiento, fue únicamente el investigador quien se encargó de realizar la mezcla de los materiales, siguiendo estrictamente las indicaciones proporcionadas por el fabricante para asegurar la precisión en cada etapa del proceso.

3.6.1. Preparación de especímenes

El experimento de resistencia a la compresión se realizó según la norma ISO 9917-1:2007, que especifica los requisitos y métodos de prueba para cementos dentales a base de ácido en polvo/líquido para cementación permanente, imprimación y restauración.

La muestra para cada grupo de evaluación estuvo compuesta por ocho especímenes en total. La distribución de los grupos se organizó de la siguiente manera:

Grupo A: 8 especímenes con cementos de endodoncia compuestos por MTA de la marca Angelus[®]. La composición de este material es de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de calcio y tungstato de calcio. Tiene una presentación de dos sobres, en los cuales cada uno de estos contiene 0.14g siendo un total de 0.28 g. Presenta un tiempo de fraguado inicial de 10 minutos hasta un tiempo final de 15 minutos, es de baja solubilidad, la expansión de fraguado permite una alta capacidad de sellado marginal, estimula la regeneración pulpar y es hidrofílico. Para su uso, se debe mezclar el contenido de un sobre con una gota de agua destilada en una placa de vidrio esterilizada durante 30 segundos y se verifica que la mezcla tenga una consistencia adecuada (Angelus, 2016).

Grupo B: 8 especímenes con cementos de endodoncia compuestos por silicato de calcio como el Biodentine[™] de Septodont. El polvo contiene silicato tricálcico, óxido de circonio, carbonato de calcio y colorantes. La solución acuosa está compuesta por cloruro de calcio y policarboxilato. Para usarlo se debe abrir una cápsula y colocarla en un soporte blanco para

cápsulas, se vierten 5 gotas del envase en la cápsula, esta capsula debe mezclarse en un vibrador a 4000 y 4200 revoluciones/min durante 30 segundos y se verifica que la consistencia sea la adecuada. Es un sustituto bioactivo de la dentina, siendo un buen reemplazante a nivel coronario y radicular, presenta un tiempo de fraguado de 12 minutos (Septodont, 2020).

Grupo C: 8 especímenes con cementos de endodoncia compuestos por óxido de zinc conocido como EndoFill de la marca Dentsply Sirona. La composición del EndoFill polvo es de óxido de zinc, resina hidrogenada, subcarbonato de bismuto, sulfato de bario y borato de sodio. El EndoFill líquido se compone de eugenol, óleo de almendras y BHT. Se debe preparar dispensando 3 gotas de líquido y se agrega polvo gradualmente hasta alcanzar una consistencia que al levantar la espátula forme un hilo de cemento que debe romperse a una longitud de 2cm. Su tiempo de fraguado es de 20 minutos y presenta un efecto analgésico (Dentsply Sirona, s.f.)

Todos los materiales se colocarán en moldes divididos de acero inoxidable (dimensiones internas: altura, 6 mm; diámetro 4 mm) y se mantendrá a 37° C durante 6 horas.

3.6.2. Medición de la resistencia a la compresión

La muestra se colocó en la máquina de prueba universal (Modelo CMT-5L, Korea) de manera que permitiera la aplicación de una carga en su eje mayor; la carga compresiva inicial fue de 100 kN a una velocidad de 1,0 mm/min hasta que se produjera una fractura. Se registró el valor de carga máximo requerida para causar la fractura en la ficha de recolección de datos.

3.7. Análisis de datos

Se elaboró una matriz de datos utilizando el software Microsoft Excel como plataforma inicial para la organización y almacenamiento de la información recopilada. Esta base de datos fue diseñada con el propósito de facilitar su posterior importación y análisis en el programa estadístico STATA, en su versión 18.0. En cuanto al análisis descriptivo, se elaboraron tablas mostrando las medias, desviación estándar, mediana, mínimo y máximo por cada grupo de cemento. Además, se crearon gráficas de barras con sus respectivos intervalos de confianza

para una representación visual de los resultados. Para evaluar la normalidad de la distribución de los datos de la resistencia a la compresión de cada cemento, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Al comprobar que los datos seguían una distribución normal, se procedió a utilizar pruebas estadísticas paramétricas. Para comparar las resistencias promedio entre los tres cementos, se empleó la prueba F obtenida a través de la técnica del análisis de varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de $p < 0,05$ y un nivel de confianza del 95%. Posteriormente, se realizó la prueba de comparación post hoc de Bonferroni para evaluar entre qué pares de medias existían diferencias significativas. Todo el análisis estadístico se llevó a cabo con un nivel de significancia de 0,05, permitiendo así una interpretación confiable de los resultados obtenidos en el estudio de resistencia a la compresión de los cementos endodónticos.

3.8. Consideraciones éticas

El presente estudio se desarrolló sin implicaciones éticas significativas, dado que su enfoque principal consistió en la evaluación comparativa de la resistencia a la compresión de diversos cementos endodónticos, sin involucrar en ningún momento contacto directo con seres humanos. Los materiales utilizados durante la investigación fueron adquiridos con los recursos propios del investigador. Además, los equipos empleados en los experimentos fueron operados por profesionales capacitados, quienes se aseguraron de seguir estrictamente las normas vigentes de bioseguridad. Cabe destacar que estos profesionales no tenían ningún vínculo con las empresas que fabrican los cementos endodónticos utilizados, lo que garantiza que no existieron conflictos de interés en el desarrollo de este trabajo de investigación.

IV. RESULTADOS

Se evaluó la resistencia a la compresión de los tres cementos endodónticos. Los valores fueron medidos en MPa, fueron analizados utilizando pruebas estadísticas paramétricas, incluyendo ANOVA y la prueba post hoc de Bonferroni. Se calcularon medidas descriptivas como media, desviación estándar, mediana, mínimo y máximo para cada grupo de cemento.

Tabla 1

Prueba de Normalidad de los datos con la prueba Shapiro Wilk

Grupo	p
MTA	0.2744
Silicato de calcio	0.2324
Óxido de zinc	0.4817

Nota. Se realizó la prueba de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk, dado que la muestra era pequeña (menor de 50). En los tres grupos, se obtuvo una distribución normal de la resistencia a la compresión ($p > 0.05$). Por lo tanto, para describir los datos se utilizaron la media aritmética, la desviación estándar, el valor mínimo y máximo. Para la comparación entre los grupos, se empleó la técnica de análisis de varianza (ANOVA) y se utilizó la prueba post hoc de Bonferroni para identificar entre cuáles grupos existieron diferencias estadísticamente significativas. $P > 0.05$ (existe normalidad de los datos).

Tabla 2

Comparar la resistencia a la compresión de los cementos endodónticos compuestos por MTA, Silicato de calcio y Óxido de zinc, in vitro

Grupo	Media	E.S	IC al 95%		p
MTA	54.0	4.97	43.68	64.23	0.0000
Silicato de Calcio	61.4	7.89	45.05	77.68	
Óxido de zinc	10.7	0.68	9.31	12.14	

Nota. Se observó que el cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio presentó la mayor resistencia a la compresión promedio con 61.4 MPa, seguido del cemento compuesto por MTA con 54 MPa y del cemento de óxido de zinc con 10.7 MPa. Al comparar entre ellos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). Para identificar entre qué grupos existían estas diferencias, se utilizó la prueba de comparación múltiple de Bonferroni. Los resultados mostraron que el cemento de óxido de zinc presentó diferencias significativas respecto a los cementos de MTA y silicato de calcio ($p < 0.05$). Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el MTA y el silicato de calcio ($p > 0.05$).

Prueba estadística F (usando ANOVA). $P < 0.05$ es significativo.

Figura 1

Comparar la resistencia a la compresión de los cementos endodónticos compuestos por MTA, Silicato de calcio y Óxido de zinc, *in vitro*

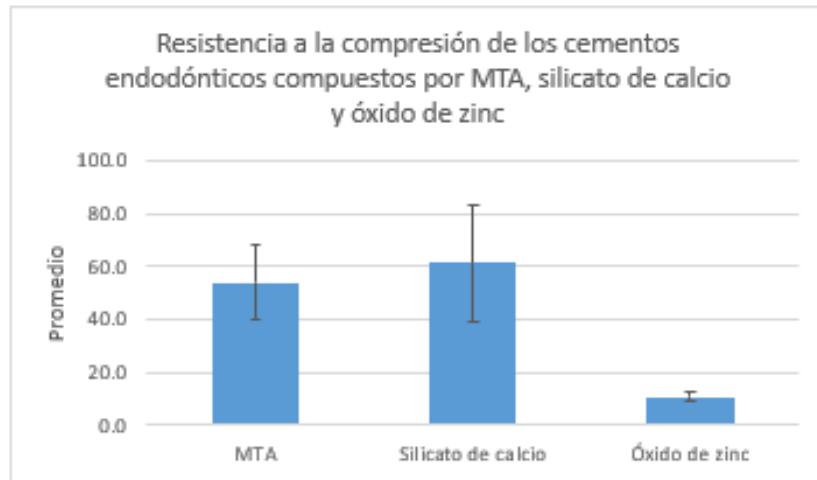


Tabla 3

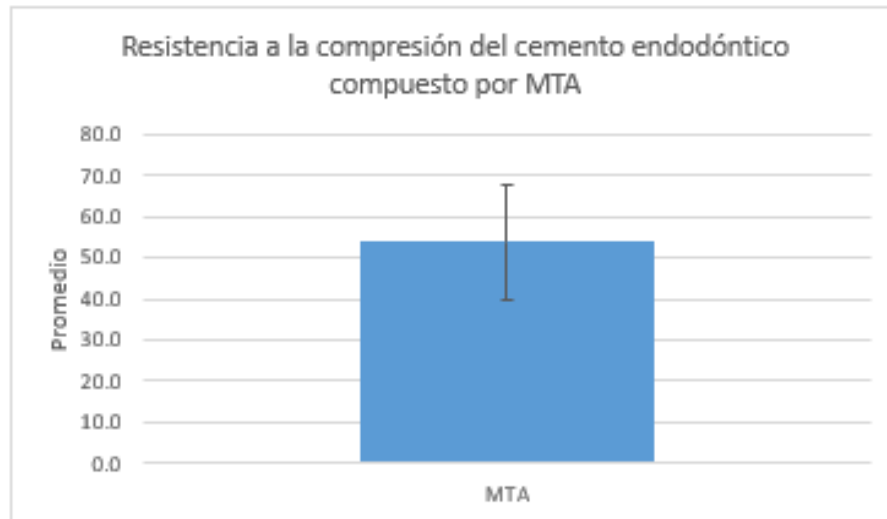
Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA, *in vitro*

	N	Media	D.E.	Mediana	Min	Max
MTA	8	54.0	14.0	53.7	37.2	83.2

Nota. La resistencia compresiva del cemento endodóntico compuesto por MTA tuvo un promedio de 54 MPa con una desviación estándar de 14 MPa, y los valores oscilaron entre 37.2 y 83.2 MPa.

Figura 2

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA, in vitro

**Tabla 4**

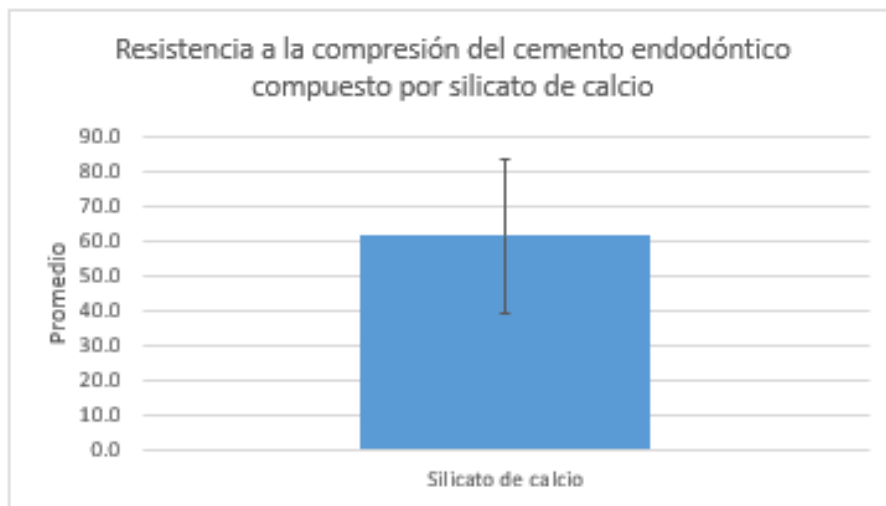
Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio, in vitro

	N	Media	D.E.	Mediana	Min	Max
Silicato de calcio	8	61.4	22.3	53.9	36.6	107.5

Nota. La resistencia compresiva del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio tuvo un promedio de 61.4 MPa con una desviación estándar de 22.3 MPa. Los valores estuvieron entre 36.6 y 107.5 MPa.

Figura 3

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por silicato de calcio, in vitro

**Tabla 5**

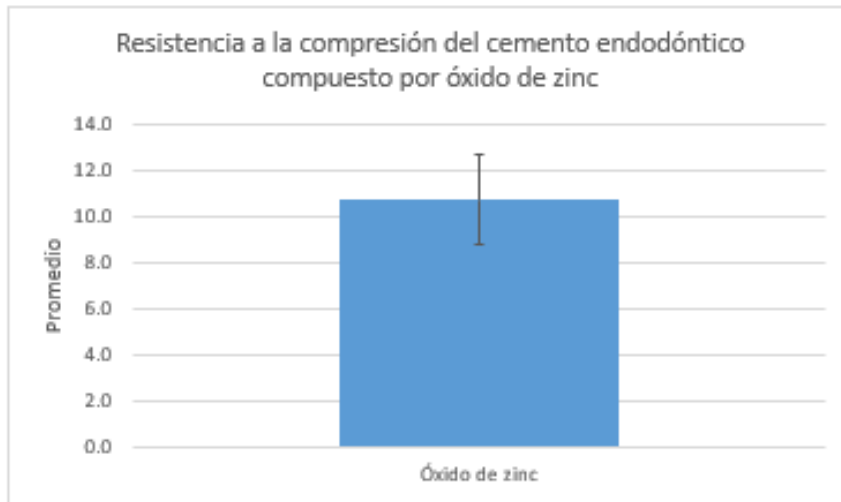
Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc, in vitro

	N	Media	D.E.	Mediana	Min	Max
Óxido de zinc	8	10.7	1.9	11.2	6.9	12.9

Nota. La resistencia compresiva del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc tuvo un promedio de 10.7 MPa con una desviación estándar de 1.9 MPa. Los valores estuvieron entre 6.9 y 12.9 MPa.

Figura 4

Determinar la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por óxido de zinc, in vitro



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el presente estudio se evaluó la resistencia a la compresión de tres tipos de cementos endodónticos: Silicato de Calcio, MTA (Mineral Trióxido Agregado), y Óxido de Zinc. El análisis de los datos reveló que, el grupo compuesto por Silicato de Calcio mostró un rendimiento más sobresaliente, alcanzando una resistencia media de 61,4 MPa, aunque con una considerable variabilidad reflejada en una desviación estándar de 22,3 MPa. En segundo lugar se posicionó el grupo de MTA, exhibiendo una resistencia media de 54 MPa y una dispersión menor, con una desviación estándar de 14,0 MPa. En contraste, el grupo de Óxido de Zinc mostró un desempeño significativamente inferior, con una resistencia media de apenas 10,7 MPa y una desviación estándar relativamente baja de 1,9 MPa. La aplicación de la prueba ANOVA confirmó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados, respaldada por un valor p inferior a 0,05. El análisis post hoc de reveló que tanto el Silicato de Calcio como el MTA presentaron una resistencia a la compresión significativamente mayor que el Óxido de Zinc (diferencia de medias = 50.64 y 43.23, $p < 0.05$, respectivamente). No se encontraron diferencias significativas entre el Silicato de Calcio y el MTA (diferencia de medias = 7.41, $p = 0.603$).

Al comparar estos resultados con estudios previos, se observan algunas similitudes y diferencias clave. Por ejemplo, en el estudio de Jang et al. (2023) compararon las propiedades físicas de varios cementos a base de Silicato de Calcio y encontraron que el cemento premezclado Endocem MTA tenía una resistencia a la compresión significativamente mayor ($76,67 \pm 25,67$ MPa) en comparación con otros cementos. Aunque el valor absoluto de resistencia a la compresión es diferente, también destaca la superioridad del Silicato de Calcio en términos de resistencia a la compresión.

En el estudio de Kang et al. (2021) se evaluaron las propiedades mecánicas de diferentes MTAs y concluyeron que RetroMTA y ProRoot MTA mostraron una resistencia a la

compresión comparable y clínicamente aceptable, mientras que otros cementos como Endocem MTA y Dia-Root Bio MTA no fueron tan fuertes. Esto coincide con los hallazgos del presente estudio, donde el MTA mostró una alta resistencia a la compresión, similar al Silicato de Calcio.

Rodrigues et al. (2021) compararon Biodentine, MTA Repair HP y Bio-C Repair, encontrando que Biodentine presentó una resistencia a la compresión significativamente mayor ($29,59 \pm 8,47$ MPa). Aunque este valor es menor que los reportados en el presente estudio, refuerza la observación de que materiales basados en Silicato de Calcio y MTA presentan alta resistencia a la compresión.

Por otro lado, en el estudio de Eskandarinezhad et al. (2020) investigaron la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc e hidroxiapatita en el MTA y encontraron que esta adición no afectó negativamente la resistencia a la compresión. Los resultados del presente estudio muestran que el Óxido de Zinc solo, sin aditivos, tiene una resistencia mucho menor, lo que sugiere que la incorporación de nanopartículas podría ser necesaria para mejorar sus propiedades.

La importancia de estos resultados radica en su aplicación clínica en la endodoncia. La alta resistencia a la compresión de los cementos basados en Silicato de Calcio y MTA los convierte en materiales ideales para su uso en procedimientos donde la resistencia mecánica es crucial, como en la reparación de perforaciones y en el sellado apical. Además, estos hallazgos pueden guiar a los clínicos en la selección de materiales endodónticos, asegurando mejores resultados a largo plazo y contribuyendo a la durabilidad y éxito de los tratamientos endodónticos. La confirmación de que el Óxido de zinc tiene una resistencia significativamente menor subraya la necesidad de su uso en contextos específicos o con la adición de modificadores que mejoren sus propiedades.

VI. CONCLUSIONES

6.1. Al comparar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos se determinó que existe una diferencia significativa en la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc ($p < 0.05$). En particular, la resistencia a la compresión del cemento de óxido de zinc fue significativamente menor en comparación con los cementos de MTA y silicato de calcio.

6.2. Se determinó que la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por MTA fue en promedio 54 ± 14.0 Mpa.

6.3. Se determinó que la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por Silicato de Calcio tuvo la mayor resistencia a la compresión con un promedio de 61.4 ± 22.3 Mpa.

6.4. Se determinó que la resistencia a la compresión del cemento endodóntico compuesto por Óxido de Zinc fue en promedio 10.7 ± 1.9 Mpa.

VII. RECOMENDACIONES

7.1. Se sugiere realizar estudios adicionales que evalúen otros parámetros mecánicos y biocompatibilidad de estos cementos endodónticos, para proporcionar una evaluación más integral de su desempeño clínico.

7.2. Se recomienda a los profesionales de la endodoncia considerar el uso de cementos compuestos por silicato de calcio en procedimientos donde la resistencia a la compresión sea un factor crítico, debido a su mayor resistencia comparada con el MTA y el óxido de zinc.

7.3. Finalmente, se recomienda evaluar nuevos estudios que incluyan la evaluación de otros cementos comerciales de esta categoría. Estas futuras investigaciones deberían enfocarse en analizar y comparar tanto las propiedades físicas como mecánicas de estos materiales, con el fin de ampliar el conocimiento sobre su rendimiento y aplicabilidad clínica.

VIII. REFERENCIAS

- Adel, A. y Mohammad, A. (2019). Evaluation of compressive strength and radiopacity of denovo synthesized calcium silicate cement containing zinc oxide nanoparticles versus commercial materials. *Egyptian Dental Journal*, 65(2), 1741-1750. <https://doi.org/10.21608/EDJ.2019.72930>
- Angelus. (2016). Línea MTA: MTA Repair, MTA Angelus®, Aplicador de MTA, MTA - Fillapex. <https://www.aliadadental.es/archivos/categorias/1491480532.pdf>
- Baghdadi, I., AbuTarboush, B. J., Zaazou, A., Skienhe, H., Özcan, M., Zakhour, M. y Salameh, Z. (2021). Investigation of the structure and compressive strength of a bioceramic root canal sealer reinforced with nanomaterials. *Journal of Applied Biomaterials and Functional Materials*, 19. https://doi.org/10.1177/22808000211014747/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_22808000211014747-FIG6.JPEG
- Bezerra, C. P., Campos, C. F., Leite, J., Fernandes, M. S., Saraceni, C. H. C., Rodrigues, F. P. y Dutra-Correa, M. (2019). On the understanding of zinc-oxide eugenol cement use prior to etch-rinse bonding strategies. *Indian journal of dental research: official publication of Indian Society for Dental Research*, 30(3), 424-427. https://doi.org/10.4103/IJDR.IJDR_302_16
- Cahyanto, A., Rath, P., Teo, T. X., Tong, S. S., Malhotra, R., Cavalcanti, B. N., Lim, L. Z., Min, K. S., Ho, D., Lu, W. F. y Rosa, V. (2023). Designing Calcium Silicate Cements with On-Demand Properties for Precision Endodontics. *Journal of dental research*, 102(13), 1425-1433. <https://doi.org/10.1177/00220345231198185>
- Camilleri, J. (2008). The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 11(4), 141. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.48834>

- Camilleri, J., Atmeh, A., Li, X. y Meschi, N. (2022). Present status and future directions: Hydraulic materials for endodontic use. *International Endodontic Journal*, 55(S3), 710-777. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13709>
- Corral-Núñez, C., Fernández-Godoy, E., Casielles, J. M., Estay, J., Bersezio-Miranda, C., Cisternas-Pinto, P., Batista-de Oliveira Jr, O., Corral-Núñez, C., Fernández-Godoy, E., Casielles, J. M., Estay, J., Bersezio-Miranda, C., Cisternas-Pinto, P. y Batista-de Oliveira Jr, O. (2016). Revisión del estado actual de cementos de silicato de calcio en odontología restauradora. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 27(2), 425-441. <https://doi.org/10.17533/UDEA.RFO.V27N2A10>
- Cuzquen, D., Jimenez, A. y Zelada, J. (2022). *Comparación de la resistencia a la compresión de dos materiales de recubrimiento pulpar directo Lima 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]
- Dentsply Sirona. (s.f.). Endofill Cimento endodóntico. <https://bulario.dentsplysirona.com.br/E/Endofill.pdf>
- Duncan, H. F., Kirkevang, L. L., Peters, O. A., El-Karim, I., Krastl, G., Del Fabbro, M., Chong, B. S., Galler, K. M., Segura-Egea, J. J. y Kerschull, M. (2023). Treatment of pulpal and apical disease: The European Society of Endodontology (ESE) S3-level clinical practice guideline. *International Endodontic Journal*, 56(S3), 238-295. <https://doi.org/10.1111/IEJ.13974>
- Eskandarinezhad, M., Ghodrati, M., Pournaghi, F., Jafari, F., Samadi, P., Ardalan, A., Housman, A. y Rezvan, F. (2020). Effect of Incorporating Hydroxyapatite and Zinc Oxide Nanoparticles on the Compressive Strength of White Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Dentistry*, 21(4), 300. <https://doi.org/10.30476/DENTJODS.2020.82963.1034>

- European Society of Endodontology. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*, 39(12), 921-930. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2006.01180.X>
- Gasner, N. S. y Brizuela, M. (2023a). Endodontic Materials Used To Fill Root Canals. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587367/>
- Gasner, N. S. y Brizuela, M. (2023b). Endodontic Materials Used To Fill Root Canals. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK587367/>
- Granados, S., Alcalde, C., Guzman, J., Melendez, D., Torres, C., Velasquez, Z., Granados, S., Alcalde, C., Guzman, J., Melendez, D., Torres, C. y Velasquez, Z. (2022). Cementos a base de silicato de calcio: factor clave en el éxito del recubrimiento pulpar directo. Revisión de la literatura. *Revista Estomatológica Herediana*, 32(1), 52-60. <https://doi.org/10.20453/REH.V32I1.4183>
- Ha, W. N., Nicholson, T., Kahler, B. y Walsh, L. J. (2017). Mineral Trioxide Aggregate—A Review of Properties and Testing Methodologies. *Materials*, 10(11), 1261. <https://doi.org/10.3390/MA10111261>
- Jang, Y., Kim, Y., Lee, J., Kim, J., Lee, J., Han, M. R., Kim, J. y Shin, J. (2023). Evaluation of Setting Time, Solubility, and Compressive Strength of Four Calcium Silicate-Based Cements. *Journal of the Korean Academy of Pediatric Dentistry*, 50(2), 217-228. <https://doi.org/10.5933/JKAPD.2023.50.2.217>
- Kang, T. Y., Choi, J. W., Seo, K. J., Kim, K. M. y Kwon, J. S. (2021). Physical, Chemical, Mechanical, and Biological Properties of Four Different Commercial Root-End Filling Materials: A Comparative Study. *Materials*, 14(7), 1693. <https://doi.org/10.3390/MA14071693>

- Komabayashi, T., Colmenar, D., Cvach, N., Bhat, A., Primus, C. y Imai, Y. (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental Materials Journal*, 39(5), 703-720. <https://doi.org/10.4012/dmj.2019-288>
- Löst, C. (2006). Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *International Endodontic Journal*, 39(12), 921-930. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2006.01180.X>
- Luis, A. (2021). *Resistencia a la compresión de tres cementos biocerámicos: MTA, Biodentine y MTA repair hp, in vitro*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Norbert Wiener]
- Mendoza, J. (2018). *Efecto de los cementos obturadores a base de óxido de zinc, hidróxido de calcio, resina y biocerámico en la reacción al tejido subcutáneo de ratas*. [Tesis de posgrado, Universidad Católica Sant María]
- Navarro, B. (2021). Estudio in vitro de la resistencia compresiva en la microdureza superficial de cuatro cementos a base de silicato de calcio: Cemento Portland blanco, Cemento Portland gris, Mineral Trióxido Agregado (MTA Angelus ®) y Biodentine.
- Parirokh, M., Torabinejad, M. y Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part I: vital pulp therapy. *International Endodontic Journal*, 51(2), 177-205. <https://doi.org/10.1111/IEJ.12841>
- Pérez, B. (2023). Clasificación de los cementos selladores en endodoncia.
- Reina, C. (2021). *Resistencia experimental a la compresión del cemento portland asociado con microparticulas de circonio en comparación al mineral trióxido agregado- in vitro*. Lima - 2020. [Tesis de pregrado. Universidad Privada Norbert Wiener]. <https://hdl.handle.net/20.500.13053/4832>
- Rivera, E. (2022). *Evaluación In Vitro de la resistencia mecánica a la compresión de cementos biocerámicos endodónticos: MTA, MTA Repair HP y Neomta2*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada Norbert Wiener]. <https://hdl.handle.net/20.500.13053/8942>

- Rodrigues, N., Bruno, K., Alencar, A., Silva, J., Siqueira, P., Decurcio, D. y Estrela, C. (2021). Comparative analysis of bond strength to root dentin and compression of bioceramic cements used in regenerative endodontic procedures. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(4). <https://doi.org/10.5395/RDE.2021.46.E59>
- Septodont. (2020). Biodentine™ Active Biosilicate Technology™. <https://www.dentaltix.com/es/sites/default/files/instrucciones-de-uso-biodentine.pdf>
- Sobhnamayan, F., Adl, A., Sadat Shojaee, N., Sedigh-Shams, M. y Zarghami, E. (2017). Compressive Strength of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium-enriched Mixture Cement Mixed with Propylene Glycol. *Iranian Endodontic Journal*, 12(4), 493. <https://doi.org/10.22037/IEJ.V12I4.17748>
- Vaiani, L., Boccaccio, A., Uva, A. E., Palumbo, G., Piccininni, A., Guglielmi, P., Cantore, S., Santacroce, L., Charitos, I. A. y Ballini, A. (2023). Ceramic Materials for Biomedical Applications: An Overview on Properties and Fabrication Processes. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(3), 146. <https://doi.org/10.3390/JFB14030146>

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL ¿Cuál es la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro?</p> <p>ESPECÍFICOS ¿Cuál es la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, in vitro? ¿Cuál es la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por silicato de calcio, in vitro? ¿Cuál es la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por óxido de zinc, in vitro?</p>	<p>GENERAL Comparar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro.</p> <p>ESPECÍFICOS Determinar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, in vitro. Determinar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por silicato de calcio, in vitro. Determinar la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por óxido de zinc, in vitro.</p>	<p>“Existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión de cementos endodónticos compuestos por MTA, silicato de calcio y óxido de zinc, in vitro”</p>	<p>Variable Principal: Resistencia a la compresión</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo. Tipo: Prospectivo, Observacional y correlacional-comparativo. Diseño: Experimental Muestra: La muestra para cada grupo de evaluación será constituida por ocho especímenes para cada grupo</p> <p>Instrumento de recolección: Ficha de recolección de datos.</p>

Anexo B. Ficha de recolección de datos

Fecha:

Tiempo de evaluación: Hasta la fractura del material

N.º De Especímenes	Resistencia a la compresión		
	Grupo A	Grupo B	Grupo C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			


Anexo C. Resultados de la resistencia a la compresión en el laboratorio de High Technology Laboratory Certificate



LABORATORIO ESPECIALIZADO EN ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONES


HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE


Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO N°		IEO-078-2024	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	21-06-2024
ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MUESTRAS DE CEMENTOS ODONTOLÓGICAS					
1. DATOS DE LOS TESIS					
Nombre de tesis	: "RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS COMPUESTOS POR MINERAL TRIOXIDO AGREGADO, SILICATO DE CALCIO Y ÓXIDO DE ZINC, ESTUDIO IN VITRO"				
Nombres y Apellidos	: Cristian José Mendoza Celmi				
Dni	: 76528843				
Dirección	: AA.HH 13 de Octubre Mz. G Lt 4 S.J.M.				
2. EQUIPOS UTILIZADOS					
Instrumento	Marca	Aproximación		Los resultados del informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.	
Maquina de Ensayos Mecánicos	LG CMT- 5L	0.001N			
Vernier Digital	Mitutoyo - 200 mm	0.01mm			
3. IDENTIFICACION DE LA MUESTRA					
Muestra de cementos odontológicos	Cantidad	: Veinticuatro (24) muestras			HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este documento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados del informe aquí declarados.
	Material	: Cilindros de resina de Ø4 x 6 mm			
	Grupo 1	: A - mineral trióxido agregado (MTA)			
	Grupo 2	: B - silicato de calcio			
	Grupo 3	: C - óxido de zinc			
4. RECEPCION DE MUESTRAS					
Fecha de Recepción de muestras	19 de Junio del 2024				
Fecha de Ensayo	20 de Junio del 2024				
Lugar de Ensayo	Jr. Nepentas 364 Urb. San Silvestre, San Juan de Lurigancho-Lima				
5. REFERENCIA DE PROCEDIMIENTO					
El ensayo se realizó bajo el siguiente procedimiento:					
PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN			CAPITULO/NUMERAL	
UNE-EN ISO 9917-1:2008	Odontología. Cementos dentales de base acuosa. Parte 1: Cementos ácido-base de polvo/líquido. (ISO 9917-1:2007)			---	
6. CONDICIONES DE ENSAYO					
	Inicial	Final			
Temperatura	20.3 °C	20.3 °C			
Humedad Relativa	69.0 %HR	69.0 %HR			

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE HTL S.A.C.

 Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima

 +51 997 123 584 // 949 059 602




 ventas@ensayoshtl.pe // ingenieria@ensayoshtl.pe

 www.ensayoshtl.pe



LABORATORIO ESPECIALIZADO EN ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONES

Página 2 de 2

INFORME DE ENSAYO N°	IEO-078-2024	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	21-06-2024	
7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN					
Grupo 1: A - Mineral trióxido agregado (MTA)					
Muestra	Díámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)
1	3.99	6.00	12.50	667.71	53.40
2	4.01	6.01	12.63	1050.34	83.17
3	4.04	6.00	12.82	753.09	58.75
4	4.03	6.00	12.76	474.26	37.18
5	4.02	6.00	12.69	684.46	53.93
6	4.00	6.01	12.57	529.68	42.15
7	4.00	6.01	12.57	572.09	45.53
8	4.01	6.00	12.63	726.79	57.55
Grupo 2: B - Silicato de calcio					
Muestra	Díámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)
1	4.01	6.01	12.63	461.98	36.58
2	3.99	6.01	12.50	552.29	44.17
3	3.99	6.00	12.50	641.42	51.30
4	4.01	6.02	12.63	920.93	72.92
5	3.99	6.01	12.50	644.22	51.52
6	3.99	6.00	12.50	703.11	56.23
7	4.01	6.01	12.63	893.44	70.74
8	3.99	6.01	12.50	1343.83	107.48
Grupo 3: C - Óxido de zinc					
Muestra	Díámetro (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo Compresión (Mpa)
1	4.01	6.02	12.63	146.94	11.64
2	4.01	6.02	12.63	117.50	9.30
3	4.02	6.01	12.69	157.40	12.40
4	4.02	6.00	12.69	164.16	12.93
5	4.02	6.01	12.69	147.26	11.60
6	4.01	6.02	12.63	128.57	10.18
7	4.00	6.01	12.57	136.27	10.84
8	4.02	6.01	12.69	87.79	6.92
  ROBERT NICK EUSEBIO TEHERAN CIP: 193364 INGENIERO MECÁNICO Jefe de Laboratorio			 HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE		
El resultado es solo válido para las muestras proporcionadas por el solicitante del servicio en las condiciones indicadas del presente informe de ensayo.					
FIN DEL DOCUMENTO					

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE HTL S.A.C.

Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima

+51 997 123 584 // 949 059 602

ventas@ensayoshtl.pe // ingenieria@ensayoshtl.pe

www.ensayoshtl.pe

Anexo D. Certificado de calibración



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Laboratorio de Fuerza, Torque y Presión

Certificado de Calibración

LFP - C - 044 - 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Página 1 de 4

Expediente	1052981	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>Este certificado es consistente con las capacidades que se incluyen en el Apéndice C del MRA elaborado por el CIPM. En el marco del MRA, todos los institutos participantes reconocen entre sí la validez de sus certificados de calibración y medición para las magnitudes, alcances e incertidumbres de medición especificados en el Apéndice C (para más detalles ver http://www.bipm.org).</p> <p><i>This certificate is consistent with the capabilities that are included in Appendix C of the MRA drawn up by the CIPM. Under the MRA, all participating institutes recognize the validity of each other's calibration and measurement certificates for the quantities, ranges and measurement uncertainties specified in Appendix C (for details see http://www.bipm.org).</i></p>
Solicitante	HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C.	
Dirección	Jirón Nepentas 364 urb. san silvestre San Juan de Lurigancho	
Instrumento de Medición	MAQUINA DE ENSAYO UNIAXIAL	
Intervalo de Indicaciones	0 N a 5 000 N	
Resolución	0,01 N	
Marca	NO INDICA	
Modelo	CMT-5L	
Número de Serie	7419	
Procedencia	NO INDICA	
Clase de Exactitud	NO INDICA	
Fecha de Calibración	2024-04-25	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL.
Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área

Responsable del laboratorio



Firmado digitalmente
por DE LA CRUZ
GARCIA Leonardo FAU
20600283015 soft
Fecha: 2024-04-26
19:02:59



Firmado digitalmente
por SANCHEZ AVILES
Ricardo Alfonso FAU
20600283015 soft
Fecha: 2024-04-26
17:38:27

Dirección de Metrología

Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias Nº 817, San Isidro, Lima – Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe





INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LFP - C – 044 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Laboratorio de Fuerza, Torque y Presión

Página 2 de 4

Método de Calibración

Método de comparación tomando como referencia la Norma ISO 7500-1 "Metallic materials- Verification of static uniaxial testing machines"

Lugar de Calibración

ÁREA DE MATERIA Y CALIBRACIÓN II
CALLE NEPENTAS 364 URB. SAN SILVESTRE, SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	24,2°C	24,9°C

Patrones de referencia

Trazabilidad metrológica	Patrón de medición	Documento de calibración
Patrón de referencia del Centro Nacional de Metrología de México (CENAM)	Transductor de Fuerza LFP 02 015 Clase 0,5	CNM-CC-720-383/2022 DE :2022-11-04

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde INACAL-DM.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LFP - C – 044 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Laboratorio de Fuerza, Torque y Presión

Página 3 de 4

Resultados de Medición

Dirección de Carga : Tracción

Indicación de Fuerza de la Máquina de Ensayo		Indicación en el transductor de fuerza patrón					Promedio	Error de medición
1ª Serie Ascenso	2ª Serie Ascenso	3ª Serie Ascenso	3ª Serie Descenso	4ª Serie - Accesorios Ascenso				
(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	(N)	
10	500,00	496,85	498,86	496,18	-----	-----	497,30	2,70
20	1 000,00	997,59	995,25	990,73	-----	-----	994,52	5,48
30	1 500,00	1 496,98	1 496,15	1 494,81	-----	-----	1 495,98	4,02
40	2 000,00	1 995,48	1 999,16	1 990,30	-----	-----	1 994,98	5,02
50	2 500,00	2 494,54	2 498,89	2 494,38	-----	-----	2 495,94	4,06
60	3 000,00	2 994,12	2 998,64	2 992,45	-----	-----	2 995,07	4,93
70	3 500,00	3 494,67	3 499,68	3 492,83	-----	-----	3 495,73	4,27
80	4 000,00	3 990,96	3 999,31	3 993,30	-----	-----	3 994,52	5,48
90	4 500,00	4 491,47	4 498,31	4 494,14	-----	-----	4 494,64	5,36
96	4 800,00	4 790,20	4 798,04	4 789,70	-----	-----	4 792,65	7,35

Errores Encontrados del Sistema de Medición de Fuerza

Valor Nominal		Errores de medición relativos encontrados en %					Incertidumbre del error de medición U (%) k=2
Indicación	Repetibilidad	Reversibilidad	Resolución Relativa	Error con Accesorios			
q	b	v	a				
10	500,00	0,54	0,54	-----	0,20	-----	0,42
20	1 000,00	0,55	0,69	-----	0,10	-----	0,47
30	1 500,00	0,27	0,15	-----	0,07	-----	0,24
40	2 000,00	0,25	0,45	-----	0,05	-----	0,34
50	2 500,00	0,16	0,18	-----	0,04	-----	0,25
60	3 000,00	0,16	0,21	-----	0,03	-----	0,25
70	3 500,00	0,12	0,20	-----	0,03	-----	0,25
80	4 000,00	0,14	0,21	-----	0,03	-----	0,25
90	4 500,00	0,12	0,15	-----	0,02	-----	0,23
96	4 800,00	0,15	0,17	-----	0,02	-----	0,24
Error relativo de cero f_0		0,09					

Clase de la escala de la máquina	Valor máximo permitido % Según la Norma ISO 7500-1				
	Indicación q	Repetibilidad b	Reversibilidad v	Resolución Relativa a	Cero f_0
0,5	±0,5	0,5	±0,75	0,25	±0,05
1	±1,0	1,0	±1,5	0,5	±0,1
2	±2,0	2,0	±3,0	1,0	±0,2
3	±3,0	3,0	±4,5	1,5	±0,3

N = newton

La estimación de la incertidumbre fue realizada según el anexo C de la ISO 7500-1.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LFP - C – 044 – 2024

Consistente con las capacidades de medida y
Calibración (CMC – MRA)

Laboratorio de Fuerza, Torque y Presión

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement"). La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPI mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO/IEC 17043; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

LABORATORIO DE FUERZA Y PRESIÓN - LFP

Diversos servicios del Laboratorio de Fuerza y Presión cuentan con el reconocimiento internacional ya que están incluidos en el Apéndice C, dentro del marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo internacional (MRA) del Comité Internacional de Pesas y Medidas (CIPM) conforme puede verse en la base de datos internacional del Bureau International des Poids et Mesures BIPM ingresando a este enlace

<https://www.bipm.org/kcdb/cmc/search?domain=PHYSICS&areald=4&keywords=inacal&specificPart.branch=-1&specificPart.service=-1&specificPart.subService=-1&specificPart.individualService=-1&countries=1&publicDateFrom=&publicDateTo=&unit=-1&minValue=&maxValue=&minUncertainty=&maxUncertainty=>

Concordantemente todos estos servicios tienen su Sistema de Calidad aprobado por el Quality System Task Force (QSTF) que es el grupo encargado de evaluar los Sistemas de Calidad de los Institutos Nacionales de Metrología INMs del Sistema Interamericano de Metrología (SIM).

Anexo E. Evidencia fotográfica



