



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

EVALUACIÓN DE LA RADIOPACIDAD,  
pH Y LIBERACIÓN DE IONES DE  
CALCIO EN CEMENTOS A BASE DE  
SILICATO DE CALCIO Y RESINA  
EPÓXICA

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRA EN ENDODONCIA

MILAGROS JUDITH LOYOLA CANO

LIMA – PERÚ

2025



**ASESOR**

**MG. CARMEN ROSA GARCIA RUPAYA**

**JURADO DE TESIS**

MG. MARGARITA VEGA YSLACHIN

PRESIDENTE

MG. JORGE NELSON TREVEJO PINEDO

VOCAL

MG. MANUEL FERNANDO CORDOVA MALCA

SECRETARIO (A)

## **DEDICATORIA.**

A Aldo Rodríguez Uceda,

mi compañero de vida y quien me motiva constantemente.

Gracias por tu amor, tu paciencia inquebrantable y por estar a mi

lado en cada etapa de este camino profesional.

Tu apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta.

## **AGRADECIMIENTOS.**

A la Dra. Carmen Rosa García Rupaya,

mi asesora, por su valiosa orientación, disposición y

compromiso durante el desarrollo de esta tesis.

## **FUENTES DE FINANCIAMIENTO.**

Tesis Autofinanciada.



#### DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	LOYOLA CANO MILAGROS JUDITH

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN ENDODONCIA**, autores del trabajo titulado: **EVALUACIÓN DE LA RADIOPACIDAD, pH Y LIBERACIÓN DE IONES DE CALCIO EN CEMENTOS A BASE DE SILICATO DE CALCIO Y RESINA EPÓXICA**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRA EN ENDODONCIA** bajo la modalidad de **TESIS**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	GARCIA RUPAYA CARMEN ROSA	FAEST	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **10%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2905139253**; fecha de entrega: **16-03-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 16 de marzo de 2026**

Firma del asesor  
N° DNI: 09075393  
ORCID: 0000-0003-0657-6011

Firma del Co-asesor  
N° DNI:  
ORCID:

## ÍNDICE

RESUMEN	
ABSTRACT	
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	7
<b>II.1 Objetivo general</b> .....	7
<b>II.2 Objetivos específicos</b> .....	7
<b>III.MARCO TEÓRICO</b> .....	8
<b>IV.METODOLOGÍA</b> .....	26
<b>IV.1 Diseño del estudio</b> .....	26
<b>IV.2</b>	
<b>Muestra</b> .....	26
<b>IV.3 Procedimientos y</b>	
<b>técnica</b> .....	28
<b>IV.4 Consideraciones éticas</b> .....	32
<b>IV.5 Plan de análisis</b> .....	33
<b>V. RESULTADOS</b> .....	34
<b>VI.DISCUSIÓN</b> .....	
.....	37
<b>VII.CONCLUSIONES</b> .....	45
<b>VIII.RECOMENDACIONES</b> .....	47
<b>IX.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	48
<b>X. ANEXOS</b>	

## RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la radiopacidad, pH y la liberación de iones de calcio de cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica. **Materiales y métodos:** Fueron empleados los cementos Vioseal®, AH Plus®, MTA Angelus®, AH Plus® Bioceramic Sealer. Las muestras se colocaron en un molde de acrílico en forma cilíndrica (10mm de diámetro y 1mm de altura) y se almacenaron en una incubadora a 37°C y 95% de humedad. La radiopacidad se determinó colocando las muestras sobre una película radiográfica digital junto a una cuña escalonada de aluminio (1 a 10 mm), y realizando una toma radiográfica con un equipo de rayos X. El pH se midió con un pH-metro digital y simultáneamente la liberación de iones de calcio con un espectrofotómetro de absorción atómica, en 1,7 y 14 días. Los datos fueron analizados mediante las pruebas de Kruskal-Wallis y post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner. **Resultados:** Los cementos Vioseal® y AH Plus® presentaron la mayor radiopacidad ( $9.98 \pm 0.42$  mm Al y  $10.00 \pm 0.38$  mm Al, respectivamente), mientras que AH Plus® Bioceramic Sealer ( $9.04 \pm 0.28$  mm Al) y MTA Angelus® ( $4.72 \pm 0.40$  mm Al) presentaron la menor medición registrada. Respecto al pH, AH Plus® Bioceramic presentó el valor más alto (12), y AH Plus® el más bajos ( $6.25 \pm 0.26$ ). En liberación de iones de calcio, Vioseal® alcanzo la mayor liberación de iones el día 7 ( $29.4 \pm 3.12$  ppm), seguido de AH Plus Bioceramic Sealer ( $18.60 \pm 5.54$  ppm). MTA Angelus® presento su valor más bajo ( $11.80 \pm 1.00$  ppm) **Conclusión:** Todos los cementos evaluados cumplieron con la norma ISO 6876 en cuanto a radiopacidad. Los cementos a base de silicato de calcio presentaron pH alcalino y liberación de iones de calcio sostenida, mientras que el cemento Vioseal a base de resina epóxica presento una liberación inicial pero transitoria.

**PALABRAS CLAVE:**

cemento de silicato de calcio, iones de calcio, pH , radiopacidad, resina epóxica

(DECS/BIREME)

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the radiopacity, pH, and calcium ion release of endodontic cements based on calcium silicate and epoxy resin. **Materials and Methods:** The cements Vioseal®, AH Plus®, MTA Angelus®, and AH Plus® Bioceramic Sealer were used. The samples were placed in acrylic molds in cylindrical form (10 mm in diameter and 1 mm in height) and stored in an incubator at 37°C and 95% humidity. Radiopacity was evaluated by placing the samples on a digital radiographic film alongside an aluminum step wedge (1 to 10 mm), and taking a radiograph using an X-ray unit. pH was measured with a digital pH meter and calcium ion release was assessed with an atomic absorption spectrophotometer at 1, 7, and 14 days. The data were analyzed using the Kruskal–Wallis test and the Dwass–Steel–Critchlow–Fligner post-hoc test. **Results:** The cements Vioseal® and AH Plus® showed the highest radiopacity ( $9.98 \pm 0.42$  mm Al and  $10.00 \pm 0.38$  mm Al, respectively), while AH Plus® Bioceramic Sealer ( $9.04 \pm 0.28$  mm Al) and MTA Angelus® ( $4.72 \pm 0.40$  mm Al) showed the lowest values. Regarding pH, AH Plus® Bioceramic presented the highest value (12), and AH Plus® the lowest ( $6.25 \pm 0.26$ ). In terms of calcium ion release, Vioseal® showed the highest release on day 7 ( $29.4 \pm 3.12$  ppm), followed by AH Plus® Bioceramic Sealer ( $18.60 \pm 5.54$  ppm). MTA Angelus® had the lowest value ( $11.80 \pm 1.00$  ppm). **Conclusion:** All cements evaluated complied with ISO 6876 in terms of radiopacity. The calcium silicate-based cements presented alkaline pH and sustained calcium ion release, whereas the epoxy resin-based cement Vioseal® showed an initially high but transient release.

**KEYWORDS:**

calcium silicate cement, calcium ions, ph, radiopacity epoxy resin (MESH/NLM)

## **I. INTRODUCCIÓN**

El tratamiento de conductos radiculares implica una serie de fases complementarias, entre las cuales la instrumentación, desinfección y obturación son fundamentales. El objetivo final es lograr una obturación completa del sistema de conductos radiculares (1), ya que esta fase final es crucial para asegurar un pronóstico satisfactorio a largo plazo. Por ello, la utilización de un cemento endodóntico adecuado es esencial para el éxito del tratamiento (2,3).

Durante el pasar de los años distintos materiales de obturación se han utilizado para obturar los conductos radiculares. Hoy en día, el material primordial empleado es el cono de gutapercha. No obstante, este material sólido no permite, por sí solo, un sellado hermético del sistema de conductos radiculares, debido a la falta de unión a las paredes del conducto (4), por tal motivo, emplear un sellador endodóntico es importante e imprescindible para realizar el llenado de las micro irregularidades existentes en la zona de contacto entre la superficies internas del conducto radicular y el material principal de obturación, con intención de obtener un sellado completo y por consiguiente prevenir una periodontitis apical o curar una lesión existente (5,6).

Los cementos selladores son materiales de obturación con consistencia pastosa (7), empleados para obtener un sellado tridimensional y hermético del sistema de conductos. Su principal función es posicionarse en los vacíos del material sólido y las paredes de dentina del conducto (8), actuando además como lubricante para permitir la inserción del material sólido en el conducto radicular (9).

Los cementos endodónticos se clasifican ,según su composición química ,en cementos a base de silicato de calcio y cementos a base de resina epóxica. Asimismo, los cementos a base de silicato de calcio pueden clasificarse de acuerdo con su funcionalidad clínica ,en cementos selladores y reparadores (9,10).

A diferencia de los cementos selladores endodónticos, cuya función principal es obturar completamente el conducto radicular, los cementos a base de silicato de calcio con indicación reparadora se emplean en áreas localizadas para sellar o reparar defectos específicos, aportando un sellado biológico efectivo (11). Estos materiales se emplean en procedimientos como la reparación de perforaciones , la apexificación, apicectomía y el manejo de reabsorciones (10,12).

Los primeros cementos selladores en hacer aparición fueron aquellos a base de óxido de zinc por el año 1936. Aunque inicialmente mostraban actividad antibacteriana, también eran altamente irritantes para los tejidos periapicales (7). Posteriormente, se desarrollaron cementos a base de hidróxido de calcio, silicona y ionómero de vidrio (13).

En la búsqueda de un cemento endodóntico con características óptimas, surgieron los cementos selladores de resina epóxica. Estos cementos presentan una buena adhesión a la dentina, un tiempo de fraguado prolongado y cierta actividad antibacteriana (9), lo que los ha posicionado como el estándar de oro durante muchos años (14,15).

Por otro lado, en los últimos años han surgido cementos endodónticos a base de silicato de calcio, también denominados biocerámicos. Estos cementos poseen acción antibacteriana, biocompatibilidad y bioactividad, lo que ha favorecido su aplicación en distintos procedimientos endodónticos. Uno de los primeros cementos

a base de silicato de calcio en ser introducidos fue el agregado de trióxido mineral (Mineral Trioxide Aggregate, MTA), desarrollado en la década de 1990 como biomaterial reparador en Endodoncia (16). A partir del avance de la tecnología biocerámico en medicina y odontología, se desarrollaron selladores a base de silicato de calcio, los cuales han sido propuestos como alternativa a los cementos selladores convencionales por su capacidad de interactuar con los tejidos periapicales (17).

Actualmente, así como existe una diversidad de cementos selladores que varían en composición y propiedades físicas (18), se llevan a cabo investigaciones sobre sus distintas características, como la radiopacidad, el pH y la liberación de calcio de estos cementos, las cuales deben ser óptimas, ya que tienen un impacto directo en su desempeño clínico y, por ende, pueden influir en el éxito del tratamiento (13).

La radiopacidad es una característica fundamental de los cementos, porque va a permitir observar mediante un método radiográfico, su recorrido en el sistema de conductos, lo que posibilita la visualización de la calidad de obturación (19). Los cementos deben tener una radiopacidad mayor a 3,0mm de aluminio de acuerdo con la Organización Internacional de Normalización (ISO) 6876 (20).

La norma ISO 6876:2012 titulado “Materiales de sellado de conductos radiculares”, ofrece pautas exhaustivas sobre los estándares que deben cumplir los materiales empleados en los tratamientos de conducto, abarcando sus características físicas, químicas y biológicas, así como los métodos para su evaluación. Estos criterios y pruebas están concebidos para confirmar la fiabilidad e integridad de materiales utilizados en endodoncia (21).

Por otro lado, el pH constituye una propiedad relevante en los cementos endodónticos, ya que les concede su actividad bactericida gracias a su alcalinidad, que altera la acción de las enzimas bacterianas, afectando su actividad celular. Esta interferencia en las funciones enzimáticas repercute negativamente en el metabolismo bacteriano, debilitando su capacidad de proliferación y supervivencia dentro del sistema de conductos radiculares. Por ello es vital que este material presente un pH alcalino para lograr evitar la colonización de bacterias dentro del conducto radicular, lo que es crucial para prevenir una reinfección (22).

Por otra parte, la liberación de iones calcio por parte de los cementos a base de silicato de calcio permite evaluar su capacidad remineralizante, promoviendo la formación de hidroxiapatita, un componente fundamental en la reparación del tejido dentinario. Esta liberación de iones no solo contribuye a la remineralización, sino que también estimula la actividad odontoblástica de los tejidos circundantes, favoreciendo la reparación de la unidad pulpodentinaria y mejorando la respuesta reparativa del tejido afectado (23).

Carvalho et al. (24) midieron los niveles de pH y la cantidad de calcio liberado en nuevos cementos de obturación utilizados para el conducto radicular y perforaciones. Describieron que todos los cementos mostraron predisposición a bajar el potencial del pH alcalino en lapsos más largos y en liberación de iones de calcio, todos los cementos presentan proporciones importantes en todos los periodos. Concuenda por lo descrito por Kharouf et al.(13) reportan que los cementos hidráulicos muestran propiedades físicas adecuadas con una alta liberación de calcio.

Cardona et al. (14) evaluaron la radiopacidad, espesor de película formada tras su aplicación y fluidez de dos selladores a base de resina epóxica, AdSeal™ y Topseal®. Los resultados mostraron que tanto la radiopacidad como la fluidez cumplen con los estándares de la norma ISO 6876:2012. En cuanto a la fluidez, dicha norma estipula que los selladores deben presentar una fluidez mínima de 17 mm, lo cual es crucial para garantizar una adecuada distribución del material en el sistema de conductos radiculares.

Rebolledo et al.(25) evaluaron diferentes cementos endodónticos, incluyendo tanto cementos reparadores como ProRoot MTA y Biodentine, como selladores de resina epóxica (AH Plus, Tubli- Seal) y biocerámicos (TotalFill-BC Sealer). En su estudio, comprobaron que los cementos indicados para procedimientos de reparación endodóntica presentaron una mayor biocompatibilidad en comparación con los cementos selladores. Asimismo, señalaron que las diferencias observadas entre los distintos materiales se encuentran relacionadas con sus propiedades fisicoquímicas particulares.

Cardinali y Camilleri (26) destacan la importancia de tener conocimiento sobre las propiedades fisicoquímicas de los cementos endodónticos, puesto que estas influyen en su eficacia clínica como en su manipulación. Es fundamental emplear materiales que hayan sido investigados cuidadosamente. En la actualidad los cementos endodónticos se han vuelto materiales necesarios e imprescindibles durante el procedimiento de obturación del tratamiento de conducto, ya que una obturación defectuosa o mal realizada puede resultar en el fracaso del tratamiento. Dada la amplia variedad de cementos disponibles, los fabricantes resaltan los beneficios de cada uno de estos materiales. Por lo tanto, surge la necesidad de

evaluar las propiedades fisicoquímicas, con el fin de comprobar la fiabilidad de los cementos.

El presente estudio es de importancia teórica ya que busca evaluar propiedades físico químicas para comprobar las propiedades de radiopacidad, pH y liberación de iones de calcio que presentan estos cementos, contribuyendo a futuro a la mejor elección por parte de los profesionales. Es de relevancia debido al constante surgimiento de nuevos materiales y la gran diversidad que existen entre ellos.

Desde un punto de vista clínico, es trascendental; facilitará al profesional la mejor selección del cemento endodóntico. Estos materiales son claves e importantes en el éxito de la terapia endodóntica, ya que presentan una propiedad bactericida y un potencial remineralizante. Esto permite inactivar a los posibles microorganismos que se encuentren en el conducto y prevenir o curar alguna lesión apical.

El propósito del presente estudio es evaluar la radiopacidad, pH y liberación de iones de calcio de los cementos selladores y reparadores a base de silicato de calcio y cementos selladores a base de resina epóxica.

## **II. OBJETIVOS**

### **II.1 Objetivo general**

Evaluar la radiopacidad, pH y liberación de iones de calcio de los cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica.

### **II.2 Objetivos específicos**

1. Comparar la radiopacidad de los cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica.
2. Comparar el pH de los cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica.
3. Comparar la liberación de iones de calcio de los cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica.

### III. MARCO TEÓRICO

Los cementos selladores son materiales radiopacos (27), esenciales durante la obturación en el tratamiento endodóntico (28). Tiene como función principal lograr un sellado tridimensional (27), prevenir la microfiltración de fluidos y microorganismos, para así contribuir al éxito del tratamiento (28-30).

En la práctica endodóntica actual, se utilizan diversos tipos de cementos según el procedimiento clínico. Dentro de estos, se encuentran los cementos selladores a base de resina epóxica, ampliamente usados en la obturación de conductos radiculares; los cementos selladores a base de silicato de calcio, de reciente incorporación; y los cementos reparadores a base de silicato de calcio, como el MTA, indicados para procedimientos como retroobturaciones o reparación de perforaciones (11). A pesar de sus distintas aplicaciones clínicas, todos comparten la necesidad de presentar propiedades fisico-químicas óptimas que favorezcan el éxito del tratamiento endodóntico.

Estos materiales cumplen un rol importante durante el tratamiento endodóntico, ya que permiten alcanzar un sellado adecuado tanto en el sistema de conductos como la región apical (31). Según su composición y aplicación clínica los cementos endodónticos a base de silicato de calcio, pueden presentar diferentes formulaciones y presentaciones, adaptándose al tipo de procedimiento en el que serán empleados. De acuerdo a la clasificación propuesta por Camilleri (32), se distinguen materiales intrarradiculares , como los cementos selladores, utilizados junto a la gutapercha para la obturación de los conductos radiculares, y materiales extrarradiculares como los cementos reparadores empleados en procedimientos que requieren contacto

directo con los tejidos dentinarios o periapicales, como protección pulpar ,las retroobturaciones ,la reparación de perforaciones o en cirugías apicales.

De acuerdo con la revisión realizada por Eskandari et al. (33), los cementos a base de silicato de calcio (CSC), tanto reparadores como selladores, presentan una amplia gama de propiedades físico-químicas favorables para la terapia endodóntica, como capacidad de sellado, bioactividad, alcalinidad, baja solubilidad y liberación de iones de calcio. Estas características los han posicionado como materiales clave tanto en procedimientos de obturación como en terapias regenerativas, como la protección pulpar o la reparación de perforaciones radiculares.

Esta diferenciación entre cementos selladores y reparadores permite entender mejor el uso diferente de cada material, y resalta la necesidad de evaluar su composición, comportamiento en el entorno en que serán utilizados (34).

Chandak et al. (35) desarrollaron un Índice de Utilidad Clínica (CUI) para evaluar y clasificar distintos selladores endodónticos en función de sus propiedades como la capacidad de sellado, eficacia antimicrobiana, flujo, solubilidad y tiempo de fraguado. Esta nueva herramienta subraya la importancia de considerar las diferentes propiedades fisicoquímicas de manera integrada para orientar una selección clínica basada en evidencia. Aunque el CUI no incluye, la radiopacidad, el pH o la liberación de iones de calcio, su enfoque global respalda la necesidad de estudios experimentales que analicen el desempeño integral de los cementos endodóntico.

En 1958, Grossman estableció los primeros criterios que definían las propiedades ideales de estos materiales, incluyendo adhesión a la dentina, estabilidad dimensional, pH alcalino, radiopacidad suficiente, buen tiempo de trabajo, facilidad

de manipulación y no cambiar de color la estructura dentaria (36). Posteriormente, entidades como la Asociación Dental Americana (ADA, especificación N.57) y la Organización Internacional de Normalización (ISO 6876:2012) formalizaron estos requerimientos, donde indican que los cementos deben presentar una radiopacidad mínima de 3 mm de aluminio, solubilidad que no supere el 3 %, una capacidad de flujo superior a 20 mm, un espesor de capa menor a 50 micrómetros y un tiempo de fraguado clínicamente aceptable (21). Si bien esta norma ISO 6876:2012 fue diseñada para evaluar cementos selladores, su aplicación se ha extendido también a los cementos reparadores a base de silicato de calcio, debido a que comparten propiedades fisicoquímicas comparables, como radiopacidad, tiempo de fraguado, solubilidad. Nashibi et al.(37), aplicaron dicha normativa para analizar cementos a base de silicato de calcio como el MTA Angelus, evidenciando que los cementos reparadores se pueden evaluar con los mismos criterios.

Además de los criterios aceptados, en investigaciones actuales respaldan la importancia de que los cementos presenten un pH alcalino sostenido y liberen iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), propiedades asociadas con la formación de hidroxiapatita, la activación celular y promueven la reparación de los tejidos (13,18). Estas características son más evidentes en materiales basados en silicato de calcio debido a su composición química, sin provocar una respuesta inflamatoria significativa ni provocar dolor postoperatorio (38).

Por ello, el presente estudio se centra en tres propiedades, radiopacidad, pH y la capacidad de los cementos para liberar iones de calcio, con el fin de analizar su impacto en el comportamiento clínico y biológico de los cementos a base de silicato

de calcio y resina epóxica, lo cual fundamenta su elección en función de la evidencia científica y eficacia terapéutica.

### **Radiopacidad**

La radiopacidad es una propiedad clave de los cementos utilizados en endodoncia, tanto selladores como reparadores , ya que permite su adecuada diferenciación respecto al tejido dentario y óseo en las evaluaciones radiográficas. Esta propiedad es crucial para observar una adecuada obturación, realizar el seguimiento clínico e identificar posibles errores antes o después del tratamiento endodóntico (39,40).

La radiopacidad de los cementos ha sido debate de estudio hace muchos años. Eliasson y Haasken,(41) fueron los pioneros en determinar un espesor equivalente de aluminio, empleando medidas de densidad radiográfica óptica como criterio para comparar materiales. Beyer-Olsen y Ørstavik alteraron este modelo; evaluaron el volumen de luz que se transmitió a través de una película de rayos X utilizando un densitómetro óptico. Transformaron la transmisión de luz en un espesor equivalente de aluminio al compararlo con una cuña escalonada de aluminio radiografiada en la misma cinta. Actualmente, una cuña de aluminio escalonada se establece como norma para las comparaciones de radiopacidad (19).

Según la norma ISO 6876:2012 y la ADA, los cementos deben tener al menos 3 mm de radiopacidad de aluminio (20,21). Este parámetro refleja la capacidad del material para absorber rayos X en un grado igual o superior a la dentina, lo que permite su adecuada detección en imágenes radiográficas (42). Se considera que 1 mm de aluminio equivale aproximadamente a 1 mm de dentina en términos de densidad radiográfica (43).

Los dispositivos de rayos X digitales han sido utilizados en estudios previos para estimar el nivel de radiopacidad (40). Estos permiten obtener imágenes más rápidas mediante dispositivo digitales, brindando un menor nivel de exposición a la radiación (19).

La medición se realiza con una cuña escalonada de aluminio, sobre la cual se posicionan discos del cemento y se obtienen imágenes radiográficas estandarizadas. La comparación entre la densidad óptica del cemento y los niveles de la escala de aluminio permite determinar si cumple con los estándares normativos (44).

Los agentes radio pacificantes agregados a la fórmula del cemento son los responsables principales de esta propiedad. Entre los más comúnmente utilizados están el tungstenato de calcio, óxido de bismuto y óxido de zirconio. La naturaleza y concentración de estos compuestos influyen directamente en el nivel de radiopacidad alcanzado, lo cual explica las variaciones entre distintos productos comerciales (43,44). Por ello, no todos los cementos con la misma base química presentan el mismo grado de radiopacidad.

Una radiopacidad limitada interfiere con el análisis radiográfico, ya que esta propiedad facilita la comparación de la densidad relativa de los materiales obturadores y garantizar su visibilidad bajo condiciones estandarizadas (39,42). Por lo tanto, no solo tiene implicancias clínicas, sino también investigativas.

Sarunket et al.(43) realizaron una evaluación comparativa de la radiopacidad de diferentes cementos formulados con silicato de calcio, concluyendo que la mayoría cumplía con el valor mínimo de radiopacidad igual o superior a 3 mm de aluminio (mm Al), conforme a lo establecido por la ISO 6876:2012. Del mismo modo, Almeida et al. hallaron que el AH Plus, TotalFill BC Sealer y MTA Fillapex Sealer

presentaban niveles de radiopacidad que también se ajustan con la normativa internacional. AH Plus a base de resina epóxica, mostró la mayor radiopacidad en comparación con los demás materiales analizados; sin embargo, estas diferencias no fueron estadísticamente significativas respecto a los cementos formulados a base de silicato de calcio (45). Estos hallazgos respaldan la relevancia de incorporar la radiopacidad como una propiedad esencial de evaluar en los estudios de cementos endodónticos, considerando su impacto en la interpretación radiográfica y en la evaluación post operatoria.

## **pH**

El pH es una propiedad clave de los cementos endodónticos. La capacidad de mantener un entorno alcalino les confiere acción antimicrobiana, al interferir con el crecimiento bacteriano dentro de los conductos radiculares, mediante la desnaturalización de proteínas bacterianas y la alteración de la membrana citoplasmática. Estos efectos dificultan la proliferación de microorganismos (30,46,47). Esta alcalinidad estable a lo largo del tiempo es un factor crucial para el éxito del tratamiento endodóntico. Particularmente, se ha comprobado que los cementos basados en silicato de calcio son eficientes en producir un ambiente altamente alcalino, lo que se relaciona con una actividad antimicrobiana superior contra microorganismos resistentes (13,28). Por lo tanto, varias investigaciones evalúan el pH en distintos días con la finalidad de examinar su estabilidad a través del tiempo. Asimismo, Maharti et al. evaluaron el pH de cementos a base de silicato de calcio como AH Plus Bioceramic y Ceraseal a los 7 y 14 días, donde

evidenciaron la sostenibilidad del pH alcalino en el tiempo, con diferencias significativas y mayor valor en el caso de Ceraseal (48).

Además de su efecto antimicrobiano, un pH alcalino estimula la actividad de enzimas como la fosfatasa alcalina (ALP) quien cumple un rol importante en la estimulación de la formación ósea al degradar el pirofosfato inorgánico y generar fosfato inorgánico, una molécula crucial en la diferenciación y mineralización de los osteoblastos, implicada en los procesos de reparación ósea y mineralización. Por tanto, esta propiedad está estrechamente relacionada con el potencial bioactivo del material y su capacidad de inducir la regeneración de tejidos periapicales (48,49). En este sentido no solo representa un indicador fisicoquímico, sino que representa una propiedad importante presente en los cementos endodónticos. Su efecto antimicrobiano, su potencial para estimular la biomineralización y preservar un ambiente bioactivo, hacen que su análisis y control sean esenciales para el éxito terapéutico en endodoncia (32).

Estudios como el de Katakadis et al.(50) destacan que los cementos a base de silicato de calcio presentan una alcalinidad sostenida durante varios días, lo que contrasta con el comportamiento de los cementos epóxicos como AH Plus, que tienden a mostrar valores neutros o incluso ligeramente ácidos. Esta diferencia impacta directamente en la capacidad del material para contribuir a la reparación biológica. Además, el entorno alcalino favorece la formación de hidroxiapatita sobre la superficie del cemento, constituyendo un marcador esencial de su bioactividad y su integración con tejidos duros (51).

Chen et al. (48) reportaron que los selladores biocerámicos AH Plus Bioceramic, BioRoot RCS, BioRoot Flow mantuvieron un pH elevado incluso después de 14

días, lo cual refuerza su potencial en tratamientos endodónticos donde se requiere un entorno antimicrobiano y regenerativo. En consecuencia, el pH es una propiedad crítica para predecir el desempeño clínico del cemento, tanto en su función de sellado como en su compatibilidad con los tejidos periapicales.

### **Liberación de iones de calcio**

La liberación de iones de calcio es una propiedad clave en la bioactividad de los cementos endodónticos, ya que favorece la regeneración de tejidos periapicales y la formación de hidroxiapatita. Este proceso ocurre por la disociación de compuestos cálcicos presentes en la composición del cemento, especialmente el silicato tricálcico, liberando iones  $\text{Ca}^{2+}$  al medio tras su proceso de hidratación (52,53).

Estos iones interactúan con los fosfatos presentes en los fluidos biológicos, promoviendo la nucleación y el crecimiento de cristales de apatita. Esta actividad mineralizante crea un entorno favorable para la adhesión y diferenciación celular, facilitando la integración del cemento con los tejidos circundantes (54,55). Esta respuesta ha sido evidenciada en estudios histológicos, donde se observa que la superficie del material está cubierta por tejido neoformado, compuesto por cemento reparador y tejido conectivo no inflamado, con fibras colágenas organizadas. Este patrón histológico evidencia una integración tisular favorable, que contribuye al sellado apical y marginal (38). Este hallazgo respalda la bioactividad y biocompatibilidad de los cementos a base de silicato de calcio.

Desde el enfoque clínico, se ha evidenciado que los cementos con capacidad de liberar calcio generan un sellado químico más estable con la dentina, lo que refuerza

la capacidad de sellado apical y mejora la eficacia en procedimientos como perforaciones, apexificación y cirugía apical (51).

La liberación de iones de calcio , como resultado del proceso de hidratación del cemento, junto con el aumento del pH , mejora el comportamiento biológico del material, al favorecer la adhesión de células osteoblástica e incrementar así la respuesta reparativa. Asimismo, el vínculo entre los iones de calcio y la matriz dentinaria mejora la biocompatibilidad del cemento (54).

Para calcular la liberación de calcio, se puede emplear el equipo de espectroscopía de absorción atómica; este método implica examinar la cantidad de un elemento químico específico presente en una disolución (56). Su principio se basa en la atomización de la muestra y en la absorción de radiación electromagnética a una longitud de onda específica por los átomos del analito ,lo que permite correlacionar la señal obtenida con la concentración del elemento analizado. Los átomos absorben la luz a una longitud de onda específica para ser trasladados a orbitales de mayor altura, donde se transita a un estado excitado de los electrones en un periodo bastante corto. Además, la energía que ingresa al detector es información conocida, por lo que la señal detectada se alinea con la concentración del elemento que se ha medido (57).

El pH alcalino y el potencial de liberación de calcio en cementos son consideradas como propiedades relacionadas con la bioactividad, ya que participan en el mecanismo de acción antimicrobiana y en la inducción de la reparación de tejidos. Su análisis es necesario en la evaluación del rendimiento clínico de los cementos endodónticos (58). Por consiguiente, deben reconocerse como propiedades indispensables al momento de elegir cementos bioactivos.

Estudios recientes han evaluado de manera simultánea las propiedades fisicoquímicas de cementos endodónticos, proporcionando datos relevantes para el presente estudio.

Candeiro et al.(56) compararon las propiedades fisicoquímicas del sellador biocerámico EndoSequence BC Sealer con el cemento epóxico AH Plus, según la norma ISO 6876:2001. El BC Sealer mostro valores significativamente más altos de pH y liberación de iones de calcio en los días 3, 7, 14 y 21 de evaluación. En cuanto al flujo, mostró 26.96 mm, superior al de AH Plus (21.17 mm), y una radiopacidad de 5.93 mm Al, ligeramente inferior pero dentro del estándar ISO. Estos resultados sugieren una mejor adaptación clínica del BC Sealer y un comportamiento fisicoquímico favorable .

Por su parte, Janini et al.(2) evaluaron selladores biocerámicos de diferente presentación (polvo/líquido y lista para usar) frente a AH Plus. Se observó una disminución progresiva del pH en todos los selladores, pero EndoSequence BC Sealer mantuvo valores significativamente más alcalinos en cada periodo ( $p < 0.001$ ). En radiopacidad, MTApex Sealer mostró 7.99 mm Al, similar al AH Plus (8.16 mm Al), y el BC Sealer un valor ligeramente menor (7.50 mm Al). El flujo más alto fue observado en MTApex Sealer

. Estos hallazgos destacan la influencia del tipo de presentación y composición química en el desempeño clínico de los selladores biocerámicos.

Asimismo, Hamdy et al.(54) analizaron los cambios en el pH y la emisión de iones cálcicos liberados en cementos endodónticos formulados tanto a base de silicato de calcio (Bio-C y AH Plus Bioceramic) y en cementos cuya formulación se basa en resina epóxica, como es el caso de AdSeal. En los resultados obtenidos en su estudio

se observaron diferencias significativas en los valores de pH y en la cantidad iones de calcio liberados a los 7 y 14 días de evaluación entre los distintos tipos de cementos evaluados. El cemento AH Plus Bioceramic Sealer mostró el valor de pH más alto y una mayor liberación de iones de calcio, seguido del cemento Bio-C, mientras que el cemento AdSeal, a base de resina epóxica, mostro el pH más bajo y una liberación de iones cálcicos mínima o incluso nula.

De forma complementaria, Vivan et al.(59) evaluaron en su investigación comparativa distintos cementos endodónticos, tanto a base de silicato de calcio como de resina epóxica. Dentro de los cementos comerciales analizados, el MTA Angelus fue quien presento una alta solubilidad, pero también mostro valores superiores de pH y una mayor liberación de iones de calcio, propiedades relacionadas a su potencial bioactivo. Por otro lado, los cementos de resina epóxica, evidenciaron un adecuado comportamiento referente al tiempo de fraguado y solubilidad; sin embargo, mostraron valores de pH bajos y una liberación limitada de iones de calcio, lo que restringe su actividad bioactiva. Los autores concluyeron que, si bien estos materiales muestran comportamientos distintos, se requiere el desarrollo de más estudios experimentales que permitan profundizar en la evaluación de sus propiedades, así como de materiales nuevos.

### **Tipos de cementos endodónticos**

Los cementos endodónticos pueden agruparse, según su base química, en diversas categorías, como los basados en oxido de zinc y eugenol, ionómero de vidrio, silicona, entre otros (9). En los tiempos actuales de la endodoncia moderna y basada en evidencia científica destacan los cementos a base de resina epóxica y los

cementos a base de silicato de calcio que incluyen en su presentación según su uso clínico en materiales intrarradiculares y materiales extrarradiculares (32). Los diferentes cementos presentan propiedades fisicoquímicas distintas, lo que influye en su desempeño clínico y aplicaciones específicas (60,9).

Esta clasificación no solo facilita la comprensión de sus mecanismos de acción, sino que también permite anticipar su comportamiento clínico ante diferentes situaciones que se puedan presentar durante el desarrollo del tratamiento endodóntico (32). Las diferencias fisicoquímicas entre los cementos con composición de silicato de calcio y los que contienen resina epóxica, en aspectos como su capacidad de liberar iones, el grado de pH y la radiopacidad, importantes propiedades que determinan su biocompatibilidad, habilidad para sellar, efectividad antimicrobiana. Estas variaciones son cruciales, ya que influyen en el pronóstico clínico del tratamiento (28). Por ello, es importante tener conocimiento de que tipo de cemento es el más adecuado para tratar cada caso clínico específico.

### **Cementos a base de resina epóxica**

Desde que fueron introducidos en 1954 con el AH-26 desarrollado por Schroeder, los cementos de resina epóxica han sido modificados para minimizar su citotoxicidad, optimizar su biocompatibilidad y eficacia de sellado (38,61).

Sin embargo, diferentes estudios han determinado algunas desventajas que son asociadas a este tipo de cementos de resina epóxica, tales como una baja adaptación marginal, penetración tubular y escasa liberación de iones bioactivos, especialmente comparación con los cementos selladores de a base de silicato de calcio (45).

AH Plus, uno de los cementos más representativos y estudiado en la literatura científica, no libera formaldehído y ofrece buena adhesión a la dentina, estabilidad dimensional, baja solubilidad, alta radiopacidad, acción antibacteriana y resistencia mecánica, producto de su reacción de polimerización entre los grupos epóxidos y aminas, es reconocido como el “estándar de oro”.(9) Este cemento elaborado con resina epóxica, muestra una mayor actividad antibacteriana contra *P. gingivales* y *P. endodontalis*, aunque su efecto es menos pronunciado en contra de *E. Faecalis*. Esta acción antibacteriana se manifiesta debido a la existencia del éter diglicídico de bisfenol A, compuesto principal de la matriz epóxica que se activa durante la acción de polimerización del material. En este contexto, las bacterias Gram-negativas son más susceptibles a dichos compuestos debido que presentan paredes celulares más estrechas, lo que facilita la infiltración de agentes químicos hasta el citosol bacteriano (30).

Este cemento se distribuye en formato de dos pastas que deben integrarse antes de su utilización clínica. También está disponible en una versión premezclada en jeringa (62,63). El componente A contiene resina epóxica derivada del bisfenol A/F, mientras el componente B está compuesta por aminas como dibencildiamina, A-adamantino y decanodiamina, que actúan como agentes de curado. La interacción entre los grupos epoxi y amina da lugar a una estructura polimérica tridimensional, que confiere al material una alta resistencia mecánica y estabilidad dimensional (64,65).

El cemento Vioseal, también a base de resina epóxica, presenta un sistema de mezcla tipo pasta-pasta con una formulación que incluye oligómeros epoxi, salicilato de etilenglicol y catalizadores con fosfato de calcio. Si bien mantiene

propiedades fisicoquímicas adecuadas, su bioactividad es limitada. Su efecto antimicrobiano ha sido asociado a componentes no polimerizados que interfieren en la síntesis de ADN bacteriano. Sin embargo, al no inducir regeneración tisular, su uso queda restringido frente a materiales bioactivos(66).

### **Cementos a base de silicato de calcio**

Los cementos a base de silicato de calcio, han adquirido una posición relevante en la endodoncia moderna debido a sus destacadas propiedades físico-químicas y biológicas. Su desarrollo se consolidó a partir de la introducción del agregado de trióxido mineral (Mineral Trioxide Aggregate, MTA) en la década de 1990 (11,67), considerado un biomaterial clave en procedimientos de reparación y regeneración tisular. Derivado del cemento Portland, estos materiales han demostrado alta biocompatibilidad, bioactividad, capacidad de sellado, liberación de iones de calcio y un comportamiento clínico favorable (53), lo que ha permitido su uso en tratamientos como la retroobtuciones, reparación de perforaciones, recubrimiento pulpar, pulpotomía y procedimientos regenerativos (33). Su versatilidad y eficacia terapéutica los posicionan como materiales de elección en distintas situaciones clínicas. Por este motivo, diversos autores lo nombran funcionalmente como un material de obturación apical, material para diversas aplicaciones clínicas (11,68). Por lo tanto, en el presente trabajo se adopta el término “cementos reparadores a base de silicato de calcio” para referirse a aquellos materiales que han sido funcionalmente clasificados por diversos autores en base a sus indicaciones clínicas específicas en procedimientos de reparación tisular directa, como el recubrimiento pulpar, la retro obturación o la reparación de perforaciones (33). Esta denominación

se sustenta en su desempeño biológico favorable y en su aplicación diferenciada dentro de la práctica endodóntica contemporánea.

Pese a sus beneficios, los inconvenientes del MTA incluyen la decoloración, el largo período de fraguado, la escasa fluidez y la complejidad de manejo. Esto ha provocado la necesidad de perfeccionar las características físicas y elaborar una fórmula optimizada para vencer estos obstáculos. Como respuesta a esto, se crearon otras formulaciones, tales como el MTA Angelus (61).

Los cementos a base de silicato de calcio, también nombrados biocerámicos o cementos hidráulicos, se destacan por liberar calcio e inducir un medio alcalino. Están compuestos principalmente por silicato tricálcico, silicato di cálcico y, en algunos casos, óxidos metálicos como agentes radios pacificantes (69,70).

Durante su fraguado, el cemento reacciona con el agua, mediante el mecanismo de hidratación del silicato tricálcico, liberando hidróxido de calcio, lo que eleva el pH y facilita la formación de hidroxiapatita. Estas propiedades se asocian a su bioactividad, entendida como la capacidad de inducir respuestas biológicas favorables en contacto con tejidos (51,71). A diferencia de estos cementos, el fraguado de los cementos tradicionales como los de resina epóxica sucede mediante una reacción química entre un catalizador y una base, sin requerir de hidratación (72).

La interacción que establecen los cementos a base de silicato de calcio con la dentina no se limita únicamente a un contacto físico, sino que implica un proceso dinámico de transformación del entorno. Al liberar productos de hidratación, estos materiales generan un ambiente alcalino que modifica la estructura del colágeno

interfacial y permite la difusión de iones bioactivos como calcio, hidroxilo y carbonato.(51) Este proceso no solo favorece la formación de una capa mineralizada en la superficie dentinaria, sino que refuerza la adhesión mediante mecanismos tanto químicos como micromecánicas. Esta capacidad de integrarse activamente con el tejido dentinario contribuye a la bioactividad clínica de los cementos (73).

Considerando estas características estructurales y el mecanismo de acción por hidratación, ha emergido un debate terminológico de importancia.

Camilleri ha propuesto que el término “biocerámico” sea reemplazado por “cemento hidráulico” debido a que su modo de acción está basado en una reacción de hidratación. Otros investigadores, como Sfeir et al.(73) y Primus et al.(72) mencionan que, desde un enfoque científico y clínico, deben denominarse cementos a base de silicato de calcio o selladores a base de silicato de calcio. Esta precisión terminológica es relevante desde un enfoque científico, por lo que en la presente investigación se emplea la denominación “cemento a base de silicato de calcio”.

Estos cementos se presentan en formulaciones listas para usar o en sistemas polvo/líquido, adaptándose a distintos contextos clínicos. Su aplicación incluye desde la obturación del conducto radicular hasta la reparación de perforaciones, reabsorciones internas como externas, procedimientos de retro obturación. Tanto la forma de presentación como el tamaño de sus partículas varían según al contexto clínico que serán utilizados (51,74).

Talabani et al. señalan que el daño pulpar iatrogénico tratado con cemento que contiene silicato de calcio en presentaciones de polvo y líquido, no generan

reacciones degenerativas severas en los tejidos un mes tras la conclusión del tratamiento (75).

MTA Angelus fue uno de los primeros MTA comercializados y presentados en Brasil en 2001 y aprobado por la FDA en el 2011, Su formulación incluye silicato tricálcico, silicato di cálcico y óxido de bismuto en menor cantidad. La exclusión del sulfato de calcio favoreció la reducción del tiempo de fraguado. Es ampliamente utilizado por su biocompatibilidad, radiopacidad adecuada y capacidad para inducir formación de tejido duro (76).

Los recientes avances han llevado al desarrollo de cementos selladores a base de silicato de calcio, indicados para la obturación del sistema de conductos radiculares. Estos materiales presentan importantes ventajas clínicas, como su biocompatibilidad, que reduce el riesgo de rechazo por los tejidos periapicales, y su composición rica en fosfato de calcio, que mejora el fraguado y favorece la adhesión a la dentina radicular mediante la formación de una estructura cristalina similar a la apatita. Estas propiedades permiten una mejor integración con el tejido dentinario, aunque también implican desafíos, como su difícil remoción en casos de retratamiento endodóntico (17).

La más reciente generación de selladores formulados con silicato de calcio se encuentra disponible en su presentación de premezclado, lo que ofrece una consistencia homogénea sin requerir procesos de mezcla manual para utilizarlos, como AH Plus Bioceramic (49).

AH Plus Bioceramic representa una evolución de los cementos tradicionales. En contraste al AH Plus convencional, está elaborado con silicato tricálcico, dióxido de circonio y carbonato de litio. Este cemento innovador presenta fraguado rápido,

adecuada radiopacidad y no genera decoloración dental. Su bioactividad contribuye a la remineralización y regeneración tisular. Aunque no contiene silicato di cálcico, su formulación presenta entre un 5% y 15% de silicato tricálcico, en contraste con otros cementos cuya composición principal incluye silicato de calcio en mayor proporción (77). A diferencia del MTA Angelus, que viene en dos componentes para su mezcla manual, este cemento de silicato de calcio moderno viene preparado en una presentación en jeringa premezclada y predosificada (13).

La evidencia científica actual ha demostrado que las propiedades como la radiopacidad, el mantenimiento de un pH alcalino sostenido y la emisión continua de iones de calcio están directamente relacionados con la eficacia del tratamiento endodóntico(11,38). Asimismo, contrastar los cementos con formulación epóxica y aquellos compuestos con silicato de calcio favorece identificar variaciones relevantes que respaldan su análisis sistemático. El presente trabajo se sustenta en fundamentos teóricos para analizar experimentalmente el desempeño de estos materiales y aportar evidencia que respalde su uso clínico informado y basado en criterios científicos.

## IV. METODOLOGÍA

### IV.1 Diseño del estudio

Experimental in vitro.

### IV.2 Muestra

La muestra estuvo compuesta por 4 grupos de cementos endodónticos, Vioseal® (Spident, Seúl, Corea), AH, Plus® (Dentsply Detrey GmbH, Konstanz, Germany), MTA Angelus® (Angelus, Londrina, Paraná Brasil), AH Plus® Bioceramic Sealer (Dentsply Sirona, Bensheim, Germany). **(Anexo1)**

Con el fin de determinar el tamaño muestral, se realizó un estudio piloto preliminar con tres muestras por grupo para evaluar las propiedades de radiopacidad, pH y liberación de iones de calcio. Dado que la liberación de iones de calcio mostro la mayor varianza (11.76), se utilizó este valor para el cálculo del tamaño de la muestra, aplicando la fórmula para la comparación de medias con un nivel de confianza de 95% y un poder estadístico de 80%. El cálculo indico un tamaño mínimo de 6 muestras por grupo; sin embargo, para el presente estudio se utilizó 10 muestras por grupo, correspondiente a cada uno de los cuatro cementos evaluados. Se evaluaron las siguientes propiedades con el número de muestra indicado: para la evaluación de radiopacidad 10 especímenes (total 40 especímenes), para pH y liberación de iones de calcio 10 especímenes (total 40 especímenes).

La unidad de análisis estuvo conformada por especímenes de forma cilíndrica de 10 mm de diámetro y 1mm de altura.

### Criterios de selección

- Cemento Vioseal®, AH Plus®, MTA Angelus®, AH Plus® Bioceramic todos con fecha de prescripción vigente.
- Muestras de cemento lisas, sin burbujas ni porosidades.

### Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Indicador	Tipo	Escala	Valor
Cementos endodónticos	Forma de manipulación de los cementos.	Composición química	Cualitativa	Nominal	A base resina epóxica: -Vioseal® - AH Plus®.  A base de silicato de calcio: Sellador: -AH Plus® Bioceramic Sealer Reparador: -MTA Angelus®
Radiopacidad	Capacidad de un cuerpo para absorber radiaciones.	Radiopacidad	Cuantitativa	Razón	mm/Al
pH	Nivel de acidez o alcalinidad del medio líquido en el que se encuentra la muestra.	Medición de pH con un pH-metro	Cuantitativa	Intervalo	0-14
Liberación de iones de calcio	Concentración de ion Ca <sup>2+</sup> liberado	Medición y valor acumulado realizado con un espectrofotómetro	Cuantitativa	Razón	ppm
Tiempo (covariable)	Duración en días de la medición de las propiedades del cemento.	Días transcurridos	Cuantitativa	Intervalo	1,7,14 días

### **IV.3 Procedimiento y técnicas**

#### **Preparación de muestras**

Las etapas experimentales se desarrollaron en los Laboratorios de la Facultad de química e ingeniería química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los cementos se manipularon de acuerdo con las indicaciones de cada fabricante y se colocaron en moldes de acrílico con forma de anillo (10 mm de diámetro y 1 mm de altura) (13,19), dispuestos sobre una platina de vidrio cubierta con papel celofán. A continuación, se colocó una segunda platina recubierta con celofán (42), y sobre esta se aplicó un peso de 1 Kg durante 10 segundos, con el fin de nivelar las superficies y eliminar el exceso de material. A continuación, las muestras se colocaron en una incubadora a 37°C y 95% de humedad durante 24 horas, para asegurar un fraguado completo y homogéneo de todos los cementos. Tras el fraguado, las muestras fueron retiradas del molde y se verificó su espesor con un calibrador digital (Mitutoyo Corp., Tokio, Japón). **(Anexo 2)** Posteriormente, se codificaron aleatoriamente por un investigador independiente para asegurar el cegamiento del evaluador. Las muestras destinadas a la evaluación de radiopacidad se almacenaron en seco, mientras que aquellas destinadas a la medición de pH y liberación de iones de calcio se sumergieron en agua destilada desionizada e incubaron a 37 °C con 95 % de humedad durante 24 horas antes de iniciar las evaluaciones experimentales (54, 19).

### **Evaluación de la radiopacidad según norma ISO 6876**

Las muestras aprobadas se colocaron sobre una película radiográfica digital junto a una cuña de aluminio de 10 escalones, con espesores que varían de 1 a 10 mm (incrementos 1 mm por escalón), utilizada como material de referencia. Según la norma ISO 6876, los cementos endodónticos deben presentar una radiopacidad mayor a 3.0 milímetros de aluminio (mm Al) (20). La exposición radiográfica se realizó con un equipo de rayos X Sommo® (Gnatus®, Sao Paulo, Brasil) a 70 kV, 8mA y una distancia focal de 400 mm. Las imágenes obtenidas fueron procesadas mediante el software ImageJ (National Institute of Health, Bethesda, EE.UU.), donde inicialmente se midió la densidad óptica de la cuña de aluminio seleccionando las regiones de interés (ROI) que abarcaron el área central correspondientes a cada espesor, utilizando dimensiones uniformes para todos. A partir de los datos obtenidos, se generó una curva de calibración que relacionó los valores de densidad óptica con espesores en mm Al. Posteriormente, se aplicó un ajuste logarítmico a estos datos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Corporation®, Nuevo México, EE.UU.), utilizando una ecuación  $y=a*\ln(x)+b$ , donde  $y$  representa el valor de gris y  $x$  el espesor en mm Al. Esta ecuación fue ajustada mediante el método de mínimos cuadrados, proporcionando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que arrojó un valor de 0.9956). Luego, se midió la densidad óptica de cada muestra de cemento, seleccionando igualmente una

ROI en el área central de cada una, con dimensiones iguales en todas las muestras. Utilizando la ecuación obtenida anteriormente, se convirtió cada valor de gris en milímetros de aluminio. Este procedimiento permitió determinar de manera estandarizada y cuantitativa la radiopacidad de los cementos (19,43). **(Anexo3)**

### **Procedimiento para medir el pH**

Cada muestra fue colocada en un tubo de ensayo de polietileno con 10 ml de agua destilada desionizada (45), sellados y previamente codificados por un investigador externo al estudio. Las muestras se almacenaron en una incubadora a 37 °C y 95° de humedad durante todo el periodo experimental. Las mediciones de pH se realizaron a los 1, 7 y 14 días(54), por triplicado en cada intervalo (78), con el fin de garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados. En cada periodo de evaluación, el agua desionizada en contacto con cada muestra fue transferida a un vaso de precipitados estéril. Seguidamente se añadió un volumen nuevo de agua desionizada al mismo tubo que contenía la muestra, manteniendo así las condiciones experimentales.**(Anexo4)** La solución transferida al vaso de precipitado se agito manualmente durante 5 segundos (50,18). El pH fue determinado con un pH-metro digital (MW151 MAX, Milwaukee Instruments, EE.UU.), el cual cuenta con un electrodo sensible de ion hidrógeno, mostrando los valores con dos cifras decimales en pantalla. El dispositivo fue calibrado previamente antes de cada evaluación experimental utilizando soluciones buffer estándar de pH 4.00,7.00,10.00

y 12.00. La exactitud del equipo fue verificada con una solución control intermedia de pH 9.18; se aceptó un error máximo de  $\pm 0.01$  pH antes de proceder a la medición de las muestras (79,80). **(Anexo 5)**

### **Procedimiento para medir la liberación de ion de calcio (Ca<sup>2+</sup>)**

Cada muestra fue colocada en un tubo de ensayo de polietileno con 10 ml de agua destilada desionizada, sellados con parafilm y previamente codificados por un investigador externo al estudio. Las muestras se almacenaron en una incubadora a 37 °C y 95° de humedad durante todo el periodo experimental. Las mediciones de iones de calcio liberados se realizaron a los 1, 7 y 14 días (18), por triplicado en cada intervalo, con el fin de garantizar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados. En cada periodo de evaluación, el agua desionizada en contacto con cada muestra fue transferida a un vaso de precipitados estéril. Seguidamente se añadió un volumen nuevo de agua desionizada al mismo tubo que contenía la muestra, manteniendo así las condiciones experimentales. **(Anexo 6)** La solución transferida al vaso de precipitado se agito manualmente durante 5 segundos (18,54). La concentración de iones de calcio liberados fue evaluada mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (AA6800; Shimadzu, Tokyo, Japan). Es un equipo analítico cuyo funcionamiento está basado en introducir la muestra líquida en un horno de grafito y calentarla hasta producir su atomización. Durante este proceso los átomos presentes en la muestra absorben luz a una longitud de onda específica. El nivel de luz

absorbida está relacionado con la concentración del ion en la solución, lo que permite determinar su cuantificación mediante una curva de calibración. Antes de cada sesión analítica, el equipo fue calibrado empleando soluciones estándar de calcio, preparadas a partir de una solución madre de cloruro de calcio, diluidas con agua desionizada para obtener concentraciones de 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ppm. A partir de estas soluciones se construyó una curva de calibración lineal con la ecuación  $Abs = 0.095442 \cdot Conc - 0.0018256$ , obteniéndose un coeficiente de correlación ( $r= 0.9998$ ), lo que indicó una excelente relación lineal entre la absorbancia y la concentración de iones de calcio (79). **(Anexo 7)**

#### **IV.4 Consideraciones éticas**

Esta investigación no requirió la participación de seres humanos, sin embargo, se presentó a la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación (DUARI).

Los investigadores del estudio no presentaron conflicto de interés con las marcas utilizadas en la investigación.

Se gestionó y otorgó el permiso necesario por parte de los laboratorios de la Facultad de química e ingeniería química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

#### **IV.5 Plan de análisis**

Los datos recolectados fueron organizados y procesados inicialmente en el software Microsoft Excel, donde se realizaron cálculos descriptivos básicos, como la media, desviación estándar y rangos. Posteriormente, se utilizó el software Jamovi para realizar los análisis inferenciales.

La distribución de los datos fue analizada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Dado que no se cumplieron los supuestos de normalidad ( $p < 0.05$ ), se optó por emplear la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, adecuada para comparar las medianas de Múltiples grupos en datos no normales. Para identificar diferencias específicas entre los grupos, se utilizó el post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner.

Se adoptó un nivel de confianza del 95% y se utilizó un umbral de significancia estadística de  $p < 0.05$ .

## V. RESULTADOS

La Tabla 1, Los cementos Vioseal® y AH Plus® presentaron los valores más altos de radiopacidad, con  $9.98 \pm 0.42$  mm y  $10.00 \pm 0.38$  mm, respectivamente. En contraste, el MTA Angelus®, a base de silicato de calcio, mostró la menor radiopacidad ( $4.72 \pm 0.40$  mm), siendo significativamente diferente al resto de los cementos evaluados ( $p < 0.05$ ). (Tabla 1)

En cuanto al comportamiento del pH durante los periodos de 1, 7 y 14 días, el cemento AH Plus® Bioceramic Sealer presentó los valores de pH más elevados y sostenidos (12), mientras que AH Plus® registró consistentemente los valores más bajos, alcanzando  $6.25 \pm 0.26$  al día 14. Las diferencias entre todos los cementos fueron estadísticamente significativas en cada periodo de evaluación ( $p < 0.05$ ). (Tabla 2)

Respecto a la liberación de iones de calcio, Vioseal® presentó las concentraciones más altas tanto al día 1 ( $26.7 \pm 3.12$  ppm) como al día 7 ( $29.4 \pm 3.12$  ppm), seguido de AH Plus® Bioceramic Sealer al día 7 ( $18.60 \pm 5.54$  ppm). Por su parte, AH Plus® mostró la menor liberación de calcio en todos los tiempos evaluados, con un valor final de  $2.82 \pm 0.96$  ppm al día 14 ( $p < 0.05$ ). (Tabla 3)

**Tabla 1.** Descripción y comparación de la radiopacidad de cementos endodónticos.

	<b>Radiopacidad (mm Al)</b>				
	Media†	Desviación estándar	Mediana	Mínimo	Máximo
Vioseal®	9.98 <sup>a</sup>	0.42	9.76	9.42	10.50
AH Plus®	10.00 <sup>a</sup>	0.38	9.87	9.54	10.60
MTA Angelus ®	4.72 <sup>b</sup>	0.40	4.69	4.20	5.32
AH Plus ®Bioceramic Sealer	9.04 <sup>c</sup>	0.28	9.05	8.51	9.35

†Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticamente significativas según el test de Kruskal-Wallis y el test post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner al nivel de  $p=0.05$ .

**Tabla 2.** Descripción y comparación de pH de cementos endodónticos analizados a los 1,7 y 14 días.

	<b>pH</b>		
	1 día±DS	7 días±DS	14 días ±DS
Vioseal®	9.25 ± 0.54Aa	8.45 ± 0.16Ba	7.25 ± 0.35Ca
AH Plus®	7.00 ± 0.00Ab	6.60 ± 0.21ABb	6.25 ± 0.26Bb
MTA Angelus ®	11.10 ± 0.34Ac	10.60 ± 0.44ABc	10.50 ± 0.47Bc
AH Plus ®Biocerami Sealer	12.50 ± 0.00Ad	12.00 ± 0.00Bd	12.00 ± 0.00Bd

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre cementos; letras mayúsculas diferentes, entre tiempos de evaluación (Kruskal-Wallis y el test post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner).

**Tabla 3.** Descripción y comparación de la liberación de iones de Ca<sup>+</sup> (ppm) de cementos endodónticos analizados a los 1,7 y 14 días.

	<b>Ca<sup>+</sup> (ppm)</b>		
	1 día±DS	7 días±DS	14 días± DS
Vioseal®	26.7±3.12Aa	29.4±3.12Aa	9.28±0.51Ba
AH Plus®	2.32±0.35Ab	1.57±0.74Ab	2.82±0.98Ab
MTA Angelus ®	11.80±1.00Ac	10.90±0.98Ac	9.83±1.02Aa
AH Plus ®Bioceramic Sealer	12.5 ±1.51Ad	18.60±5.54Bd	10.9±2.03Aa

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre cementos; letras mayúsculas diferentes, entre tiempos de evaluación (Kruskall-Walis y el test post-hoc de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner).

## VI. DISCUSIÓN

Los cementos selladores son fundamentales para lograr un sellado hermético del sistema de conductos radiculares. Por su parte los cementos reparadores contribuyen a bloquear cualquier comunicación que pueda existir entre los conductos radiculares y los tejidos circundantes , garantizando el éxito clínico a largo plazo del tratamiento (3,54,33) .

Estos materiales presentan diferencias en su composición química, las cuales determinan su comportamiento fisicoquímico y su desempeño clínico .En este sentido los más empleados actualmente son los cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica (9).

El cemento AH Plus® es considerado el “estándar de oro” entre los cementos a base de resina epóxica.(45) Vioseal® también es un cemento epóxico disponible comercialmente, formulado con fosfato de calcio, lo que lo hace comparable con algunos cementos formulados a partir de silicato de calcio que poseen actividad antibacteriana (66). Por otro lado, MTA Angelus, es el primer cemento de MTA que fue comercializado y ampliamente documentado en la literatura científica, convirtiéndose como referente confiable para evaluar y comparar el comportamiento de nuevos cementos reparadores de silicato de calcio (33,11).Recientemente, se ha introducido al mercado AH Plus® Bioceramic®, una formulación moderna que combina la base epóxica con compuestos bioactivos, según las especificaciones del fabricante (54).

En este contexto, el presente estudio evaluó la radiopacidad, el comportamiento del pH y la cantidad de iones de calcio liberados por estos cementos, para aportar

evidencia relevante que contribuya en la selección del cemento más adecuado según las necesidades del caso clínico (6,73).

La radiopacidad es una propiedad significativa tanto en los cementos selladores como en los reparadores empleados en endodoncia, ya que permite localizar el material en exámenes radiográficos, facilitando así la identificación de probables defectos durante el seguimiento clínico. Desde el punto de vista clínico una adecuada radiopacidad contribuye al control postoperatorio y al éxito del tratamiento. En el presente estudio , la radiopacidad fue una de las propiedades evaluadas ,dada su importancia tanto diagnóstica como clínica en la práctica endodóntica (19,40).

En este estudio, tanto los cementos los cementos selladores y reparadores evaluados superaron el umbral mínimo de 3 mm Al establecido por la norma ISO 6876:2012 (20), lo que garantiza su aceptabilidad clínica. La radiopacidad fue determinada utilizando una escala de milímetros de aluminio (mm Al) empleada como referencia. Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en estudios previos (81). No obstante, se identificaron variaciones significativamente relevantes en los niveles de radiopacidad entre los cementos evaluados. Los cementos formulados con matriz epóxica como, AH Plus® y Vioseal® presentaron los valores más altos, mientras que los cementos constituidos a partir de silicato de calcio, como MTA Angelus® y AH Plus® Bioceramic, mostraron valores inferiores.

Los hallazgos del presente estudio son consistentes con lo reportado por Tanomaru-Filho et al., quienes observaron valores de radiopacidad de  $9.50 \pm 0.30$  mm Al para AH Plus®, superiores a los registrados para los cementos a base de silicato de calcio evaluados.(82) De forma complementaria, Quaresma et al. reportaron una

radiopacidad de  $9.17 \pm 0.06$  mm Al para AH Plus®, superior a AH Plus® Bioceramic, que mostro un valor inferior al de su versión epóxica.(83)

La alta radiopacidad de AH Plus® está relacionada con su formulación, la cual incluye óxido de zirconio ( $ZrO_2$ ) y tungstenato de calcio ( $CaWO_4$ ) en elevadas proporciones como agentes radios pacificadores. Estos compuestos, al poseer un alto número atómico, aumentan la capacidad del material para absorber los rayos X, generando imágenes más contrastadas en las radiografías (42,43).

Esta relación entre la composición química y el comportamiento radiográfico ha sido confirmada por estudios previos que, mediante espectroscopía de dispersión de energía (EDS), identificaron dichos elementos en la matriz del material. Por lo tanto, la mayor proporción de óxidos pesados hallados en AH Plus® explicaría su radiopacidad significativamente mayor frente a los cementos biocerámicos evaluados (84,85).

No obstante, el rendimiento radiográfico de AH Plus® Bioceramic sigue siendo clínicamente aceptable. Este hallazgo podría explicarse por factores relacionados a su formulación, dado su contenido de 50 a 75 % de óxido de zirconio, compuesto que contribuye significativamente en la radiopacidad, independientemente del tipo de base del cemento (48,77).

Por su parte, MTA Angelus® fue el cemento con la radiopacidad más baja del estudio. Está limitada radiopacidad ha sido previamente reportada por otros autores, quiénes la atribuyen a su menor concentración de óxido de bismuto (20%), agente radiopacificante que posee un menor número atómico y, por ende, menor absorción de rayos x (39,76).

La metodología empleada para la evaluación de la radiopacidad se basó en un análisis cuantitativo con conversión estadística a mm Al, lo que permitió obtener valores continuos sin estar limitados al espesor físico de la escala de aluminio. Este enfoque metodológico ha sido previamente utilizado y respaldado por estudios previos que evaluaron la radiopacidad de manera cuantitativa (19,43).

En cuanto al pH, se observó que los cementos a base de silicato de calcio tanto el sellador como el reparador presentaron valores alcalinos sostenidos durante todo el periodo de evaluación, en contraste con los cementos de resina epóxica. Este comportamiento puede explicarse por la presencia de óxidos de calcio y compuestos fosfatados, los cuales liberan iones hidroxilo q elevan el pH del medio para su acción antibacteriana (51). En particular, AH Plus® Bioceramic evidenció un pH de 12 al día 14, mostrando su potencial de sostener un medio alcalino beneficioso en etapas iniciales.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Kawak et al., quienes evaluaron el AH Plus® Bioceramic hasta los 28 días y registraron un pH superior a 11 durante las dos primeras semanas (86). De forma complementaria, Souza et al. también observaron un pH elevado (10.5 a 11) a los 7 días, significativamente mayor en comparación con cementos epóxicos (84).

Estos estudios refuerzan la evidencia de que AH Plus® Bioceramic mantiene un entorno alcalino sostenido, lo cual resulta clave para limitar la supervivencia microbiana y ayudar a favorecer procesos de reparación biológica (70).

En relación con los valores de pH registrados para AH Plus® Bioceramic, se observó que en algunos periodos estos superaron el rango de estándar de calibración del pH metro empleado . No obstante , esta situación no invalida las mediciones

obtenidas ,dado que valores de pH superiores a 12 han sido previamente reportado para cementos a base de silicato de calcio , tal como se describe en estudios previos (85).La elevada alcalinidad se encuentra relacionada a la liberación de iones de hidroxilo característica de los cementos a base de silicato de calcio (32). Sin embargo , se reconoce que ajustes metodológicos , como el incremento del volumen de la solución o la reducción del tiempo de contacto entre la muestra y el medio, con el fin de mantener las mediciones dentro del rango instrumental del pH-metro en futuras investigaciones.

El MTA Angelus® mostró un comportamiento similar al AH Plus® Bioceramic en cuanto a la presencia de un pH alcalino, con diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos evaluados. Esto coincide con lo reportado por Nashibi et al, quienes describieron que el MTA Angelus® presenta un pH alcalino adecuado, aunque en menor magnitud en comparación con cementos biocerámicos de nueva generación (43).

En contraste, el cemento AH Plus® mostró los valores de pH más bajos del estudio (6.25), resultados coherentes con su composición basada en resina epóxica no bioactiva. Esta característica representa una desventaja respecto a los formulados con silicato de calcio, ya que no favorecerá adecuadamente la desinfección del conducto radicular (64).

En el presente estudio, AH Plus® Bioceramic presentó una caída abrupta en la liberación de iones de calcio a partir del día 14, comportamiento que coincide con lo reportado por Zamparini et al., quienes también observaron una disminución significativa en este cemento desde el mismo periodo, la cual continuó descendiendo hasta el día 28 de evaluación (87).

De manera concordante, Raman et al., documentaron que AH Plus® Bioceramic presentó una liberación disminuida de iones de calcio al compararlos con otros cementos igualmente formulados con silicato de calcio, atribuido a su menor contenido de trisilicato de calcio (5.15 %) (88). Esta disminución puede explicarse, además, por la formación de precipitados superficiales y la disminución de compuestos cálcicos del cemento, tal como lo describen estudios previos (54,59). Esta disminución en la liberación de iones de calcio resulta relevante, ya que una adecuada y sostenida liberación de iones es fundamental para favorecer la bioactividad, estimulando la formación de hidroxiapatita, la regeneración tisular, sellado biológico y remineralización, lo cual es fundamental para una correcta cicatrización en tratamientos endodónticos (38,77).

Liberar iones de calcio es una característica distintiva de los cementos cuya composición se basa en silicato de calcio, atribuida a su naturaleza hidrofílica y a la presencia de compuestos cálcicos en su formulación (49,73)

A diferencia de estudios anteriores que registraron una liberación superior de iones de calcio en cementos a base de silicato de calcio tanto selladores frente a los de resina epóxica (85,60), en la presente investigación se observó la liberación alta de iones de calcio durante el 1 y 7 día en el cemento Vioseal®, de resina epóxica, superando incluso a los cementos con matriz de silicato de calcio como el AH Plus® Bioceramic y MTA Angelus®.

Este desempeño atípico para un cemento epóxico como Vioseal®, puede atribuirse a la presencia de fosfato de calcio en su catalizador, compuestos que, en contacto con medios acuosos, se disocian liberando iones calcio (89). Por tanto la liberación iónica observada en Vioseal® no corresponde a una reacción bioactiva, sino a una

liberación iónica de naturaleza fisicoquímica .A diferencia de los cementos a base de silicato de calcio que liberan iones de calcio como resultado de su reacción de hidratación. Esta liberación de iones ,en contacto con fosfatos presentes en el entorno biológico, favorecen la formación de hidroxiapatita en la superficie del material, lo cual si constituye una reacción de bioactividad ( 32,72).

Aunque actualmente no se dispone de estudios publicados que analicen a profundidad las propiedades fisicoquímicas y la composición del Vioseal, estos resultados sugieren que dicho cemento debe ser estudiado en investigaciones futuras.

Por lo tanto, los hallazgos de la presente investigación brindan evidencia relevante para orientar al clínico en la selección de cementos a base de silicato de calcio y resina epóxica , considerando no solo su desempeño radiográfico, sino también su capacidad de presentar pH alcalino y liberar iones de calcio, propiedades importantes para favorecer la reparación tisular y el éxito a largo plazo del tratamiento endodóntico.

Considerando las posibles limitaciones del estudio realizado, se debe considerar que las condiciones experimentales in vitro utilizadas permiten estandarizar la evaluación de las propiedades fisicoquímicas de los cementos; sin embargo, no reproducen completamente las condiciones biológicas del ambiente clínico.

Los hallazgos de esta investigación ofrecen criterios objetivos para seleccionar y comparar cementos selladores y reparadores según su radiopacidad, pH, y liberación de iones de calcio, basados en evidencia científica que va permitir una selección adecuada del material según las necesidades terapéuticas. Además, forma una base para desarrollar futuras investigaciones orientadas a evaluar las

propiedades fisicoquímicas de los diferentes cementos que se van incorporando progresivamente al mercado.

## VII. CONCLUSIONES

1. Los cuatro cementos evaluados (tres selladores y un reparador) presentaron una radiopacidad mayor a la requerida por la ISO 6876:2012. Los cementos a base de silicato de calcio tanto selladores como reparadores, presentaron un pH alcalino y una liberación de calcio sostenida durante el periodo evaluado, mientras que el cemento Vioseal® a base de resina epóxica, mostró una liberación de calcio al inicio del tiempo de evaluación. Estos resultados permiten una mejor selección de cementos selladores y reparadores por parte del profesional, en función de sus propiedades fisicoquímicas y el contexto clínico previsto.
2. La mayor radiopacidad observada en los cementos a base de resina epóxica, en comparación con los cementos a base de silicato de calcio, contribuye a una mejor visualización en las imágenes radiográficas del cemento, lo que facilita su identificación y control durante y después del tratamiento endodóntico.
3. Los cementos a base de silicato de calcio, tanto selladores como reparadores, mantuvieron un pH alcalino sostenido durante todo el periodo de evaluación, a diferencia de los cementos a base de resina epóxica, que presentaron un pH neutro o levemente alcalino. Este comportamiento resulta relevante, ya que un pH alcalino sostenido se asocia con un entorno desfavorable para la supervivencia bacteriana, lo cual se ha relacionado con un potencial efecto antibacteriano de este tipo de cementos.
4. Los cementos a base de silicato de calcio presentaron una liberación sostenida de iones de calcio durante el periodo evaluado. Este hallazgo es clínicamente

relevante, ya que la liberación sostenida de calcio contribuye a los procesos de reparación de los tejidos periapicales.

5. El cemento Vioseal® de resina epóxica, mostro una liberación inicial alta de iones de calcio en los primeros días, pero de forma transitoria. Este comportamiento, escasamente reportado en la literatura científica , representa un aporte novedoso del presente estudio, al ampliar el conocimiento sobre las propiedades fisicoquímicas de este cemento y aportar información relevante para su selección clínica y para futuras líneas de investigación.

## **VIII. RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda llevar a cabo estudios posteriores de tipo comparativo que evalúen las propiedades fisicoquímicas de diferentes marcas de cementos comerciales a base de silicato de calcio y resina epóxica.
2. Se sugiere realizar estudios adicionales que evalúen las propiedades físico químicas del cemento Vioseal, debido a la limitada información científica disponible y los resultados particulares en este estudio

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Schilder H. Filling Root Canals in Three Dimensions. *J Endod.* 2006;32(4):281- 90.
2. Janini ACP, Pelepenko LE, Gomes BPPA, Marciano MA. Physico-chemical properties of calcium silicate-based sealers in powder/liquid and ready-to-use forms. *Braz Dent J.* 2022;33(5):18-25.
3. Branstetter J, Von Fraunhofer JA. The physical properties and sealing action of endodontic sealer cements: a review of the literature. *J Endod.* 1982;8(7):312-6.
4. Mazzi-Chaves JF, Silva-Sousa YTC, Leoni GB, Silva-Sousa AC, Estrela L, Estrela C, et al. Micro-computed tomographic assessment of the variability and morphological features of root canal system and their ramifications. *J Appl Oral Sci.* 2020;28: e20190393.
5. Colombo M, Poggio C, Dagna A, Meravini MV, Riva P, Trovati F, et al. Biological and physico-chemical properties of new root canal sealers. *J Clin Exp Dent.* 2018;10(2): e120–6.
6. Amoroso-Silva P, Brasil SC, Perez AR, Tolentino ES, Alves FRF, Siqueira JF Jr. , et al. Influence of sealer type on treatment outcome of

- teeth with apical periodontitis: a systematic review. *Braz Dent J.* 2023;34(5):1–21.
7. Baras BH, Melo MAS, Thumbigere-Math V, Tay FR, Fouad AF, Oates TW, et al. Novel Bioactive and Therapeutic Root Canal Sealers with Antibacterial and Remineralization Properties. *Materials (Basel).* 2020;13(5):1096.
  8. Leonardo M. Tratamientos de conductos radiculares: Principios técnicos y biológicos. 2nd ed. Buenos Aires: Artes Médicas ;2005. Vol.2.
  9. Kobayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dent Mater J.*2020;39(5):703-720.
  10. Khoswanto C, Kusuma Dewi I. MTA as modulator of periapical tissue healing in rat molar: A histological study. *J Oral Biol Craniofac Res.* 2024;14(2):201-204.
  11. Yamamoto S, Han L, Noiri Y, Okiji T. Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J.* 2017 ;50 Suppl 2: e73-e82.

12. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review--part III: clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod.* 2010;36(3):400–413.
13. Kharouf N, Sauro S, Eid A, Zghal J, Jmal H, Seck A, et al. Physicochemical and Mechanical Properties of Premixed Calcium Silicate and Resin Sealers. *J Funct Biomater.* 2022;14(1):9.
14. Cardona JC, González JM, Avendaño JC. Physicochemical properties of two epoxy resin-based sealants: Topseal® and AdSeal™. A comparative study. *Rev Fac Odontol Univ Antioq .* 2019;31(1):68–76.
15. Lim M, Jung C, Shin DH, Cho YB, Song M. Calcium silicate-based root canal sealers: a literature review. *Restor Dent Endod.* 2020;45(3): e35.
16. Roberts HW, Toth JM, Berzins DW, Charlton DG. Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: a review of the literature. *Dent Mater.* 2008;24(2):149–164.
17. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-based root canal sealers: a review. *Int J Biomater.* 2016; 2016:9753210.

18. Villa N, Santos VVD, Costa UMD, Mendes AT, Duarte PHM, Rosa RAD, et al. A new calcium silicate-based root canal dressing: physical and chemical properties, cytotoxicity and dentinal tubule penetration. *Braz Dent J.* 2020;31(6):598–604.
19. Sen HG, Helvacioğlu-Yigit D, Yilmaz A. Radiopacity evaluation of calcium silicate cements. *BMC Oral Health.* 2023;23(1):491.
20. International Organization for Standardization (ISO). ISO 6876:2012. Dental root canal sealing materials [Internet]. Geneva: ISO; 2012 [cited 2024 May 23]. Available from: <https://www.iso.org/standard/45117>
21. American National Standards Institute; American Dental Association. ANSI/ADA specification N°.57: Endodontic sealing materials. New York: ANSI/ADA; 2021.
22. Zebaúda-Castellanos CH, Marín-Miranda M, Guerrero IJ, et al. Evaluación de pH, fraguado y resistencia a la compresión de dos cementos MTA comerciales y un MTA de reciente desarrollo. *Rev Odont Mex.* 2022;26(1):51–62.
23. Retana C, Tanomaru M, Guerreiro JM, Benavides M, Hernández E, Reyes J, et al. Push-out bond strength, characterization, and ion release of

premixed and powder-liquid bioceramic sealers with or without gutta-percha. *Scanning*. 2021;2021: 66197930.

24. Carvalho B, Affonso R, Luna S, Hungaro M, Magalhães P, Bernardineli N, et al. Evaluation of pH and calcium ion release of new root end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009; 108:135–139.

25. Rebolledo S, Alcántara-Dufeu R, Luengo Machuca L, Ferrada L, Sánchez-Sanhueza GA. Real-time evaluation of the biocompatibility of calcium silicate-based endodontic cements: an in vitro study. *Clin Exp Dent Res*. 2023;9(2):322–331.

26. Cardinalli F, Camilleri J. A critical review of the material properties guiding the clinician's choice of root canal sealers. *Clin Oral Investig*. 2023;27(4):4155–69.

27. McClanahan S, Crepps J, Maranga M, Worrell D, Behnia A, editors. *Glossary of endodontic terms*. 10th ed. Chicago: American Association of Endodontists; 2020. p. 1–48.

28. Azizi H, Hadad A, Levy DH, Ben Itzhak J, Kim HC, Solomonov M. Calcium silicate-based and epoxy-based root canal sealers for different clinical scenarios. *Dent J (Basel)*. 2024;12(3):257.
29. Camilleri J. Cements used in dentistry: current status and future perspectives. *Dent Mater*. 2014;30(10):971–86.
30. Shin JH, Lee DY, Lee SH. Comparison of antimicrobial activity of traditional and new developed root sealers against pathogens related to root canal. *J Dent Sci*. 2018;13(1):54–9.
31. Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J*. 2018 ;1(3):284-317.
32. Camilleri J. Classification of hydraulic cements used in dentistry. *Front Dent Med*. 2020;1:1–6.
33. Eskandari F, Razavian A, Hamidi R, Yousefi K, Borzou S. An updated review on properties and indications of calcium silicate-based cements in endodontic therapy. *Int J Dent*. 2022;2022:6858088.

34. Li GH, Niu LN, Zhang W, Olsen M, De-Deus G, Eid AA, et al. Ability of new obturation materials to improve the seal of the root canal system: a review. *Acta Biomater.* 2014;10(3):1050–63.
35. Chandak M, Patel A, Patel S, et al. Clinical utility index for root canal sealers. *BMC Oral Health.* 2024;24(1):1258.
36. Grossman LI. An improved root canal cement. *J Am Dent Assoc.* 1958;56(3):381–5.
37. Nashibi S, Amjadi P, Ahmadi S, Hekmatian S, Torshabi M. Physical, chemical and biological properties of MTA Angelus and novel AGM MTA: an in vitro analysis. *BMC Oral Health.* 2025 ;25(1):145.
38. Ricucci D, Grande NM, Plotino G, Tay FR. Histologic Response of Human Pulp and Periapical Tissues to Tricalcium Silicate-based Materials: A Series of Successfully Treated Cases. *J Endod.* 2020 ;46(2):307-317.
39. Tanomaru-Filho M, Jorge EG, Guerreiro Tanomaru JM, Gonçalves M. Radiopacity evaluation of new root canal filling materials by digitalization of images. *J Endod.* 2007 ;33(3):249–51.

40. Malka VB, Hochscheidt GL, Larentis NL, Grecca FS, Fontanella VR, Kopper PM. A new in vitro method to evaluate radio-opacity of endodontic sealers. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(5):20140422.
41. Eliasson ST, Haasken B. Radiopacidad de los materiales de impresión. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1979;47(5):485–91.
42. Gambarini G, Testarelli L, Pongione G, Gerosa R, Gagliani M. Radiographic and rheological properties of a new endodontic sealer. *Aust Endod J.* 2006;32: 31–4.
43. Sarunket C, Banomyong D, Vibulcharoenkij P, Sutiumtanakul S. Radiopacity of Portland cement and calcium silicate-based cement with different mixed ratios of radiopacifiers. *Eur Endod J.* 2022;7(1):52–7.
44. Chen MS, Lin HN, Cheng YC, Fang A, Chen CY, Lee PY, et al. Effects of milling time, zirconia addition, and storage environment on the radiopacity performance of mechanically milled Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub> composite powders. *Materials (Basel).* 2020;13(3):563.
45. Almeida MM, Rodrigues CT, Matos AA, Carvalho KKT, Silva EJNL, Duarte MAH, et al. Analysis of the physicochemical properties,

- cytotoxicity and volumetric changes of AH Plus, MTA Fillapex and TotalFill BC Sealer. *J Clin Exp Dent*. 2020;12(11): e1058–65.
46. da Silva LA, Leonardo MR, da Silva RS, Assed S, Guimarães LF. Calcium hydroxide root canal sealers: evaluation of pH, calcium ion concentration and conductivity. *Int Endod J*. 1997; 30:205–9.
47. Sobhanavvyan F, Adl A, Shojaee NS, Zarei Z, Emkani A. Physical and chemical properties of CEM cement mixed with propylene glycol. *Iran Endod J*. 2017;12(4):489–93.
48. Chen JH, Raman V, Kuehne SA, Camilleri J, Hirschfeld J. Chemical, antibacterial, and cytotoxic properties of four different endodontic sealers. *J Endod*. 2024;50(11):1612–21.
49. Maharti ID, Rossetti R, Arsiani D, Herdianjo N, Riauti W. Calcium silicate-based sealers: apatite deposition on root canal dentin and pH variation analysis. *Eur J Dent*. 2025;19(2):374–81.
50. Katakidis A, Sidropoulos K, Koulouzidou E, Gogos C, Economides N. Flow characteristics and alkalinity of novel bioceramic root canal sealers. *Restor Dent Endod*. 2020;45(4): e42.

51. Camilleri J, Atmeh A, Li X, Meschi N. Present status and future directions: hydraulic materials for endodontic use. *Int Endod J.* 2022;55(S3):710–77.
52. Silva E, Carvalho NK, Zanon M, Senna PM, De-Deus G, Zuolo ML, Zaia AA. Push-out bond strength of MTA HP, a new high-plasticity calcium silicate-based cement. *Braz Oral Res.* 2016;30.
53. Formosa LM, Mallia B, Camilleri J. The effect of curing conditions on the physical properties of tricalcium silicate cement used as a dental biomaterial. *Int Endod J.* 2011; 45:326–36.
54. Hamdy, TM, Galal, MM, Ismail, AG *et al.* Propiedades fisicoquímicas de AH plus, sellador biocerámico, Bio-C Sealer y sellador de conductos radiculares AdSeal. *Head Face Med.* 2024;20(1):2.
55. Palczewska-Komsa M, Kaczor-Wiankowska K, Nowicka A. A new bioactive calcium silicate cement mineral trioxide aggregate repair high plasticity (MTA HP): a systematic review. *Materials (Basel).* 2021;14(16):4573.

56. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod.* 2012 ;38(6):842–5.
57. Peñaloza DJ, Barúa MG, Escalada JP, Pajares AM. Técnica espectroscópica de absorción atómica para determinaciones en química ambiental. *ICTUNPA [Internet].*2023;15(3):157-176 [citado 16 de julio de 2025]. Disponible en: <https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/view/987>
58. Duarte MAH, Demarchi AC, Giaxa MH, Kuga MC, Fraga S, de Souza LCD. Evaluation of pH and calcium ion release of three root canal sealers. *J Endod.* 2000;26(7):389–91.
59. Vivan RR, Zapata RO, Zeferino MA, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, et al. Evaluation of the physical and chemical properties of two commercial and three experimental root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;110(2):250-6.
60. Lee JK, Kwak SW, Ha JH, Lee W, Kim HC. Physicochemical properties of epoxy resin-based and bioceramic-based root canal sealers. *Bioinorg Chem Appl.* 2017; 2017:2582849.

61. Ashraf H, Mortezaeipour N, Jabari S, Zadsirjan S, Tabatabaei FS. Evaluation of chemical and physical properties of an experimental endodontic sealer in comparison with AH-26 and AH Plus. *Iran Endod J.* 2020 Summer;15(3):183–7.
62. Rosa SJ, Duarte MAH, Silva EJNL, Oliveira MCG, Titaote PCG, Vasconcelos BC, Vivan RR, Alcalde MP. Does the mixing method of AH Plus Jet affect its physicochemical and mechanical properties? *J Endod.* 2024 ;50(9):1333–9.
63. Baldi JV, Cavenago BC, Barbosa AFA, et al. A comparison of the physicochemical properties of AH Plus Jet with samples taken from the beginning, middle and final portions of the automix syringe system. *J Res Dent.* 2022;10:09–13.
64. Malta CP, Santi SS, Barcellos RCS, Zanatta FB, Bier CAS, Morgental RD. Premixed calcium silicate-based root canal sealers have better biological properties than AH Plus: a systematic review and meta-analysis of in vivo animal studies and in vitro laboratory studies. *J Conserv Dent.* 2024 ;27(4):345–59.
65. Baldi JV, Bernades RA, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, Cavenago BC, Moraes JC, de Moraes IG. Variability of physicochemical properties of an

- epoxy resin sealer taken from different parts of the same tube. *Int Endod J.* 2012 ;45(10):915–20.
66. Chambilla TK, Sánchez-Tito MA. Antimicrobial effect of three sealant endodontic cements for *Streptococcus mutans*, *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *Int J Odontostomatol.* 2021;15(3):610–5.
67. Wang X, Xiao Y, Song W, et al. Aplicación clínica de biocerámicas a base de silicato de calcio en endodoncia. *J Transl Med.* 2023;21:853.
68. Donnermeyer D, Buchein S, Dammaschke T, Schäfer E. Selladores endodónticos basados en silicatos de calcio: una revisión sistemática. *Odontología.* 2019 ;107(4):421–36.
69. Alimohammadi M, Mirzaee-Rad S, Feizi F, Shirzad Juybari H, Saeidi A, Gholinia H. Comparison of rat connective tissue response to BioMTA, Angelus MTA, and Root MTA. *Int J Biomater.* 2021;2021:7415302.
70. Khalil I, Naaman A, Camilleri J. Properties of tricalcium silicate sealers. *J Endod.* 2016;42(10):1529–35.
71. Debelian G, Trope M, The use of premixed bioceramic materials in endodontics. *G Ital Endod.* 2016;30(2):70–80.

72. Primus CM, Tay FR, Niu LN. Bioactive tricalcium silicate cements for treatment of pulpal and periapical tissues. *Acta Biomater.* 2019; 96:35–54.
73. Sfeir C, Zogheib C, Patel S, Giraud T, Nagendrababu V, Bukiet F. Calcium silicate-based root canal sealers: a narrative review and clinical perspectives. *Materials (Basel).* 2021;14(14):3965.
74. Pushpalatha C, Dharashwar V, Sowmya SV, Augustine D, Vinothkumar TS, Renu G, et al. Modified mineral trioxide aggregate: a versatile dental material. An insight on applications and recent advancements. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022 ;9(10):941826.
75. Talabani RM, Garib BT, Masaeli R. Bioactivity and Physicochemical Properties of Three Calcium Silicate-Based Cements: An In Vitro Study. *Biomed Res Int.* 2020; 2020:9576930.
76. Salehimehr G, Nobahar S, Hosseini-Zijoud SM, Yari S. Comparison of physical and chemical properties of Angelus MTA and new endodontic restorative material. *J Appl Pharm Sci.* 2014;4(7):105–9.
77. Sanz JL, López-García S, Rodríguez-Lozano FJ, Melo M, Lozano A, Lleza C, et al. Cytocompatibility and bioactive potential of AH Plus Bioceramic Sealer: an in vitro study. *Int Endod J.* 2022;55(10):1066–80.

78. Zordan-Bronzel CL, Esteves Torres FF, Tanomaru-Filho M, Chávez-Andrade GM, Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM. Evaluation of physicochemical properties of a new calcium silicate-based sealer, Bio-C Sealer. *J Endod.* 2019;45(10):1246–50.
79. Rice EW, Baird RB, Eaton AD, editors. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23rd ed. Washington, DC: American Public Health Association; 2017.
80. Poggio C, Dagna A, Ceci M, Meravini MV, Colombo M, Pietrocola G. Solubility and pH of bioceramic root canal sealers: a comparative study. *J Clin Exp Dent.* 2017;9(10):e1189–e1194.
81. Park MG, Kim IR, Kim HJ, Kwak SW, Kim HC. Physicochemical properties and cytocompatibility of newly developed calcium silicate-based sealers. *Aust Endod J.* 2021;47(3):512–9.
82. Tanomaru-Filho M, Cristine Prado M, Torres FFE, Viajana R, Pivoto-João MMB, Guerreiro-Tanomaru JM. Physicochemical properties and bioactive potential of a new epoxy resin-based root canal sealer. *Braz Dent J.* 2019 ;30(6):563–8.

83. Quaresma SAL, Alves Dos Santos GN, Silva-Sousa AC, Camargo RV, Lopes-Olhê FC, Silva-Sousa YTC, Mazzi-Chaves JF, Sousa-Neto MD. Physicochemical properties of calcium silicate cement based endodontic sealers. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2024;151: 106400.
84. Souza LC, Neves GST, Kirkpatrick T, Letra A, Silva R. Physicochemical and biological properties of AH Plus Bioceramic. *J Endod.* 2023;49(1):69–76.
85. Mann A, Zeng Y, Kirkpatrick T, van der Hoeven R, Silva R, Letra A, Chaves de Souza L. Evaluation of the Physicochemical and Biological Properties of EndoSequence BC Sealer HiFlow. *J Endod.* 2022;48(1):123-131.
86. Kwak SW, Koo J, Song M, Jang IH, Gambarini G, Kim HC. Physicochemical properties and biocompatibility of various bioceramic root canal sealers: in vitro study. *J Endod.* 2024;49(7):871–9.
87. Zamparini F, Prati C, Taddei P, Spinelli A, Di Foggia M, Gandolfi MG. Chemical–physical properties and bioactivity of new premixed calcium silicate-bioceramic root canal sealers. *Int J Mol Sci.* 2022 ;23(22):13914.

88. Raman V, Camilleri J. Characterization and assessment of physical properties of three single syringe hydraulic cement-based sealers. *J Endod.* 2024;50(3):381–8.
89. Zamparini F, Siboni F, Prati C, Taddei P, Gandolfi MG. Properties of calcium silicate–monobasic calcium phosphate materials for endodontics containing tantalum pentoxide and zirconium oxide. *Clin Oral Investig.* 2019 ;23(1):445–57.

## X. ANEXO

### Anexo 1

Tabla de cementos endodónticos.

Cemento	Tipo	Lote	Composición
Vioseal® (Spident, Seúl, Corea)	Resina epóxica	VS23053	Base (resina epóxica oligomérica y salicilato de etilenglicol). Catalizador: poli(1,4-butanodiol) bis(4-aminobenzoato) y fosfato de calcio.
AH Plus® (Dentsply Detrey GmbH, Konstanz, Germany)	Resina epóxica	2405000719	Pasta A (óxido de circonio, óxido de tungsteno de calcio, óxido de hierro, sílice, resina epóxica de bisfenol A y bisfenol F). Pasta B (N,N-dibencil-5-oxanonadiamina-1,9, óxido de circonio, óxido de tungsteno de calcio).
MTA Angelus® (Angelus, Londrina, Paraná Brasil),	Silicato de calcio	69284	Óxido de bismuto, silicato tricálcico, aluminato tricálcico, silicato dicálcico, sulfato de calcio dihidratado, aluminoferrita tetracálcica.
AH Plus® Bioceramic Sealer (Dentsply Sirona, Bensheim, Germany)	Silicato de calcio	K1230609	Dióxido de circonio, silicato tricálcico, dimetilsulfóxido, carbonato de litio y agentes espesantes.

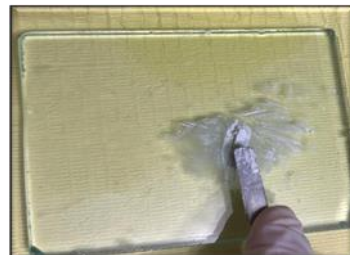
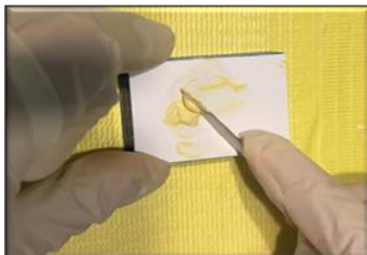
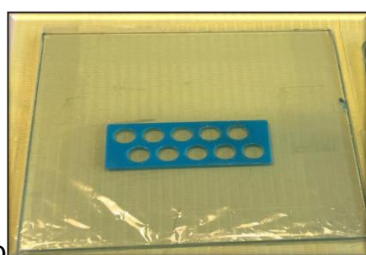
Autor: Milagros

## Anexo 2

### Preparación de las muestras



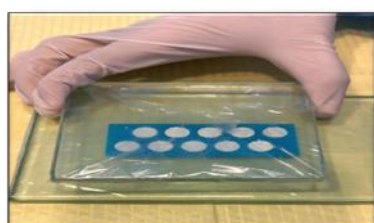
a



b



c



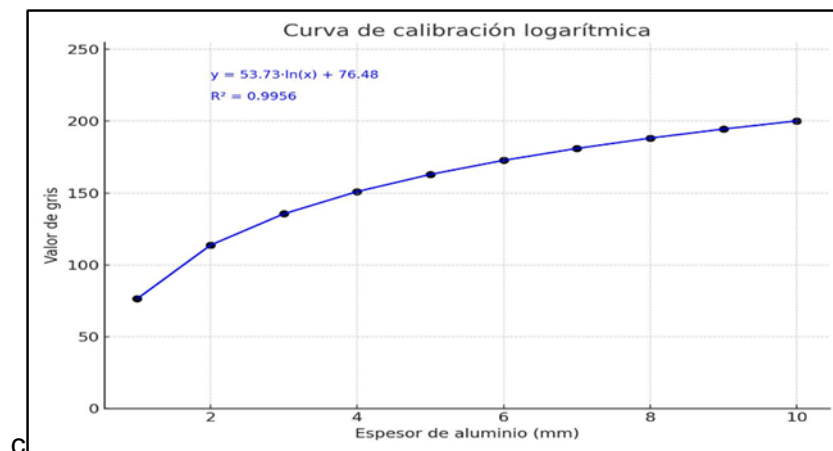
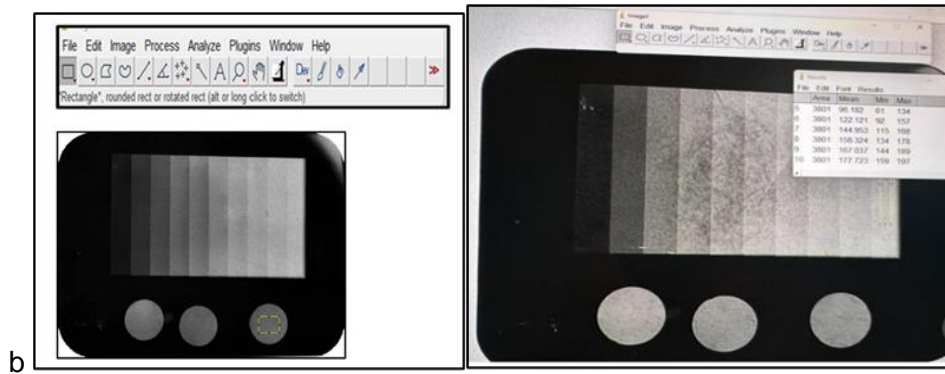
d



- a. Mesa de trabajo
- b. Preparación de los cementos según las indicaciones del fabricante.
- c. Colocación de las muestras en el molde.
- d. Colocación de la segunda platina de vidrio y el peso, almacenamiento en incubadora.
- e. Calibración de muestras luego del fraguado completo en la incubadora.

### Anexo 3

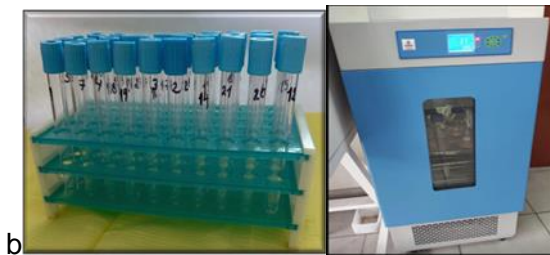
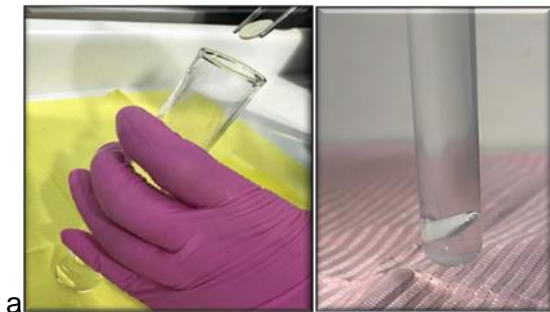
#### Evaluación de la radiopacidad



- a. Toma radiográfica de las muestras y la cuña escalonada de aluminio.
- b. Proceso de la imagen en el software ImagenJ.
- c. Gráfico de la curva de calibración.

#### Anexo 4

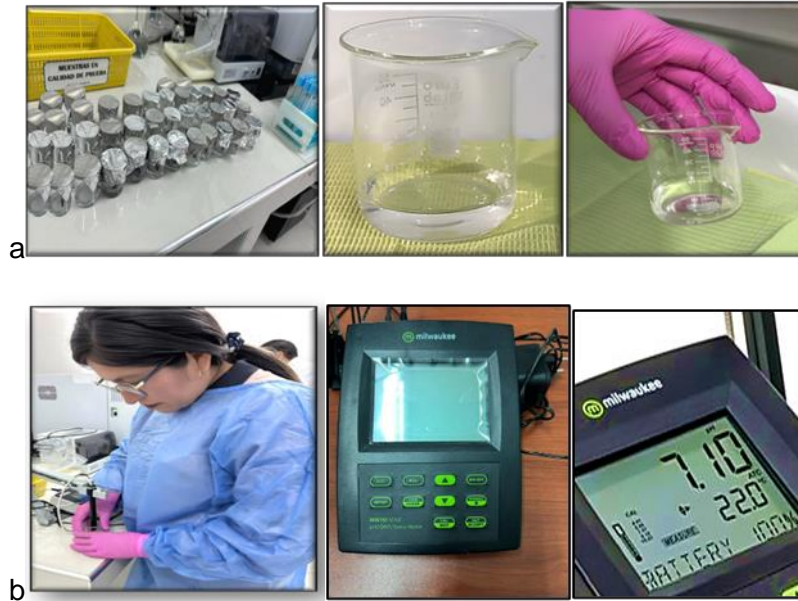
Preparación de las muestras seleccionadas para medir pH



- a. Colocación de muestras en tubo de ensayo con 10ml de agua destilada desionizada.
- b. Codificación de muestras y almacenamiento en la incubadora.

## Anexo 5

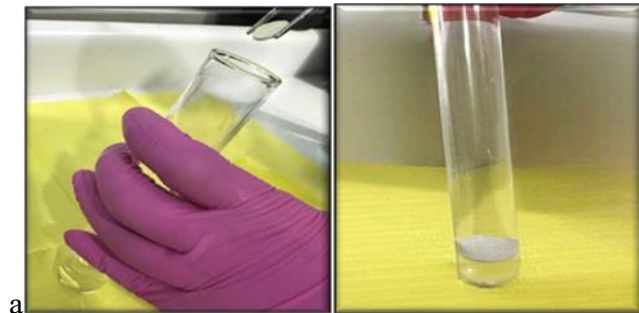
### Proceso para medir el pH



- a. Colocación de la solución en un matraz y agitada por 5 segundos.
- b. Evaluación de pH con pH metro digital.

## Anexo 6

Preparación de las muestras para medir liberación de iones de calcio.



- a. Colocación de muestras en tubo de ensayo con 10ml de agua destilada desionizada.
- b. Codificación de muestras y almacenamiento en la incubadora

## Anexo 7

Proceso para medir liberación de iones de calcio.



- a. Solución colocada en un matraz y agitada por 5 segundos.
- b. Análisis de la solución con un espectrofotómetro de absorción atómica.

**Anexo 8**

**Carta de Aceptación de Duari**

**CAR-DUARI-O-298-24**  
Lima, 03 de Octubre del 2024

Señor(a) investigador(es)  
**LOYOLA CAÑO MILAGROS JUDITH**  
Presente.-

Es grato dirigirme a usted para expresarle un cordial saludo y a la vez informarle que hemos recibido el proyecto de investigación titulado: “EVALUACIÓN DE LA RADIOPACIDAD, PH Y LIBERACIÓN DE IONES DE CALCIO EN CEMENTOS A BASE DE SILICATO DE CALCIO Y RESINA EPÓXICA” SIDISI 214600, el cual ha sido revisado y registrado en la Dirección Universitaria de Asuntos Regulatorios de la Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia debido a que por sus características no requiere evaluación por el Comité Institucional de Ética en Investigación en Humanos ni por el Comité Institucional de Ética para Uso de Animales.

Este proyecto puede iniciar su ejecución. Los cambios o enmiendas al protocolo presentado solo deben ejecutarse luego de una nueva evaluación y autorización por esta dirección. Adicionalmente, agradecemos tenga a bien presentar el informe de cierre del proyecto al concluir la ejecución de este.

Atentamente,



Dra. Cinthia Hurtado Esquén  
Directora  
Dirección Universitaria de Asuntos  
Regulatorios de la Investigación

## Anexo 9

Informe de Universidad Nacional Mayor de San Marcos, pH:



INFORME DE ENSAYO

N° 187-2024

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	187
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra.	Soluciones con cemento endodóntico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
187-1	pH (después de 24 horas de tratamiento)	1	10.0	----
187-2	pH (después de 24 horas de tratamiento)	2	9.0	----
187-3	pH (después de 24 horas de tratamiento)	3	9.0	----
187-4	pH (después de 24 horas de tratamiento)	4	9.0	----
187-5	pH (después de 24 horas de tratamiento)	5	9.0	----
187-6	pH (después de 24 horas de tratamiento)	6	10.0	----
187-7	pH (después de 24 horas de tratamiento)	7	10.0	----
187-8	pH (después de 24 horas de tratamiento)	8	9.0	----
187-9	pH (después de 24 horas de tratamiento)	9	9.0	----
187-10	pH (después de 24 horas de tratamiento)	10	8.5	----
187-11	pH (después de 24 horas de tratamiento)	11	7.0	----
187-12	pH (después de 24 horas de tratamiento)	12	8.0	----

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
pH	No aplica	APHA 4500HB



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA



UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

INFORME DE ENSAYO

N° 189-2024

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	189
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra.	Soluciones con cemento endodóntico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
189-1	pH (después de 14 días de tratamiento)	1	7.0	----
189-2	pH (después de 14 días de tratamiento)	2	7.0	----
189-3	pH (después de 14 días de tratamiento)	3	7.0	----
189-4	pH (después de 14 días de tratamiento)	4	7.0	----
189-5	pH (después de 14 días de tratamiento)	5	7.0	----
189-6	pH (después de 14 días de tratamiento)	6	7.0	----
189-7	pH (después de 14 días de tratamiento)	7	7.5	----
189-8	pH (después de 14 días de tratamiento)	8	7.5	----
189-9	pH (después de 14 días de tratamiento)	9	7.5	----
189-10	pH (después de 14 días de tratamiento)	10	8.0	----
189-11	pH (después de 14 días de tratamiento)	11	6.0	----
189-12	pH (después de 14 días de tratamiento)	12	6.5	----

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
pH	No aplica	APHA 4500HB



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

<b>INFORME DE ENSAYO</b>	<b>N° 189-2024</b>
--------------------------	--------------------

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	189
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra.	Soluciones con cemento endodóntico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
189-1	pH (después de 14 días de tratamiento)	1	7.0	----
189-2	pH (después de 14 días de tratamiento)	2	7.0	----
189-3	pH (después de 14 días de tratamiento)	3	7.0	----
189-4	pH (después de 14 días de tratamiento)	4	7.0	----
189-5	pH (después de 14 días de tratamiento)	5	7.0	----
189-6	pH (después de 14 días de tratamiento)	6	7.0	----
189-7	pH (después de 14 días de tratamiento)	7	7.5	----
189-8	pH (después de 14 días de tratamiento)	8	7.5	----
189-9	pH (después de 14 días de tratamiento)	9	7.5	----
189-10	pH (después de 14 días de tratamiento)	10	8.0	----
189-11	pH (después de 14 días de tratamiento)	11	6.0	----
189-12	pH (después de 14 días de tratamiento)	12	6.5	----

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
pH	No aplica	APHA 4500HB



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Informe de Universidad Nacional Mayor de San Marcos, liberación de iones de calcio:



**INFORME DE ENSAYO** N° 187-2024

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	187
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra	Soluciones con cemento endodónico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
187-1	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	1	31.3469	ppm
187-2	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	2	29.2902	ppm
187-3	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	3	27.1496	ppm
187-4	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	4	24.3857	ppm
187-5	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	5	24.1101	ppm
187-6	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	6	23.1189	ppm
187-7	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	7	29.3719	ppm
187-8	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	8	30.1808	ppm
187-9	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	9	10.5302	ppm
187-10	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	10	1.4944	ppm
187-11	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	11	2.3598	ppm
187-12	Calcio (después de 24 horas de tratamiento)	12	2.0340	ppm

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Calcio	No aplica	USAQ-ME-04 AAS



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876  
RESPONSABLE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA



UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

**INFORME DE ENSAYO**

**Nº 187-2024**

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	187
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra.	Soluciones con cemento endodóntico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
188-1	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	1	27.5436	ppm
188-2	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	2	34.3728	ppm
188-3	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	3	25.8064	ppm
188-4	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	4	30.8314	ppm
188-5	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	5	31.3815	ppm
188-6	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	6	26.1941	ppm
188-7	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	7	30.6774	ppm
188-8	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	8	33.3398	ppm
188-9	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	9	27.1790	ppm
188-10	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	10	1.5268	ppm
188-11	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	11	1.7186	ppm
188-12	Calcio (después de 7 días de tratamiento)	12	1.5688	ppm

**Limites de detección y Métodos**

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Calcio	No aplica	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



INFORME DE ENSAYO

N° 189-2024

Cliente	MILAGROS LOYOLA CANO
Dirección del cliente	UPCH
Referencia USAQ	189
Denominación de la muestra	MUESTRAS DE CEMENTOS ENDODÓNTICOS
Fecha de recepción	31/10/2024
Fecha de análisis	4/11/2024
Fecha de emisión de informe	25/11/2024
Características de muestra.	Soluciones con cemento endodóntico.

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
189-1	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	1	9.8219	ppm
189-2	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	2	9.2079	ppm
189-3	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	3	9.3190	ppm
189-4	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	4	10.7837	ppm
189-5	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	5	9.1576	ppm
189-6	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	6	7.4739	ppm
189-7	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	7	9.6626	ppm
189-8	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	8	8.7364	ppm
189-9	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	9	9.9906	ppm
189-10	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	10	1.1439	ppm
189-11	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	11	3.3237	ppm
189-12	Calcio (después de 14 días de tratamiento)	12	2.1377	ppm

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Calcio	No aplica	USAQ-ME-04 AAS



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

# Curva de calibración de liberación de iones de calcio

