

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Odontología

Escuela Profesional de Odontología



Resistencia de unión entre el cemento reparador Biodentine modificado con vidrio bioactivo y el sistema adhesivo universal en estrategia etch-and-rinse.

Arequipa 2025

Tesis presentada por la Bachiller:

Lizarraga Gutierrez, Camila Alexandra

ORCID: 0009-0001-7488-6620

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor:

Dr. Escalante Otarola, Wilfredo Gustavo

ORCID: 0000-0003-4879-3938

Arequipa – Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 04 de Mayo del 2025

Dictamen: 015179-C-EPO-2025

Visto el borrador del expediente 015179, presentado por:

2020244062 - LIZARRAGA GUTIERREZ CAMILA ALEXANDRA

Titulado:

RESISTENCIA DE UNIÓN ENTRE EL CEMENTO REPARADOR BIODENTINE MODIFICADO CON VIDRIO BIOACTIVO Y EL SISTEMA ADHESIVO UNIVERSAL EN ESTRATEGIA ETCH-AND-RINSE. AREQUIPA 2025

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**04641311 - TEJADA TEJADA RENAN FERNANDO
DICTAMINADOR**



**29601395 - CACERES BELLIDO LENIA VICTORIA TERESA
DICTAMINADOR**



**44601950 - ALVARADO GOMEZ ALBERTO ARMANDO
DICTAMINADOR**



Resistencia de unión entre el cemento reparador Biodentine modificado con vidrio bioactivo y el sistema adhesivo universal en estrategia etch-and-rinse. Arequipa 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | Submitted to Universidad Católica de Santa María | 2% |
| | Trabajo del estudiante | |
| 2 | repositorio.uchile.cl | 1% |
| | Fuente de Internet | |
| 3 | Submitted to Universidad de los Hemisferios | 1% |
| | Trabajo del estudiante | |
| 4 | hdl.handle.net | 1% |
| | Fuente de Internet | |
| 5 | www.scielo.br | 1% |
| | Fuente de Internet | |
| 6 | Submitted to colpos | <1% |
| | Trabajo del estudiante | |
| 7 | Submitted to Universidad Europea de Madrid | <1% |
| | Trabajo del estudiante | |

DEDICATORIA

A Dios, por haber sido presencia constante en mi vida, por guiar mis pasos con sabiduría y colmarme de serenidad cuando las fuerzas flaqueaban. Gracias por tu amor silencioso, por cada señal en el momento justo y por enseñarme que nunca camino sola. A ti encomiendo cada logro y cada desafío superado.

A mis padres, Katty y Carlos, pilares de mi vida, fuente incansable de apoyo, sacrificio y amor. Este logro es también suyo. Les dedico este fruto de años de esfuerzo y aprendizaje con todo mi cariño y eterna gratitud. Nada de esto habría sido posible sin su compañía incondicional. Gracias por enseñarme a luchar por mis sueños.

A mi hermano, Mauricio, quien con su alegría me enseña a ver la vida desde una mirada distinta. Gracias por regalarme sonrisas incluso en los días más difíciles, por ser mi impulso y aliento cuando más lo necesito.

A mis hermanas, Bri, Tefy y Kirsy, por ser motivo de orgullo y admiración. Gracias por estar presentes en cada etapa de este camino, por su amor fraterno y por ser uno de los regalos más valiosos que la vida me ha dado.

A mi tía Lili, por ser guía y ejemplo, por inspirarme a crecer cada día y a nunca rendirme. Tu apoyo ha sido clave en mi desarrollo personal.

A mis abuelos, Víctor e Irma, por su amor inmenso y ternura que abrigan mi alma. Gracias por esos abrazos sinceros y por compartir conmigo la alegría de vivir.

A mis tíos, Fernando, Lorena y Milagros, por estar siempre presente con una palabra de aliento, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Su alegría y apoyo han sido un bálsamo en momentos de incertidumbre.

A mi querida tía Estela, que partió hace algunos días, pero permanece viva en mi corazón, y a mi amado Luchito, quien me cuida desde el cielo, mi eterno compañero de vida. Gracias por todo el amor, la paciencia y los momentos inolvidables que compartimos. Como alguna vez lo prometí, esto es por y para ustedes.

Camila Alexandra Lizarraga Gutierrez

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en los momentos más difíciles. Su amor incondicional me sostuvo y me dio la determinación necesaria para seguir adelante, incluso cuando el camino se tornaba incierto.

A mi familia, mi pilar fundamental, gracias por ser una fuente inagotable de amor, apoyo y aliento. En cada paso, en cada logro, estuvieron conmigo, compartiendo con ternura mis alegrías y acompañándome en cada desafío.

A mis amigos, especialmente Aloren, con quien viví momentos inolvidables que guardo con cariño en mi corazón. Su compañía, alegría y apoyo constante fue fundamental para continuar con firmeza este camino.

A los docentes de nuestra facultad, que con su vocación y entrega contribuyeron a mi formación académica y profesional. De manera especial al Dr. Wilfredo Escalante Otárola y a la Dra. Gabriela Castro Núñez, por su infinita paciencia, dedicación y orientación a lo largo del proceso de investigación. Su guía ha sido esencial para el logro de este trabajo.

Finalmente, agradezco de corazón a todas las personas que, de una u otra forma, estuvieron presentes en este proceso. Cada gesto de apoyo dejó una huella imborrable en mi vida. Estoy inmensamente agradecida.

Camila Alexandra Lizarraga Gutierrez



EPÍGRAFE

"Donde hay amor por el saber, hay ciencia. Y donde hay ciencia con amor,
hay verdad al servicio del bien."

-Aristóteles

RESUMEN

El Biodentine (BD) es un cemento basado en silicato de calcio que se ha presentado como una opción novedosa al agregado de trióxido mineral (MTA) ampliamente utilizado en odontología; sin embargo, se planteó la mejora de las propiedades físico-químico-mecánicas del BD tras la agregación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG). Esta condición tuvo como objetivo optimizar la adhesión y comportamiento clínico del material, potenciando su desempeño en procedimientos restaurativos y terapéuticos.

En este marco, el estudio se centró en evaluar la resistencia al cizallamiento del sistema adhesivo, grabado y enjuague cuando se utiliza Biodentine modificado al 2% de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD). Para la metodología de investigación se prepararon bloques de acrílico en los cuales se aplicó tanto Biodentine convencional como Biodentine modificado. Los grupos experimentales fueron organizados de acuerdo a la estrategia adhesiva empleada: por un lado, se utilizó el sistema Scotchbond Universal Plus en sistema etch and rinse con Biodentine modificado y, por otro lado, se evaluó Biodentine sin modificar. Del mismo modo, se incluyeron grupos en lo que se empleó el adhesivo Adper Single Bond bajo la misma metodología, tanto Biodentine modificado como Biodentine convencional.

Para la evaluación de la resistencia al cizallamiento se empleó una máquina de ensayos universales seguida de un análisis de tipo fractura mediante un estereomicroscopio. Finalmente, los datos obtenidos fueron organizados en tablas estadísticas estableciendo un nivel de significancia del 5%.

A través de este estudio se aporta evidencia relevante sobre el comportamiento adhesivo del Biodentine modificado, favoreciendo la evolución de materiales dentales en el rendimiento clínico odontológico.

Palabras Clave: *Nanocompuestos, Biodentine, Resistencia, Adhesión Dental, Endodoncia.*

ABSTRACT

Biodentine (BD) is a calcium silicate-based cement that has been presented as a novel alternative to mineral trioxide aggregate (MTA), which is widely used in dentistry. However, the improvement of BD's physico-chemical-mechanical properties has been proposed through the addition of bioactive glass nanoparticles (nBG). This modification aimed to optimize the adhesion and clinical performance of the material, enhancing its effectiveness in restorative and therapeutic procedures.

In this context, the study focused on evaluating the shear bond strength of the adhesive system, etching, and rinsing when using Biodentine modified with 2% bioactive glass nanoparticles (nBG/BD). For the research methodology, acrylic blocks were prepared, in which both conventional and modified Biodentine were applied. The experimental groups were organized according to the adhesive strategy used: on one hand, the Scotchbond Universal Plus system in an etch-and-rinse approach was applied to modified Biodentine, and on the other hand, unmodified Biodentine was evaluated. Similarly, groups were included in which the Adper Single Bond adhesive was used under the same methodology, with both modified and conventional Biodentine.

To evaluate shear bond strength, a universal testing machine was used, followed by fracture-type analysis with a stereomicroscope. Finally, the obtained data were organized into statistical tables, establishing a significance level of 5%.

Through this study, relevant evidence was provided regarding the adhesive behavior of modified Biodentine, contributing to the development of dental materials and improving their clinical performance in dentistry.

Keywords: *Nanocomposites, Biodentine, Strength, Dental Adhesion, Endodontics.*

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| DEDICATORIA | |
| AGRADECIMIENTOS | |
| EPÍGRAFE | |
| RESUMEN | |
| ABSTRACT | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 3 |
| PLANTEAMIENTO TEÓRICO | 3 |
| 1. Determinación del Problema: | 4 |
| 2. Pregunta de Investigación: | 5 |
| 3. Justificación: | 5 |
| 4. Objetivos: | 6 |
| 5. Marco Conceptual: | 7 |
| 6. Antecedentes Investigativos: | 21 |
| 7. Hipótesis: | 23 |
| CAPÍTULO II | 24 |
| PLANTEAMIENTO OPERACIONAL | 24 |
| 1. Diseño Metodológico: | 25 |
| 2. Muestra: | 25 |
| 3. Tabla de Variables: | 27 |
| 4. Técnicas y Procedimientos: | 27 |
| 5. Plan de Análisis: | 29 |
| 6. Consideraciones Éticas: | 30 |
| 7. Recursos: | 30 |

| | |
|--|----|
| 8. Cronograma:..... | 31 |
| CAPÍTULO III | 32 |
| RESULTADOS | 32 |
| 1. Resultados:..... | 33 |
| 2. Discusión: | 39 |
| 3. Conclusiones:..... | 44 |
| 4. Recomendaciones: | 45 |
| 5. Referencias Bibliográficas:..... | 46 |
| ANEXOS | 50 |
| ANEXO 1: Matriz de Recolección de Datos:..... | 51 |
| ANEXO 2: Análisis Del Tipo De La Fractura: | 52 |
| ANEXO 3: Profundidad de la Fractura: | 54 |
| ANEXO 4: Evidencia Fotográfica:..... | 56 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1. Comparación de las principales diferencias entre el Biodentine convencional y su versión modificada (2–4,8,9)..... | 13 |
| TABLA 2. Estimación de costos asociados al desarrollo del estudio | 30 |
| TABLA 3. Prueba Post-Hoc de Tukey – Resistencia de unión | 33 |
| TABLA 4. Media, desviación estándar e intervalos de confianza de los valores de resistencia de unión (MPa) según los grupos experimentales evaluados. | 34 |
| TABLA 5. Prueba Post-Hoc de Games-Howell – B | 36 |
| TABLA 6. Media, desviación estándar e intervalos de confianza de los valores de profundidad de la fractura (μm) según los grupos experimentales evaluados. | 37 |
| TABLA 7. Resistencia de Unión..... | 51 |
| TABLA 8: Análisis del Tipo de Fractura..... | 51 |
| TABLA 9. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 1 | 52 |
| TABLA 10. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 2..... | 52 |
| TABLA 11. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 3..... | 53 |
| TABLA 12. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 4..... | 53 |
| TABLA 13. Medición de la profundidad de fractura en los cuerpos de prueba de los Grupos 1 y 2..... | 54 |
| TABLA 14. Medición de la profundidad de fractura en los cuerpos de prueba de los Grupos 3 y 4..... | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1. Diagrama de los cuerpos de prueba utilizados | 26 |
| FIGURA 2. Tipos de fractura identificados entre Biodentine y material restaurador | 28 |
| FIGURA 3. Gráfico ilustrativo de la diferencia de los grupos evaluados..... | 35 |
| FIGURA 4. Gráfico comparativo que muestra las diferencias observadas entre los grupos evaluados..... | 38 |
| FIGURA 5. Aplicación de Biodentine Convencional y Biodentine Modificado con partículas de vidrio bioactivo nBG..... | 56 |
| FIGURA 6. Aplicación de Sistemas Adhesivos: | 56 |
| FIGURA 7. Confección de cilindro de resina con ayuda de una matriz transparente | 57 |
| FIGURA 8. Retiro de matriz transparente | 57 |
| FIGURA 9. Test de resistencia de unión al cizallamiento | 58 |

INTRODUCCIÓN

En el campo de la odontología restauradora y endodóntica, la búsqueda de biomateriales innovadores ha sido una prioridad constante para mejorar los tratamientos clínicos y optimizar los tratamientos en los pacientes.

La introducción de cementos a base de silicatos de calcio ha representado un avance significativo debido a su capacidad para inducir la regeneración tisular, su biocompatibilidad y sus propiedades físico-químicas favorables. Entre estos materiales, el Biodentine (BD) ha sido ampliamente investigado y empleado como alternativa al agregado de trióxido mineral (MTA), el cual, a pesar de sus propiedades clínicas, presenta ciertas limitaciones, como su prolongado tiempo de fraguado, su compleja manipulación y su alto costo. En contraste, BD ha demostrado ventajas en términos de tiempo de fraguado reducido, mejor trabajabilidad y propiedades mecánicas óptimas, lo que ha llevado a su aplicación en diversas áreas odontológicas; incluyendo la restauración dentinaria, la reparación de perforaciones radiculares y el sellado apical quirúrgico (1).

A pesar de sus ventajas, el BD, al igual que otros biomateriales a base de silicato de calcio, presenta desafíos relacionados con su adhesión a los tejidos dentales y su integración con los sistemas adhesivos convencionales. La adhesión de los materiales restaurativos a BD ha sido objeto de múltiples estudios, debido a la naturaleza altamente hidrofílica de este material y a la capa de hidratación que se forma en su superficie tras el fraguado, lo que podría afectar su interacción con los adhesivos dentales (2,3).

En este sentido, la modificación del BD con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) ha sido propuesta como una estrategia para mejorar sus propiedades adhesivas y mecánicas. Se ha sugerido que la incorporación de nBG en una proporción del 2% podría potenciar la bioactividad del material, promoviendo la liberación de iones de calcio y fosfato, los cuales desempeñan un papel clave en la remineralización dentinaria y en la mejora de la adherencia de los tejidos circundantes (4).

La resistencia al cizallamiento es una prueba de vital importancia en odontología, ya que de esta forma se puede garantizar la durabilidad de los materiales que se aplican en las restauraciones y los adhesivos. De esta misma forma la prueba de resistencia al cizallamiento es útil para determinar la resistencia que presenta un determinado material frente a las fuerzas incrementadas que se aplican durante el acto masticatorio y para mejorar los protocolos de adhesión; de este modo podemos evitar los desprendimientos y fallas clínicas. Es por ello que surge la necesidad de evaluar de manera exhaustiva el impacto de estas modificaciones sobre la resistencia al cizallamiento de los sistemas adhesivos empleados en combinación con Biodentine modificado (5).

A través de este estudio, se buscó aportar conocimiento relevante sobre el comportamiento adhesivo del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo, con el fin de contribuir al desarrollo de materiales dentales de mayor desempeño clínico. Así mismo la importancia de los sistemas adhesivos; los mismos que son versátiles, compatibles con diversos materiales dentales y que optimizan la adherencia para así mejorar la durabilidad de las restauraciones.

Por tal motivo, el presente estudio se propone evaluar el impacto de la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo en la resistencia de unión de sistemas adhesivos universales aplicados en la estrategia etch-and-rinse. Se busca determinar si la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo en el Biodentine mejora significativamente la adhesión en comparación con el material no modificado, contribuyendo así al avance en la odontología restauradora.



CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO TEÓRICO

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1. Determinación del Problema:

A pesar de las ventajas reportadas del Biodentine (BD) como material restaurador y endodóntico, su alta hidrofilia y la capa de hidratación que se forma durante su fraguado representan factores críticos que pueden afectar negativamente su adhesión a los sistemas adhesivos convencionales (6). Esta hidrofiliencia, aunque favorece ciertas propiedades biológicas como la liberación iónica y la bioactividad, interfiere en la capacidad de formar una unión química y micromecánica eficaz con los adhesivos, lo que puede comprometer la estabilidad de las restauraciones a lo largo del tiempo. La inadecuada adhesión puede generar fenómenos como la microfiltración, la degradación del adhesivo y del material restaurador, así como una mayor susceptibilidad al desprendimiento o falla clínica prematura de la restauración.

Este comportamiento limitado en términos adhesivos constituye un desafío clínico significativo, especialmente en situaciones donde el éxito del tratamiento depende de una unión duradera y efectiva entre el material de base y la restauración definitiva. Frente a esta limitación, se ha propuesto la modificación del BD mediante la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG), aprovechando sus propiedades de liberación iónica, capacidad remineralizante y su potencial para mejorar la biointeracción entre el material restaurador y los tejidos dentales circundantes (4).

Estas nanopartículas, gracias a su tamaño reducido y su alta área superficial, podrían facilitar una mejor integración en la matriz del BD, mejorando su desempeño mecánico y optimizando la adhesión a los sistemas restaurativos.

Sin embargo, a pesar del creciente interés en esta estrategia de modificación, la literatura actual aún carece de estudios integrales que evalúen de manera sistemática el impacto de la incorporación de nBG en la resistencia adhesiva del Biodentine. Esta falta de evidencia genera incertidumbre sobre su eficacia clínica real y sobre la consistencia de sus beneficios en escenarios clínicos rutinarios (4).

Por tanto, la presente investigación se centró en analizar de forma específica la adhesión de sistemas adhesivos convencionales al BD, estudiando el efecto de la modificación con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) sobre la resistencia al cizallamiento y su integración con los tejidos dentales. El objetivo fue proporcionar una base científica que permita comprender mejor el comportamiento adhesivo del BD modificado y explorar su potencial como material restaurador de alto desempeño en odontología clínica (4).

2. Pregunta de Investigación:

- ¿Cuál es el efecto de la incorporación de vidrio bioactivo en el cemento reparador Biodentine sobre la resistencia de unión de los sistemas adhesivos universales en la estrategia etch-and-rinse?

3. Justificación:

El estudio abordó un desafío clínico no completamente resuelto: la adhesión del BD modificado a los sistemas adhesivos. Además, se propuso una modificación con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG), cuyo impacto en la resistencia adhesiva aún no había sido evaluado de manera integral, destacando la necesidad de indagación.

La investigación tiene gran significancia en el campo científico, ya que la modificación de BD mejoro su resistencia y adhesión mediante nanopartículas en su composición; debido a su gran impacto en la adhesión y resistencia al cizallamiento. De este modo se aportaron nuevos conocimientos en el rendimiento clínico y la mejora en los resultados restaurativos y endodónticos.

Así mismo, permitió mejorar la adhesión en los tratamientos odontológicos, lo que pudo haber optimizado la calidad de las restauraciones y endodoncias. Contribuyendo a ser tratamientos efectivos y duraderos; beneficiando la salud bucodental y el bienestar general de la población.

Por último, la investigación abordó un problema clínico y propuso una solución basada en la modificación del BD con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG), un enfoque

respaldado por avances en biomateriales. Además, su evaluación puede realizarse mediante pruebas estandarizadas de adhesión y resistencia a la fractura, lo que permitió obtener resultados medibles y aplicables en la práctica odontológica.

4. Objetivos:

4.1. Objetivo General:

- Evaluar el impacto de la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) en la resistencia de unión de sistemas adhesivos universales, en estrategia etch-and-rinse.

4.2. Objetivos Específicos:

- Evaluar la resistencia de unión al cizallamiento del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) sobre el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse).
- Evaluar la resistencia de unión al cizallamiento del Biodentine convencional sobre el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse).
- Determinar el efecto de las nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) en la resistencia de unión del cemento reparador Biodentine al sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse).

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

5. Marco Conceptual:

5.1. Biodentine:

a) **Definición:**

Es un material biomimético clasificado como un cemento hidráulico bioactivo a base de silicato de calcio. Se desarrolló con la finalidad de imitar la dentina, estimulando la regeneración y reparación de tejidos dentales. Fue introducido en la práctica clínica odontológica por la empresa Septodont como una alternativa mejorada a otros materiales basados en silicato de calcio, como el MTA (Mineral Trioxide Aggregate), debido a su facilidad de manipulación, sus avanzadas propiedades y su alta biocompatibilidad (1,6).

Desde su introducción al campo odontológico, Biodentine (BD) ha demostrado tener un gran uso en la odontología restauradora, endodoncia y periodoncia. Su capacidad para formar hidroxiapatita, sellar defectos dentinarios, impulsar la regeneración pulpar y prevenir la infiltración bacteriana; convirtiéndolo en una alternativa de solución avanzada en la conservación de dientes afectados por lesiones cariosas, fracturas, perforaciones y otras patologías dentales (3,6–8).

b) **Composición Química y Propiedades Fisicoquímicas:**

Biodentine se presenta en forma de un sistema bifásico compuesto por un polvo y líquido que, al mezclarse, generando una reacción de hidratación (6,7).

i. **Composición del Polvo:**

El polvo de Biodentine está formulado con una combinación de compuestos bioactivos que favorecen la regeneración y mineralización de los tejidos dentales. Sus principales componentes son (3,8):

- **Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, C_3S):** Responsable de la bioactividad y la liberación de iones de calcio, esenciales para la formación de hidroxiapatita y la estimulación de los odontoblastos.
- **Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, C_2S):** Mejora la resistencia mecánica y contribuye a la reacción de fraguado.
- **Óxido de calcio (CaO):** Participa en la reacción de hidratación y regula la expansión del material.
- **Óxido de zirconio (ZrO_2):** Actúa como agente radiopaco, mejorando la visibilidad en la toma de radiografías dentales.
- **Carbonato de calcio (CaCO_3):** Aporta estabilidad en la estructura y optimiza las propiedades de fraguado.
- **Óxido de hierro (Fe_2O_3):** Se utiliza como pigmento para proporcionar un color similar al color natural de la dentina.

ii. Composición del Líquido:

El líquido de Biodentine contiene aditivos que optimizan la hidratación y manipulación del material (3,8):

- **Agua desionizada:** Medio reactivo que permite la hidratación del polvo.
- **Cloruro de calcio (CaCl_2):** Acelera la reacción de fraguado y mejora la resistencia mecánica.
- **Agente reductor de agua:** Regula la viscosidad de la mezcla y aumenta la fluidez del material.

c) Mecanismo de Acción y Bioactividad:

El Biodentine es un material que interactúa con los tejidos dentales y el entorno biológico para promover la regeneración y reparación de estructuras dentales. Su mecanismo de acción involucra la liberación de iones bioactivos, induce a la formación de hidroxiapatita, la estimulación celular e impulsa la adherencia a tejidos dentales (3,6,7):

a. Liberación de Iones Bioactivos y Formación de Hidroxiapatita:

Una de las principales características del Biodentine es su capacidad para liberar iones de calcio (Ca^{2+}), silicato (SiO_4^{4-}) y carbonato (CO_3^{2-}) al entrar en contacto con fluidos biológicos como la saliva (3):

- **Los iones de calcio (Ca^{2+}):** Estimulan la mineralización de los tejidos circundantes al inducir la precipitación de fosfato de calcio y, posteriormente la formación de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$); el principal componente mineral del tejido dentario.
- **Los iones de silicato (SiO_4^{4-}):** Promueven la diferenciación de las células precursoras en odontoblastos, favoreciendo la formación de dentina terciaria.
- **Los iones carbonato (CO_3^{2-}):** Contribuyen a la formación de hidroxiapatita con estructura biomimética similar a la dentina natural.

El proceso de recepción de hidroxiapatita en la interfase entre el Biodentine y la dentina preexistente crea una zona de unión mineralizada, lo que permite un sellado hermético que previene la filtración bacteriana y promueve la cicatrización pulpar (3,7).

b. Estimulación Biológica y Regeneración Pulpar:

El Biodentine interactúa directamente con los tejidos pulpares y dentinarios, favoreciendo la reparación biológica a través de diferentes mecanismos celulares (3,8):

- **Diferenciación de Odontoblastos y Formación de Dentina Reparativa:** La liberación de iones de calcio y silicato estimula la proliferación de células mesenquimales pulpares, promoviendo su diferenciación en odontoblastos funcionales. Los odontoblastos diferenciados inician la síntesis y deposición de dentina terciaria, creando una barrera natural de protección para la pulpa dental expuesta.
- **Modulación de la Respuesta Inflamatoria:** Biodentine tiene un pH alcalino (~12), lo que genera un ambiente antibacteriano que neutraliza los ácidos y toxinas liberadas por bacterias cariogénicas como *Streptococcus mutans*. Su capacidad para inducir la mineralización también está relacionada con su efecto antiinflamatorio, promoviendo la reparación del tejido pulpar sin provocar necrosis pulpar.

- **Angiogénesis y Reparación del Tejido Pulpar:**

Estudios han demostrado que Biodentine estimula la liberación de factores de crecimiento, como el Factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), que favorece la formación de nuevos vasos sanguíneos en la pulpa dental. Esta angiogénesis facilita la llegada de nutrientes y células reparadoras al área afectada, acelerando la cicatrización y reduciendo la posibilidad de necrosis pulpar.

- c. **Adhesión Química y Sellado Biológico:**

La capacidad del Biodentine para formar una unión estable con la estructura dental sin necesidad de adhesivos dentales convencionales (7):

- **Interacción química con la dentina:** La liberación de iones de calcio y silicato promueve la formación de hidroxiapatita en la interfase, estableciendo un sellado mineralizado.
- **Microfiltración reducida:** La expansión controlada durante el fraguado previene la formación de microespacios entre el material y la dentina, minimizando la infiltración bacteriana.
- **Adhesión a materiales restaurativos:** Biodentine tiene una buena compatibilidad con resinas compuestas y otros materiales de restauración, facilitando su uso en terapias combinadas.

5.2. Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG):

a) Definición:

El Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) es un biomaterial innovador diseñado para mejorar la bioactividad, la adherencia a la dentina y la capacidad regenerativa del Biodentine convencional. Esta modificación incorpora nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) a la matriz de silicato de calcio, generando un material con propiedades mecánicas y biológicas optimizadas (4,5,9).

Las nBG son partículas de vidrio bioactivo en escala nanométrica (<100nm) que han demostrado un alto potencial en la regeneración de tejidos duros debido a su capacidad de liberar iones de calcio, silicio y fosfato, promoviendo la mineralización y estimulando la diferenciación celular en odontoblastos y células madre pulpares (4,5,9).

Este material ha sido desarrollado para superar algunas limitaciones del Biodentine convencional, como la fragilidad mecánica, la solubilidad en medios húmedos y la lenta deposición de hidroxiapatita en la superficie de la dentina (4,5,9).

El desarrollo y uso de materiales biomiméticos como el Biodentine con nBG representa un avance significativo en la odontología regenerativa, permitiendo enfoques terapéuticos más conservadores y eficaces para la preservación de la estructura dentinaria y la vitalidad pulpar (4,5,9).

b) Mecanismo de Acción del Biodentine con nBG:

El mecanismo de acción del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo se base en los siguientes procesos (4,9):

- **Liberación Iónica y Bioactividad:** El vidrio bioactivo presente en forma de nanopartículas libera iones de calcio (Ca^{2+}), fosfato (PO_4^{3-}) y silicio (SiO_4^{4-}) cuando entra en contacto con fluidos biológicos. Estos iones favorecen la formación de cristales de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) en la interfase del material con la dentina y en el interior de los

túbulos dentinarios. Se forma una capa bioactiva que sella la dentina expuesta y refuerza la mineralización del tejido circundante.

- **Diferenciación Celular y Estimulación de la reparación dentinaria:** El silicio liberado por las nBG actúa como un estímulo para la proliferación y diferenciación de células madres pulpares en odontoblastos, lo que favorece la síntesis de la matriz dentinaria. La activación de proteínas como la osteocalcina y la sialoproteína ósea contribuye a la regeneración de la dentina terciaria y al mantenimiento de la vitalidad pulpar.

c) **Análisis comparativo entre el Biodentine convencional y el modificado con nanopartículas de biovidrio (nBG): implicancias clínicas y estructurales:**

TABLA 1. Comparación de las principales diferencias entre el Biodentine convencional y su versión modificada (2–4,8,9).

| PROPIEDAD | BIODENTINE | BIODENTINE CON NBG |
|---------------------------------------|---------------|--------------------|
| ● Bioactividad | Alta | Muy alta |
| ● Resistencia Mecánica | Moderada | Aumentada |
| ● Adhesión a la dentina | Buena | Mejorada |
| ● Formación de Hidroxiapatita | Lenta | Rápida y sostenida |
| ● Modulación de la Inflamación | Efectiva | Optimizada |
| ● Capacidad antibacteriana | Alta | Potenciada |
| ● Tiempo de Fraguado | 10-12 minutos | 12-15 minutos |

5.3.Sistema Adhesivo Universal:

a) Definición:

Son materiales diseñados para la adhesión de restauraciones directas e indirectas a la estructura dental (esmalte y dentina) con protocolo de aplicación. Estos adhesivos pueden emplearse con diferentes estrategias de grabado; ya sea grabado total, grabado selectivo o autograbado, lo que les confiere versatilidad en el campo clínico (10).

Los adhesivos universales están compuestos por monómeros funcionales, como el 10-MDP (10-metacrililoixidecil dihidrogenofosfato), que facilitan la interacción química con la hidroxiapatita y permiten una adhesión duradera. Además, contiene disolventes (agua, etanol o cetona) y agentes de curado, lo que favorece la infiltración en la dentina y la polimerización eficiente del material (10,11).

Estos adhesivos han demostrado mejorar la estabilidad de unión, reducir la sensibilidad postoperatoria y simplificar los procedimientos clínicos, lo que los convierte en una opción ampliamente utilizada en el campo de la odontología restauradora (10).

b) Composición:

○ Monómeros Funcionales:

- 10-MDP (10-metacrililoixidecil dihidrogenofosfato):** Facilita la adhesión química a la hidroxiapatita del esmalte y la dentina (10).
- Monómeros hidrofóbicos e hidrofílicos:** Permiten la compatibilidad con sustratos secos o húmedos (10).

○ Disolventes:

- Agua, etanol o cetona, que favorecen la infiltración del adhesivo en la matriz colágeno de la dentina y facilitan la evaporación del exceso de humedad (10).

- **Agentes de fotopolimerización:**

- Fotoiniciadores como Canforoquinona, que activan la polimerización en presencia de luz (10).

- **Cargas Rellenas (en algunos casos):**

- Para mejorar la estabilidad mecánica del adhesivo (10).

c) Métodos de Aplicación:

- Grabado Total:** Aplicación del ácido fosfórico al 30-37% en esmalte y dentina antes del adhesivo (10).
- Grabado Selectivo:** Grabado con ácido solo en esmalte, manteniendo la dentina sin grabar (10).
- Autograbado:** El adhesivo contiene un pH ácido que desmineraliza la superficie dental sin necesidad de ácido fosfórico (10).

5.4.Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus:

a) Definición:

El Scotchbond™ Universal Plus es un sistema monocomponente de aplicación simplificada, desarrollado por 3M Oral Care, diseñado para optimizar la adhesión a sustratos dentales y materiales restauradores. Su formulación integra monómeros funcionales; que le permite una interacción química estable con la hidroxiapatita, impulsando una adhesión duradera y resistente a la degradación hidrolítica (10,11).

Este sistema adhesivo es compatible con las tres estrategias de grabado ácido, lo que le confiere gran implicancia clínica. Así mismo, contiene un agente silano que facilita la adhesión a cerámicas vítreas sin necesidad de un

primario adicional. Su formulación equilibra la proporción de monómeros hidrofílicos e hidrofóbicos, lo que contribuye a su estabilidad prolongada y minimiza la sensibilidad postoperatoria.

El Scotchbond™ Universal Plus ha demostrado en estudios in vitro e in vivo, una alta resistencia de unión tanto en esmalte como en dentina, consolidándose como un adhesivo de referencia en odontología adhesiva y restauradora.

b) Composición y Mecanismo de Acción:

o Monómeros Funcionales:

- **10-MDP (10-metacriloiloxidecil dihidrogenofosfato):**
Forma enlaces químicos estables con la hidroxiapatita, mejorando su resistencia adhesiva (11).
 - **Monómeros Acrílicos:** Permiten la infiltración del adhesivo en la dentina y contribuyen a la polimerización efectiva (11).
 - **Silano:** Mejora la adherencia a cerámicas de vidrio (porcelanas feldespáticas y disilicato de litio) sin necesidad de un agente de silanización separado (11).
- ##### **o Disolventes:**
- **Agua y etanol:** Favorecen la desmineralización en el modo de autograbado y facilitan la penetración del adhesivo en la matriz de colágeno (11).

○ **Fotoiniciadores:**

- **Canforoquinona:** Activa la polimerización al exponerse a la luz azul de 450 nm, garantizando una conversión eficiente de los monómeros en polímero (11).

c) Propiedades Adhesivas:

- Alta resistencia adhesiva en esmalte y dentina, con valores superiores a 25 MPa en estudios de microshear y microtensión bond Strength (11).
- Resistencia a la degradación hidrolítica, manteniendo una adhesión estable a largo plazo (11).
- Compatibilidad con materiales duales y autopolimerizables (11).

d) Consideraciones Clínicas:

- **Tiempo de aplicación recomendado:** Se recomienda frotar el adhesivo sobre la superficie dental durante 20 segundos, seguido de un secado suave y fotopolimerización durante 10 segundos (10,11).
- **Compatibilidad con diversos materiales:** Puede ser usado en combinación con cementos de resina como RelyX™ Universal para cementaciones adhesivas (10,11).
- **Durabilidad clínica:** Estudios clínicos a largo plazo han demostrado una estabilidad adhesiva de más de 5 años sin reducción significativa de la resistencia de unión (10,11).

5.5. Adper™ Single Bond. Adhesivo Dentinario de Quinta Generación:

a) Definición:

El Adper™ Single Bond es un adhesivo dentinario monocomponente de grabado total, fabricado por 3M ESPE, este adhesivo se caracteriza por su capacidad de crear una unión eficaz entre el esmalte y la dentina con materiales de restauración como resinas compuestas. Su diseño combina agentes de impresión y adhesión en una solución, lo que significa su aplicación y reduce la posibilidad de errores clínicos asociados a sistemas de adhesión de múltiples pasos. Este sistema adhesivo está basado en la técnica de grabado ácido total, en la cual el esmalte y la dentina son tratados previamente con ácido fosfórico al 35%, permitiendo la desmineralización de la superficie y la apertura de los túbulos dentinarios. Posteriormente, el adhesivo penetra en la matriz colágena desmineralizada, formando una capa híbrida resistente que asegura una unión sostenible (10–12).

a) Composición Química:

El Adper™ Single Bond está formulado con una combinación de monómeros adhesivos y solventes que optimizan la infiltración del adhesivo en la estructura dentinaria. Su composición incluye (12):

○ Monómeros Adhesivos:

- **Bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato):** Confiere resistencia mecánica y estabilidad estructural (10,12).
- **HEMA (hidroxietil metacrilato):** Mejora la humectabilidad y la penetración en la dentina desmineralizada (10,12).
- **Dimetacrilatos de bajo peso molecular:** Mejoran la fluidez del adhesivo y facilitan su distribución homogénea (10,12).

○ **Carga de sílice nanométrica (10% de peso):**

Mejora la estabilidad mecánica y la resistencia a la degradación (10,12).

○ **Disolventes Volátiles:**

- **Etanol y agua:** Facilitan la dispersión del adhesivo y permiten la evaporación eficiente antes de la fotopolimerización (12).

○ **Iniciadores de fotopolimerización:**

- **Canforquinona y aminas terciarias:** Permiten la activación del adhesivo bajo luz halógena o LED (longitud de onda 450 – 500 nm) (12).

b) Propiedades y Ventajas Clínicas:

El Adper™ Single Bond se ha consolidado como un adhesivo confiable en el campo de la odontología restauradora debido a sus propiedades clave (12):

- Alta fuerza de adhesión a esmalte y dentina (~25-30 MPa).
- Infiltración óptima a la matriz colágena, reduciendo la degradación de la adhesión a largo plazo.
- Compatibilidad con la dentina húmeda, minimizando el colapso de fibras colágenas.
- Tiempo de trabajo reducido, optimizando la eficiencia clínica.
- Baja incidencia de sensibilidad postoperatoria si se aplica correctamente.
- Fotopolimerización eficiente, asegurando una polimerización homogénea.

c) Aplicaciones Clínicas:

El Adper™ Single Bond se recomienda en (10,12):

- Restauraciones directas con resinas compuestas en dientes anteriores y posteriores.
- Sellado de preparaciones cavitarias antes de restauraciones indirectas.
- Cementación adhesiva de restauraciones indirectas (incrustaciones, carillas, coronas de cerámica o resina).
- Reparación de restauraciones fracturadas.
- Sellado dentinario en tratamientos de hipersensibilidad.

d) Consideraciones Clínicas y Limitaciones (10–12):

- **Técnica Sensible:** Un secado excesivo de la dentina puede colapsar la matriz colágena, reduciendo la penetración del adhesivo. Se recomienda una dentina húmeda, pero sin exceso de agua.
- **Necesidad de Fotopolimerización Adecuada:** Es esencial una polimerización completa para evitar la degradación prematura de la adhesión.
- **Mayor sensibilidad a la contaminación:** La contaminación con la saliva o sangre compromete la adhesión, por lo que se recomienda aislamiento absoluto siempre que sea posible.
- **Uso en restauraciones Indirectas:** Puede requerir un agente de unión adicional para una mejor compatibilidad con cementos resinosos duales o autopolimerizables.

El Adper™ Single Bond sigue siendo un adhesivo altamente efectivo y clínicamente probado dentro de la odontología restauradora. Su mecanismo de formación adhesivo de una capa híbrida estable, su alto rendimiento y su compatibilidad con la técnica de grabado total lo convierten en una opción para restauraciones con resinas complejas y cementaciones adhesivas (10–12).

Aunque los sistemas adhesivos autograbantes han ganado popularidad en los últimos años, El Adper™ Single Bond sigue siendo una opción preferida debido a su mayor adhesión al esmalte y su capacidad de infiltración en la dentina húmeda. Sin embargo, su aplicación requiere precisión técnica y control de humedad dentinaria para maximizar su eficacia y longevidad en la restauración adhesiva (10–12).

6. Antecedentes Investigativos:

- **“Propiedades bioactivas mejoradas de Biodentine™ modificada con nanopartículas de vidrio bioactivas”**

Autores: Corral Núñez, C., Covarrubias, C., Fernández, E., Oliveira Junior, OB.

Resumen: Biodentine™ (BD) es un cemento bioactivo de silicato tricálcico para su uso como sustitutivo de la dentina, pero su estabilidad es escasa a causa de formar fosfato de calcio amorfo en la interfaz con la dentina. El vidrio bioactivo (BG) y su nanopartícula (nBGs) favorecen la formación de hidroxiapatita proporcionando un sellado más estable, y aunque no se han incorporado nBGs en BD, podrían mejorar su bioactividad y estabilidad a largo plazo (4).

- **“Efecto de la adición de vidrio bioactivo de tamaño nanométrico sobre algunas propiedades físicas de la biodentina”**

Autores: Guneser MÖzturk TSahin AUysal BEdeniz A

Resumen: Este trabajo de investigación in vitro tuvo como objetivo evaluar las propiedades físicas de Biodentine™ (BD) modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) para diferentes proporciones (1 % y 2 %). Los resultados mostraron que la adición de nBG incrementó significativamente la resistencia a la compresión y la microdureza en comparación con BD no modificado, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los grupos con 1 % y 2 % de nBG. En líneas generales, el tiempo de fraguado inicial se apreció como significativamente reducido con la adición de nBG y la solubilidad del cemento se presentó como en efecto menor encima de concentraciones más altas de nBG. A pesar de las limitaciones del estudio, se concluye que la modificación de BD como nBG permite mejorar sus propiedades físicas, recomendando más estudios para evaluar su aplicabilidad clínica (5).

- **“Nanopartículas de vidrio bioactivo mejoran la bioactividad de la biodentina en las células madre de la pulpa dental”**

Autores: Corral Núñez, C., Altamirano Gaete, D., Maureira, M., Martín, J., Covarrubias, C.

Resumen: El presente estudio realizó un análisis de la citotoxicidad y de la bioactividad de un nanocompuesto de Biodentine con partículas de vidrio bioactivo en células madre de pulpa dental humana. Se obtuvieron nanopartículas del mismo mediante el método sol-gel, incluyendo finalmente el 2 % y 5 % del mismo en peso del biocompuesto Biodentine. Se comparó siempre con Biodentine que no fue modificado y cemento de ionómero de vidrio. Los resultados alcanzados indicaron que las células se

adhirieron y proliferaron con éxito en los nanocompuestos, alcanzando, además, una viabilidad celular similar a la registrada en Biodentine, pero de manera superior a la del cemento de ionómero de vidrio. Con respecto a la diferenciación odontogénica, los nanocompuestos presentaron una mejor capacidad en comparación con Biodentine puro y el cemento de ionómero de vidrio, como lo manifiesta la mayor actividad de fosfatasa alcalina medida a los 7 días de cultivo.

Por último, estos resultados sugieren que el nanocompuesto favorece la bioactividad y la regeneración mineral, abriendo nuevas puertas para su aplicación en la terapéutica pulpar vital (9).

7. Hipótesis:

7.1. Hipótesis Nula:

- El Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) no tiene ningún efecto en la resistencia de unión al cizallamiento del sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia etch-and-rinse.

7.2. Hipótesis Alternativa:

- El Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) influye en la resistencia de unión al cizallamiento del sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia etch-and-rinse.

Ha: $P1 \neq P2$



CAPÍTULO II
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1. Diseño Metodológico:

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo, observacional comparativo, con un nivel y diseño experimental descriptivo.

2. Muestra:

Se diseñaron 40 bloques cilíndricos de resina acrílica de autocurado, cada uno con una perforación central de 2 mm de profundidad y 4 mm de diámetro. Posteriormente, estos fueron rellenados con Biodentine™ (Septodont), siguiendo las indicaciones del fabricante. Luego, los cuerpos de prueba se distribuyeron aleatoriamente en cuatro grupos de diez elementos, según el material a aplicar: Biodentine™ (BD) o Biodentine™ modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD).

La muestra se limitó a un total de 40 cuerpos de prueba debido a las condiciones disponibles en el laboratorio al momento de la ejecución del proyecto. No se contaba con mayor cantidad de bloques cilíndricos de resina acrílica ni con los recursos necesarios para ampliar el número de especímenes, por lo que se trabajó con la cantidad disponible para cumplir con el diseño experimental establecido. Además, se tomó como referencia estudios previos que utilizaron un número similar de muestras, los cuales respaldan la validez estadística y la reproducibilidad de los resultados con este tamaño muestral. Esta decisión permitió mantener la comparabilidad con investigaciones anteriores y optimizar el uso de los recursos disponibles (13).

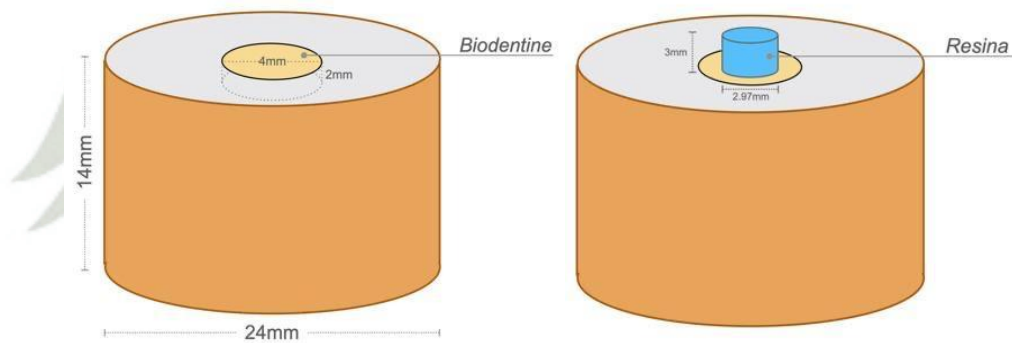
2.1.1. Grupos experimentales:

- **G1:** nBG/BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse).
- **G2:** BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse).

- **G3:** nBG/BD y sistema adhesivo Adper Single Bond
- **G4:** BD y sistema adhesivo Adper Single Bond

En todos los grupos se realizó un grabado con ácido fosfórico al 37%, previa la aplicación de los sistemas adhesivos. Posteriormente a la aplicación del sistema adhesivo, se confeccionó un cilindro de resina compuesta con la ayuda de una matriz transparente, con un diámetro interno de 2,97 mm y 3mm de altura. A continuación, se muestra un esquema ilustrativo de la preparación de los cuerpos de prueba:

FIGURA 1. Diagrama de los cuerpos de prueba utilizados



Fuente: Esquema cedido por el Dr. Wilfredo Escalante Otárola

3. Tabla de Variables:

| VARIABLE | INDICADOR | UNIDAD DE MEDIDA/ CATEGORÍA | ESCALA |
|--|--|---|---|
| INDEPENDIENTE: Biodentine Modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo nBG/BD | <ul style="list-style-type: none"> • Biodentine Modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo nBG/BD • Biodentine Convencional (Control) | <ul style="list-style-type: none"> • mg | <ul style="list-style-type: none"> • 700 mg de Biodentine • 15 mg de nBG/BD |
| DEPENDIENTE: Resistencia de Unión, Sistema Adhesivo etch-and-rinse | <ul style="list-style-type: none"> • Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus • Sistema Adhesivo Adper Single Bond (Control) | <ul style="list-style-type: none"> • MPa | - |

4. Técnicas y Procedimientos:

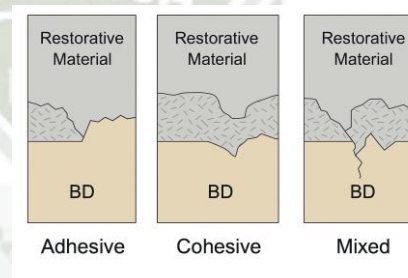
- **Ensayo mecánico de Cizallamiento:**

Para la prueba de la resistencia de unión al cizallamiento, cada espécimen fue fijado mediante una máquina de ensayos universales (OM150, Odeme Dental Research). Se colocó una cuchilla con borde afilado lo más próximo posible a la interfaz entre el BD y el material restaurador (ya sea el ionómero o la resina compuesta) mediante 1.0 mm/min hasta que ocurra la fractura de la unión. Las cargas en el momento de la fractura fueron expresadas en Newtons y la resistencia de la unión en megapascuales (MPa), obteniendo la resistencia de la unión por medio de la carga en el momento de la fractura dividido por el área de superficie adhesiva.

Todos los valores obtenidos se registraron en una matriz de datos en Microsoft Excel para su posterior análisis estadístico.

- **Análisis del tipo de fractura:** Las superficies fracturadas fueron analizadas por un estereomicroscopio a 30 aumentos. La fractura se clasificó en adhesiva entre el BD y el material restaurador; cohesiva en el BD; cohesiva en el material restaurador; y mixta.

FIGURA 2. Tipos de fractura identificados entre Biodentine y material restaurador



Fuente: Elaboración propia. Gráfico representativo que permite identificar y clasificar el tipo de fractura observada tras el análisis estereomicroscópico (30×).

Adicionalmente, se evaluó la profundidad de la falla utilizando el software Image J, con el cual se realizó la medición correspondiente. Los valores obtenidos fueron registrados en una matriz de datos para su posterior análisis estadístico.

- **Prueba Piloto:** Se confeccionaron cuatro cuerpos de prueba de resina acrílica con una cavidad central, rellenos con Biodentine™ puro o modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD). Se seleccionó un cuerpo para cada uno de los cuatro grupos experimentales, definidos según el tipo de Biodentine™ y el sistema adhesivo utilizado: Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse) o Adper Single Bond.

Tras el grabado ácido al 37%, se aplicó el adhesivo correspondiente y se colocó un cilindro de resina compuesta sobre la superficie tratada. Posteriormente, se realizó la prueba de resistencia de unión al cizallamiento utilizando una máquina de ensayos universales (OM150). Cabe señalar que los resultados obtenidos durante esta prueba piloto fueron incorporados en la matriz de datos para su análisis estadístico.

- **Observaciones preliminares:** Durante la prueba, se observó que la manipulación del Biodentine™ modificado con nanopartículas fue adecuada y no presentó dificultades en su aplicación. Además, no se reportaron fallas técnicas durante el procedimiento de carga. Esta prueba piloto permitió estandarizar el protocolo experimental y verificar la viabilidad del diseño para futuras pruebas con mayor número de muestras.

5. Plan de Análisis:

Los datos de resistencia de unión se analizaron con Jamovi (v.2.3.18.0). Se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene. Luego, se aplicó un ANOVA de un factor y, ante diferencias significativas ($p < 0.05$), se realizó un análisis post hoc de Tukey. El nivel de significancia se estableció en 5% ($\alpha = 0.05$). Del mismo modo, los datos correspondientes a la profundidad de fractura fueron sometidos al mismo proceso estadístico inicial. Sin embargo, debido a la posible falta de homogeneidad de varianzas, se empleó el análisis post hoc de Games-Howell para identificar diferencias significativas entre los grupos.

6. Consideraciones Éticas:

Esta investigación no requirió evaluación por parte de un comité de ética, ya que se realizó exclusivamente con materiales odontológicos y no involucró muestras biológicas.

Asimismo, la ejecución del proyecto no represento riesgos para el equipo de investigadores. No obstante, se garantizó el cumplimiento estricto de las normas de bioseguridad en el laboratorio, incluyendo el uso obligatorio de barreras de protección personal, como guantes, mascarilla, bata de laboratorio, gorro quirúrgico desechable y lentes de protección, a fin de preservar la seguridad de todo el equipo.

7. Recursos:

La presente investigación fue financiada por el proyecto "*Efecto de la aplicación de nanopartículas de vidrio bioactivo en la adhesión de Biodentine*", cuyo responsable técnico fue el Dr. Wilfredo Escalante Otarola, el cual cuenta con un fondo externo otorgado por Prociencia, bajo el contrato N.º PE501093011-2024. Asimismo, esta investigación fue financiada por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María. Este financiamiento permitió el acceso a los recursos necesarios para su ejecución.

A continuación, se presenta una tabla con el presupuesto asignado:

TABLA 2. Estimación de costos asociados al desarrollo del estudio

| MATERIAL | COSTO |
|---|--------------|
| ● Cemento Biodentine | S/. 2,500.00 |
| ● Materiales de escritorio (lapiceros, papelería, entre otros) | S/.150.00 |
| ● Material para la preparación de muestras (tubos de PVC, resina acrílica, EPPs, entre otros) | S/.1,000.00 |
| ● Material para protocolos adhesivos (sistemas adhesivos, material restaurador, entre otros) | S/.1,900.00 |
| TOTAL: | S/. 5,550.00 |

8. Cronograma:

| Tiempo Actividades | 2025 | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|---|---|---|-------|---|---|---|------|---|---|---|
| | Marzo | | | | Abril | | | | Mayo | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Aprobación del Proyecto | | | | | | | | | | | | |
| Procedimientos Metodológicos | | | | | | | | | | | | |
| Recolección de datos | | | | | | | | | | | | |
| Estructuración de datos | | | | | | | | | | | | |
| Informe final | | | | | | | | | | | | |



CAPÍTULO III

RESULTADOS

1. Resultados:

Los datos analizados corresponden a la resistencia de unión al cizallamiento, por lo que antes de aplicar el análisis de varianza (ANOVA), se evaluaron los supuestos estadísticos correspondientes. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk mostró que los datos se distribuyen normalmente ($p = 0.644$), y la prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas entre los grupos ($p = 0.176$), lo que permite el uso del ANOVA clásico. Al aplicar el ANOVA de un factor, se obtuvo un valor de $p = 0.005$, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en la resistencia de unión entre al menos dos de los grupos evaluados. Para identificar cuáles grupos presentaban diferencias significativas entre sí, se realizó una prueba post hoc de Tukey, cuyos resultados se detallan en la Tabla 3.

TABLA 3. Prueba Post-Hoc de Tukey – Resistencia de unión

| | | G1 | G4 | G3 | G2 |
|-----------|----------------------|----|--------|-----------|----------|
| G1 | Diferencia de medias | — | 2.17 * | -0.0182 | 0.225 |
| | valor p | — | 0.012 | 1.000 | 0.987 |
| G4 | Diferencia de medias | | — | -2.1836 * | -1.941 * |
| | valor p | | — | 0.012 | 0.029 |
| G3 | Diferencia de medias | | | — | 0.243 |
| | valor p | | | — | 0.983 |
| G2 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Nota. * $p < .05$

La Tabla 4 presenta los valores de resistencia de unión (MPa) correspondientes a los distintos grupos experimentales. Se destaca que el grupo con Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (G1 – nBG/BD) alcanzó una resistencia de unión significativamente mayor al sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (estrategia etch-and-rinse) en comparación con el grupo con Biodentine sin modificar con Adper Single Bond (G4 – BD) ($p < 0.05$). En contraste, los grupos G2 (BD + Scotchbond Universal Plus) y G3 (nBG/BD + Adper Single Bond) mostraron valores de resistencia de unión similares al grupo G1, independientemente de si el Biodentine fue modificado o no. ($p > 0.05$).

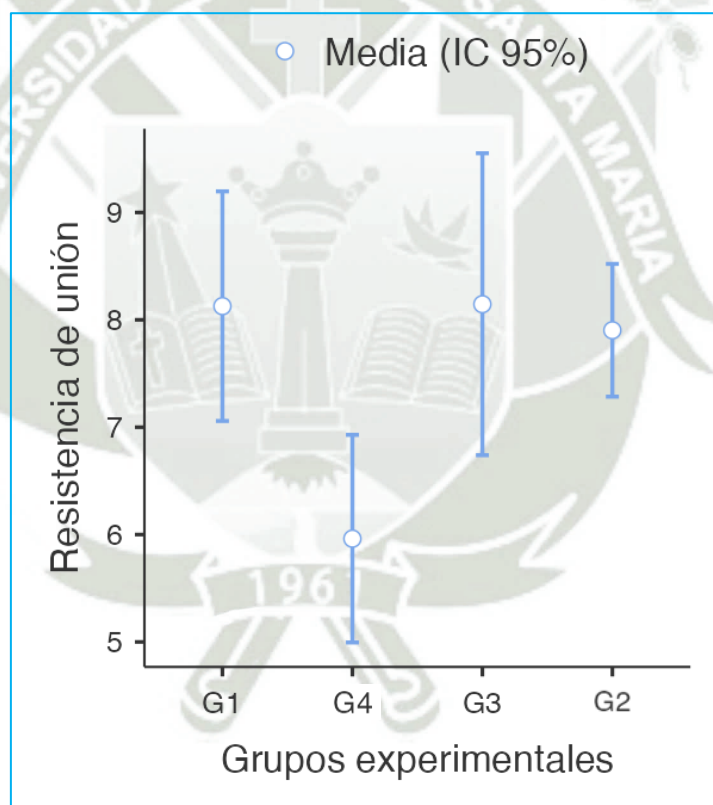
TABLA 4. Media, desviación estándar e intervalos de confianza de los valores de resistencia de unión (MPa) según los grupos experimentales evaluados.

| Grupos | G1 | G2 | G3 | G4 |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Media | 8.13 ^a | 7.90 ^a | 8.15 ^a | 5.96 ^b |
| DE | 1.59 | 0.92 | 2.09 | 1.44 |
| IC | 7.19-9.07 | 7.36 – 8.45 | 6.91-9.38 | 5.11-6.81 |

*^{ab} Letras minúsculas diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (ANOVA de un factor y prueba post hoc de Tukey; $p < 0.05$). DE: desviación estándar; IC: intervalos de confianza. G1: nBG/BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (etch-and-rinse); G2: BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (etch-and-rinse); G3: nBG/BD y sistema adhesivo Adper Single Bond; G4: BD y sistema adhesivo Adper Single Bond.

Estos resultados sugieren que la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo podría mejorar la interacción con ciertos sistemas adhesivos, particularmente cuando se aplica Scotchbond Universal Plus en técnica grabado total. En la Figura 3 se presenta un gráfico que ilustra visualmente las diferencias entre los grupos, facilitando la comparación entre las estrategias adhesivas evaluadas.

FIGURA 3. Gráfico ilustrativo de la diferencia de los grupos evaluados



En cuanto al análisis del tipo de fractura, se observó que el 100% de las muestras evaluadas presentaron fractura cohesiva dentro del Biodentine, tanto en su forma convencional como modificada. Este resultado indica que la falla se produjo dentro del propio cemento reparador y no en la interfase adhesiva, lo que sugiere que la unión lograda con los sistemas adhesivos fue más resistente que la estructura interna del material.

Así mismo, se analizaron los datos correspondientes a la profundidad de la fractura. Antes de aplicar el análisis de varianza (ANOVA), se evaluaron los supuestos estadísticos correspondientes. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk mostró que los datos se distribuyen normalmente ($p = 0.908$), y la prueba de Levene indicó discrepancia en la homogeneidad de varianzas entre los grupos ($p < 0.001$). A pesar de ello, se aplicó el ANOVA de un factor, obteniéndose un valor de $p < 0.001$, lo que evidenció diferencias estadísticamente significativas en la profundidad de fractura entre todos los grupos evaluados. Para identificar las diferencias significativas entre los grupos, se realizó una prueba post hoc de Games-Howell, cuyos resultados se detallan en la Tabla 5.

TABLA 5. Prueba Post-Hoc de Games-Howell – B

| | | G1 | G2 | G3 | G4 |
|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| G1 | Diferencia de medias | — | -538 *** | -190 *** | -683 *** |
| | valor p | — | < .001 | < .001 | < .001 |
| G2 | Diferencia de medias | | — | 348 *** | -145 * |
| | valor p | | — | < .001 | 0.022 |
| G3 | Diferencia de medias | | | — | -494 *** |
| | valor p | | | — | < .001 |
| G4 | Diferencia de medias | | | | — |
| | valor p | | | | — |

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

La Tabla 6 presenta los valores de profundidad de la fractura (μm) registrados en los diferentes grupos experimentales. El grupo G1, conformado por Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD) y el adhesivo Scotchbond Universal Plus, mostró la menor profundidad de fractura, siendo estadísticamente diferente respecto a todos los demás grupos. Por otro lado, el grupo G4, que utilizó Biodentine sin modificar junto con el adhesivo Adper Single Bond, presentó la mayor profundidad de fractura. Los grupos G2 y G3 obtuvieron valores intermedios, aunque también se diferenciaron significativamente entre sí. Estos resultados evidencian que tanto la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo como el sistema adhesivo utilizado influyen directamente en la profundidad de la fractura observada tras la prueba de adhesión. Esta variación puede atribuirse a la interacción química o física entre el vidrio bioactivo y el cemento, ya que dicha modificación podría alterar la microestructura del Biodentine, reflejándose en los diferentes niveles de penetración de la fractura registrados entre los grupos evaluados.

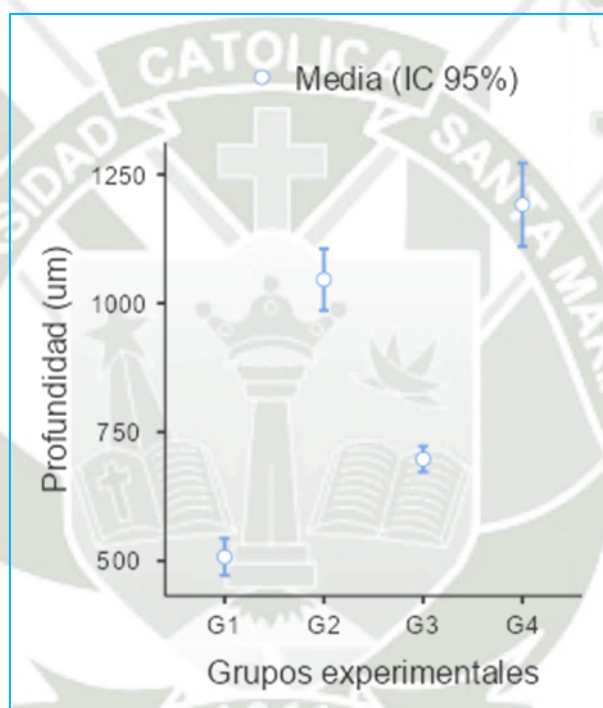
TABLA 6. Media, desviación estándar e intervalos de confianza de los valores de profundidad de la fractura (μm) según los grupos experimentales evaluados.

| Grupos | G1 | G2 | G3 | G4 |
|--------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Media | 507.75 ^a | 1045.88 ^c | 697.49 ^b | 1191.13 ^d |
| DE | 53.21 | 88.98 | 37.17 | 120.23 |
| IC | 444.94-581.41 | 886.61-1209.17 | 648.28-755.70 | 1055.67-1368.02 |

^{ab} Letras minúsculas diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (ANOVA de un factor y prueba post hoc de Games-Howell; $p < <.001$). DE: desviación estándar; IC: intervalos de confianza. G1: nBG/BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (etch-and-rinse); G2: BD y sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (etch-and-rinse); G3: nBG/BD y sistema adhesivo Adper Single Bond; G4: BD y sistema adhesivo Adper Single Bond. Los valores son expresados en micrómetros.

El gráfico evidencia diferencias notables en los valores de profundidad de fractura entre los grupos experimentales, con intervalos de confianza bien definidos. Se observa que los materiales modificados con nanopartículas de vidrio bioactivo presentan menor profundidad de fractura en comparación con los no modificados, lo que refuerza la influencia de la modificación del Biodentine y del tipo de adhesivo en el comportamiento frente a la fractura.

FIGURA 4. Gráfico comparativo que muestra las diferencias observadas entre los grupos evaluados.



2. Discusión:

En el presente estudio se evaluó el efecto de la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo sobre la resistencia de unión al cizallamiento de diferentes sistemas adhesivos universales aplicados bajo la estrategia etch-and-rinse. Los resultados revelaron que la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo al Biodentine (Grupo 1: nBG/BD + Scotchbond Universal Plus) mejoró significativamente la resistencia de unión cuando se utilizó el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, en comparación con el grupo que empleó Biodentine sin modificar (Grupo 2: BD + Scotchbond Universal Plus). Asimismo, se observó que los grupos tratados con el sistema adhesivo Adper Single Bond (Grupo 3: nBG/BD + Adper Single Bond y Grupo 4: BD + Adper Single Bond) mostraron diferencias significativas entre sí, dependiendo de si el Biodentine fue modificado o no. Este comportamiento sugiere que la modificación del sustrato interfiere con la eficacia adhesiva de Adper Single Bond, potenciando su interacción con Scotchbond Universal Plus. Además, el Grupo 4 fue el único que presentó una resistencia de unión significativamente menor respecto a los demás, evidenciando las limitaciones del Biodentine sin modificar al emplear estrategias adhesivas de grabado total.

En conjunto, los hallazgos evidencian que la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo influye de manera favorable en la resistencia de unión, especialmente cuando se combina con el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus. Esta mejora sugiere una mayor compatibilidad química y micromecánica entre el material modificado y el adhesivo, lo que optimiza la calidad de la interfase adhesiva (4). Por tanto, los resultados obtenidos permiten rechazar la hipótesis nula, confirmando que la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo sí tiene un efecto significativo sobre la resistencia de unión al cizallamiento en la estrategia etch-and-rinse.

Los resultados evidencian que la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo mejora significativamente la resistencia de unión cuando se emplea el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus. Este incremento se atribuye a la formación acelerada de apatita, que potencia la bioactividad y favorece una mejor adhesión (4). Demostrando que la adición de nBG previene el deterioro de la resistencia adhesiva durante períodos prolongados, lo cual es fundamental para la longevidad clínica (13,14).

Así mismo, el rendimiento del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo alcanza su máxima eficacia cuando se utiliza en combinación con el sistema adhesivo

Scotchbond Universal Plus aplicado mediante la técnica de grabado total. Esta observación sugiere una sinergia entre el tratamiento ácido previo y las características superficiales del Biodentine modificado, lo que favorece una mayor humectación y penetración del adhesivo en la interfase. Este efecto parece ser más evidente bajo la técnica de grabado y enjuague, en comparación con los modos de autograbado, que tienden a generar valores de resistencia de adhesión inferiores (15,16).

Por otro lado, el Biodentine convencional exhibe una resistencia de unión inferior en comparación con su versión modificada, lo que pone en evidencia ciertas limitaciones inherentes como sustrato adhesivo. Si bien presenta una adecuada resistencia a la compresión, puede carecer de suficiente resistencia a la tracción, una propiedad crucial para soportar las fuerzas oclusales sin fracturarse (17). Esta menor resistencia a la tracción limita su desempeño en la adhesión a los sistemas evaluados, lo que puede comprometer la durabilidad de las restauraciones en situaciones clínicas que requieren una mayor estabilidad y cohesión (18). Cabe resaltar que el 100% de las muestras presentaron fractura cohesiva en el Biodentine indica que la resistencia de unión superó la resistencia interna del material. Este comportamiento resalta una limitación mecánica del Biodentine, relacionada con su menor resistencia a la tracción, lo cual lo hace susceptible a fallas internas bajo cargas de cizallamiento, incluso cuando se logra una adhesión efectiva (18).

Los hallazgos también revelan que el Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo mantiene una resistencia de unión similar al emplear distintos sistemas adhesivos, lo que indica una eficacia constante independientemente del protocolo utilizado. Esta estabilidad sugiere que la modificación con nBG disminuye la dependencia del tipo de adhesivo, brindando mayor versatilidad clínica sin comprometer el rendimiento adhesivo. En concordancia, un estudio multicéntrico no encontró diferencias significativas en las tasas de supervivencia clínica entre distintos sistemas adhesivos, lo que respalda la posibilidad de utilizar materiales bioactivos modificados en combinación con diversas estrategias adhesivas sin afectar negativamente la longevidad de las restauraciones (19,20).

En el caso de los resultados obtenidos con Adper Single Bond, se observó un rendimiento ligeramente menor tanto con el Biodentine convencional como con el modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo. Este hallazgo indica que dicho sistema adhesivo conserva su eficacia aceptable del tipo de sustrato, aunque con un rendimiento ligeramente inferior respecto a Scotchbond Universal Plus. Esto sugiere una menor sensibilidad de Adper Single Bond a las variaciones en la naturaleza del material base. Al ser un adhesivo convencional de dos pasos, ha demostrado en evaluaciones a corto plazo una interacción relativamente estable con ambas versiones del Biodentine, aunque sin alcanzar los niveles de adhesión observados con el sistema universal (4).

Adicionalmente, a pesar de que todas las muestras evaluadas presentaron fallas cohesivas dentro del Biodentine, el análisis de la profundidad de fractura permitió evidenciar diferencias significativas entre los grupos, revelando aspectos que no podrían ser identificados únicamente mediante la prueba de resistencia adhesiva. En los grupos con Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo, se observaron fracturas menos profundas en comparación con los grupos con Biodentine sin modificar. Este comportamiento podría estar relacionado con una modificación de la microestructura del cemento, generada por la incorporación del vidrio bioactivo, que influye en la forma en que se distribuyen las tensiones durante la carga. Además, diversos estudios han señalado que esta modificación mejora propiedades mecánicas fundamentales como la tenacidad a la fractura y la resistencia a la flexión, lo cual resulta clave para soportar fuerzas oclusales en el entorno clínico (4,21). También se ha observado una mayor bioactividad, evidenciada por la formación de apatita en la interfaz dentina-material y un aumento del área interfacial, lo que podría contribuir a una mejor distribución de tensiones y a una menor profundidad de fractura. Así, la menor profundidad observada podría reflejar tanto una fragilidad superficial mayor como una mejor preservación de la cohesión interna del material. Estos resultados aportan una dimensión adicional al análisis, al permitir interpretar no solo la magnitud de la resistencia adhesiva, sino también cómo se comporta el material ante condiciones de estrés (4), lo cual podría tener implicancias clínicas en términos de durabilidad, adaptación interfacial y selección de materiales restauradores.

La metodología empleada en este estudio, específicamente el ensayo de resistencia al cizallamiento, se seleccionó debido a su capacidad para simular las fuerzas de masticación y el estrés mecánico que los materiales restauradores experimentan en la cavidad oral. Este tipo de ensayo es ampliamente utilizado en investigaciones odontológicas para evaluar la resistencia de unión entre materiales dentales y sistemas adhesivos, ya que proporciona una medición precisa y reproducible de la resistencia al cizallamiento (22). En este estudio, cada espécimen fue sometido a un ensayo en una máquina universal de pruebas, lo que permitió aplicar de manera controlada una carga progresiva hasta alcanzar la fractura del vínculo adhesivo. Este enfoque proporciona mediciones precisas sobre la capacidad de los materiales para resistir fuerzas de cizallamiento. Adicionalmente, el uso de una cuchilla de borde afilado, combinada con la medición de la carga en el momento exacto de la fractura, seguida de su conversión en unidades de resistencia de unión (MPa), asegura una evaluación exhaustiva y precisa de las propiedades mecánicas del material. Este procedimiento representa un método robusto y confiable para obtener datos significativos sobre la adhesión en procedimientos restauradores (23).

Si bien los resultados obtenidos aportan evidencia relevante sobre el efecto beneficioso de la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo en la resistencia de unión, es importante considerar ciertas limitaciones del estudio. Una de ellas fue la disponibilidad restringida de cuerpos de prueba, lo cual pudo haber condicionado el tamaño muestral y, con ello, la amplitud de los resultados obtenidos. Además, al tratarse de un estudio realizado bajo condiciones *in vitro*, no fue posible simular completamente factores clínicos relevantes como la dinámica de los fluidos orales, el manejo operatorio real o las variaciones en el protocolo adhesivo durante la práctica cotidiana, aspectos que podrían influir en el comportamiento del material en un entorno clínico. No obstante, una fortaleza destacable del presente trabajo radica en el riguroso control experimental y en la comparación directa de distintos sistemas adhesivos bajo una misma estrategia, lo que permitió aislar el efecto de la modificación del material restaurador.

Como línea de investigación futura, se sugiere realizar estudios *in vivo* o ensayos clínicos controlados que evalúen el comportamiento del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo en condiciones reales, así como su estabilidad adhesiva a largo plazo y su impacto en el éxito clínico de restauraciones definitivas.

Estos estudios podrían además incluir análisis microscópicos de la interfase adhesiva o ensayos de fatiga mecánica. En este sentido, los hallazgos del presente trabajo no solo respaldan la viabilidad del uso de materiales bioactivos modificados, sino que también abren nuevas perspectivas para optimizar la adhesión en restauraciones indirectas o en procedimientos mínimamente invasivos.

Como resultado de los hallazgos obtenidos, se desprenden los principales aportes que resaltan la importancia clínica de la modificación del Biodentine. Esta estrategia se presenta como una alternativa prometedora para optimizar la adhesión en odontología restauradora moderna.



3. Conclusiones:

PRIMERA: Los resultados obtenidos demuestran que la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo mejora significativamente la resistencia de unión al cizallamiento, especialmente cuando se emplea el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus en la estrategia etch-and-rinse. Esto destaca el potencial de los materiales bioactivos modificados para optimizar las propiedades adhesivas en diversos procedimientos clínicos.

SEGUNDA: La incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo en el Biodentine no solo mejora la interacción mecánica entre el cemento reparador y el adhesivo, sino que también puede influir positivamente en la interacción química, lo que aumenta la durabilidad y estabilidad de las restauraciones. Este hallazgo resalta el papel de las nanopartículas bioactivas en la optimización de la adhesión y en la mejora de la eficacia de las restauraciones dentales a largo plazo.

TERCERA: La incorporación de nBG en el Biodentine mejora significativamente sus propiedades mecánicas, reduciendo la profundidad de fractura y aumentando la resistencia adhesiva en comparación con el Biodentine no modificado. La modificación microestructural resultante optimiza la distribución de tensiones, lo que se refleja en una mayor cohesión interna y una mejor preservación de la integridad del material bajo estrés. Estos hallazgos subrayan el impacto positivo de las nanopartículas bioactivas en el rendimiento clínico de las restauraciones dentales, mejorando tanto la resistencia a la fractura como la adhesión a la dentina.

4. Recomendaciones:

PRIMERA: Considerando que el presente estudio se realizó en un entorno in vitro, una recomendación crucial para futuras investigaciones es llevar a cabo estudios in vivo que evalúen la resistencia de unión del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo en condiciones clínicas reales. Estos estudios permitirían observar el desempeño del material bajo factores variables como la humedad, las cargas funcionales, las fluctuaciones térmicas y la actividad biológica del entorno bucal, lo que proporcionaría datos más representativos sobre la durabilidad y fiabilidad de las restauraciones en situaciones clínicas a largo plazo. Además, esta evaluación in vivo contribuiría a entender mejor la interacción del material con los tejidos dentales y la biocompatibilidad en el contexto oral.

SEGUNDA: Se sugiere que futuras investigaciones incluyan el análisis de la estabilidad adhesiva del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo a lo largo del tiempo. Estudios de seguimiento que evalúen el rendimiento de la adhesión en condiciones de fatiga mecánica o exposición a ciclos de carga repetida permitirían obtener información más detallada sobre la durabilidad y fiabilidad de las restauraciones, lo que es fundamental para su implementación clínica a largo plazo.

TERCERA: Para ampliar el conocimiento sobre la aplicabilidad del Biodentine modificado, sería valioso investigar el comportamiento del material con otros sistemas adhesivos disponibles en la práctica clínica, así como explorar diferentes estrategias de aplicación, como el self-etch, técnicas de grabado selectivo o test de envejecimiento. Comparando los efectos de estos sistemas y estrategias sobre la resistencia de unión podría proporcionar información relevante para optimizar el uso del Biodentine en una variedad de procedimientos restauradores.

5. Referencias Bibliográficas:

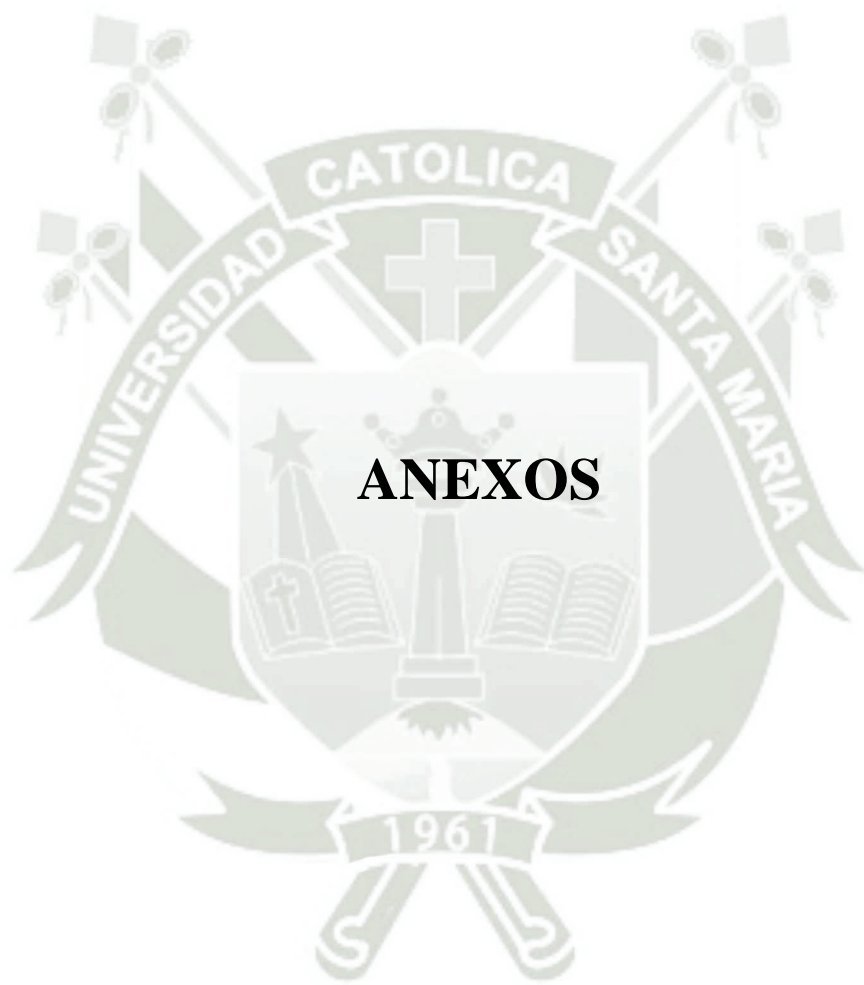
1. Wadia R. Biodentine vs MTA. Br Dent J [Internet]. 2025 Feb;238(4):247. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41415-025-8458-0>
2. Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGEC, Anthonappa RP. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update. Eur Arch Paediatr Dent [Internet]. 2018 Feb;19(1):1–22. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40368-018-0328-x>
3. Calderón-Montero CD, Maria Fernanda Rosero-Freire MFRFMFRF, Arroyo-Lalama EM. BIODENTINE y sus diferentes usos dentro de la odontología actual. Vida y Salud [Internet]. 2022 Oct 1;6(3):823. Available from: <https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/saludyvida/article/view/2307>
4. Corral Nuñez C, Covarrubias C, Fernandez E, Oliveira OB de Junior. Enhanced bioactive properties of Biodentine™ modified with bioactive glass nanoparticles. J Appl Oral Sci [Internet]. 2017 Mar-Apr;25(2):177–85. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-77572016-0209>
5. Guneser MB, Ozturk TY, Sahin AND, Uysal BA, Eldeniz AU. Effect of nanosized bioactive glass addition on some physical properties of biodentine. J Appl Biomater Funct Mater [Internet]. 2023 Jan-Dec;21:22808000231184059. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/22808000231184059>
6. Alsubait S, Aljarbou F. Biodentine or Mineral Trioxide Aggregate as Direct Pulp Capping Material in Mature Permanent Teeth with Carious Exposure? A Systematic Review and Meta-analysis. Oper Dent [Internet]. 2021 Nov 1;46(6):631–40. Available from: <http://dx.doi.org/10.2341/20-277-LIT>
7. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. Dent Mater J [Internet]. 2020 Sep 29;39(5):703–20. Available from: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2019-288>

8. Simancas Escorcía VH, Díaz Caballero A. Biodentine: a dentine substitute? *Salud Uninorte* [Internet]. 2022 Jan 25;36(3):587–605. Available from: <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/salud/article/view/10725/2144214450>
9. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *Biomed Res Int* [Internet]. 2021 Apr 3;2021:5569313. Available from: <http://dx.doi.org/10.1155/2021/5569313>
10. Breschi L, Maravic T, Mazzitelli C, Josic U, Mancuso E, Cadenaro M, et al. The evolution of adhesive dentistry: From etch-and-rinse to universal bonding systems. *Dent Mater* [Internet]. 2025 Feb;41(2):141–58. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dental.2024.11.011>
11. Brkanović S, Sever EK, Vukelja J, Ivica A, Miletić I, Krmek SJ. Comparison of Different Universal Adhesive Systems on Dentin Bond Strength. *Materials (Basel)* [Internet]. 2023 Feb 12;16(4). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ma16041530>
12. Sharafeddin F, Nouri H, Koohpeima F. The Effect of Temperature on Shear Bond Strength of Clearfil SE Bond and Adper Single Bond Adhesive Systems to Dentin. *J Dent (Shiraz)* [Internet]. 2015 Mar;16(1):10–6. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25759852>
13. Oltramare R, Par M, Mohn D, Wiedemeier DB, Attin T, Tauböck TT. Short- and Long-Term Dentin Bond Strength of Bioactive Glass-Modified Dental Adhesives. *Nanomaterials* [Internet]. 2021 Jul 23 [cited 2025 Apr 24];11(8):1894. Available from: <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/8/1894>
14. Kazem NE, El-Refai DA, Alian G. Assessment of physical properties of bioactive glass-modified universal multimode adhesive and its bonding potential to artificially induced caries affected dentin. *BMC Oral Health* [Internet]. 2024 Apr 5;24(1):423. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12903-024-04175-z>
15. Michaud PL, Brown M. Effect of universal adhesive etching modes on bond strength to dual-polymerizing composite resins. *J Prosthet Dent* [Internet]. 2018 Apr;119(4):657–62. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.prosdent.2017.06.018>

16. Nicoloso GF, Antoniazzi BF, Lenzi TL, Soares FZM, Rocha R de O. The Bonding Performance of a Universal Adhesive to Artificially-created Caries-affected Dentin. *J Adhes Dent* [Internet]. 2017;19(4):317–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.3290/j.jad.a38890>
17. Elnaghy A, Elsaka S. Fracture resistance of simulated immature roots using Biodentine and fiber post compared with different canal-filling materials under aging conditions. *Clin Oral Investig* [Internet]. 2020 Mar;24(3):1333–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00784-019-03014-8>
18. Sarraf P, Nekoofar MH, Sheykhrezae MS, Dummer PMH. Fracture Resistance of Immature Incisors Following Root Filling with Various Bioactive Endodontic Cements Using an Experimental Bovine Tooth Model. *Eur J Dent* [Internet]. 2019 May;13(2):156–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0039-1695654>
19. Hosaka K, Kubo S, Tichy A, Ikeda M, Shinkai K, Maseki T, et al. Clinical effectiveness of direct resin composite restorations bonded using one-step or two-step self-etch adhesive systems: A three-year multicenter study. *Dent Mater J* [Internet]. 2021 Sep 30;40(5):1151–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.4012/dmj.2020-428>
20. de Assis C, Lemos C, Gomes J, Vasconcelos B, Moraes S, Braz R, et al. Clinical Efficiency of Self-etching One-Step and Two-Step Adhesives in NCCL: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent* [Internet]. 2020 Nov 1;45(6):598–607. Available from: <http://dx.doi.org/10.2341/19-185-L>
21. Jung MK, Park SC, Kim YJ, Park JT, Knowles JC, Park JH, et al. Premixed Calcium Silicate-Based Root Canal Sealer Reinforced with Bioactive Glass Nanoparticles to Improve Biological Properties. *Pharmaceutics* [Internet]. 2022 Sep 8;14(9). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics14091903>

22. Foong J, Lee K, Nguyen C, Tang G, Austin D, Ch'ng C, et al. Comparison of microshear bond strengths of four self-etching bonding systems to enamel using two test methods. *Aust Dent J* [Internet]. 2006 Sep;51(3):252–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1834-7819.2006.tb00438.x>
23. Ahmed B, Hamama HH, Mahmoud SH. Microshear Bond Strength of Bioactive Materials to Dentin and Resin Composite. *Eur J Dent* [Internet]. 2023 Jul;17(3):917–23. Available from: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-1756692>





ANEXO 1: Matriz de Recolección de Datos:

TABLA 7. Resistencia de Unión

| | G1 | G3 | G4 | G2 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 8.10 | 6.09 | 6.38 | 8.48 |
| 2 | 4.94 | 7.60 | 6.68 | 7.54 |
| 3 | 10.33 | 8.08 | 9.23 | 6.87 |
| 4 | 7.73 | 7.04 | 9.09 | 7.52 |
| 5 | 10.08 | 5.80 | 6.00 | 7.22 |
| 6 | 8.44 | 4.16 | 9.26 | 7.28 |
| 7 | 8.18 | 7.32 | 12.56 | 7.13 |
| 8 | 9.88 | 4.64 | 8.22 | 7.97 |
| 9 | 7.77 | 6.19 | 5.05 | 9.22 |
| 10 | 6.53 | 4.57 | 7.79 | 9.80 |
| 11 | 7.42 | 4.09 | 9.34 | 7.90 |

TABLA 8: Análisis del Tipo de Fractura

| | PROFUNDIDAD DE LA FRACTURA | | | |
|-----------|-----------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| | G1 | G2 | G3 | G4 |
| | nBG/BD + SB | BD + SB | nBG/BD + ASB | BD + ASB |
| 1 | 581.408 | 991.814 | 648.276 | 1094.416 |
| 2 | 444.935 | 1094.95 | 650.709 | 1300.069 |
| 3 | 467.403 | 1031.132 | 694.17 | 1299.619 |
| 4 | 448.276 | 992.404 | 684.01 | 1368.02 |
| 5 | 447.208 | 1209.17 | 720.812 | 1267.266 |
| 6 | 550.709 | 886.611 | 684.868 | 1058.224 |
| 7 | 515.609 | 1037.76 | 718.21 | 1055.669 |
| 8 | 551.701 | 1130.687 | 719.024 | 1060.054 |
| 9 | 480.027 | 1102.933 | 653.4 | 1300.069 |
| 10 | 581.408 | 1069.005 | 755.696 | 1094.95 |
| 11 | 516.558 | 958.224 | 743.165 | 1204.032 |
| | a | c | b | d |

ANEXO 2: Análisis Del Tipo De La Fractura:

TABLA 9. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 1






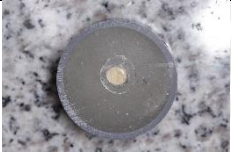




| | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|
| G1 | Cohesiva en BD/nBG | | | | |
| |  |  |  |  |  |
| | Cohesiva en BD/nBG | | | | |
| |  |  |  |  |  |

TABLA 10. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 2











| | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|
| G2 | Cohesiva en BD | | | | |
| |  |  |  |  |  |
| | Cohesiva en BD | | | | |
| |  |  |  |  |  |

TABLA 11. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 3















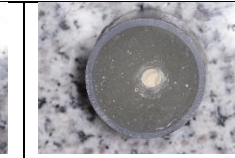





| | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|
| G3 | Cohesiva en BD/nBG | | | | |
| |  |  |  |  |  |
| | Cohesiva en BD/nBG | | | | |
| |  |  |  |  |  |

TABLA 12. Análisis de tipos de fractura en el Grupo 4









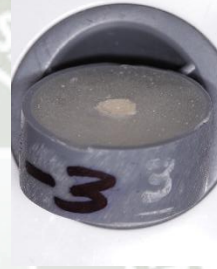










| | | | | | |
|-----------|---|---|---|--|---|
| G4 | Cohesiva en BD | | | | |
| |  |  |  |  |  |
| | Cohesiva en BD | | | | |
| |  |  |  |  |  |

ANEXO 3: Profundidad de la Fractura:

TABLA 13. Medición de la profundidad de fractura en los cuerpos de prueba de los Grupos 1 y 2.

| G1: BD/nBG + Scotchbond Universal Plus | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| G2: BD + Scotchbond Universal Plus | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

TABLA 14. Medición de la profundidad de fractura en los cuerpos de prueba de los Grupos 3 y 4.

| G3: BD/nBG + Adper Single Bond | | | | |
|---|---|---|--|---|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
| G4: BD + Adper Single Bond | | | | |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

ANEXO 4: Evidencia Fotográfica:

FIGURA 5. Aplicación de Biodentine Convencional y Biodentine Modificado con partículas de vidrio bioactivo nBG.



FIGURA 6. Aplicación de Sistemas Adhesivos:

- Grupo 1 – 4: Scotchbond Universal Plus
- Grupo 2 – 3: Adper Single Bond (Control)

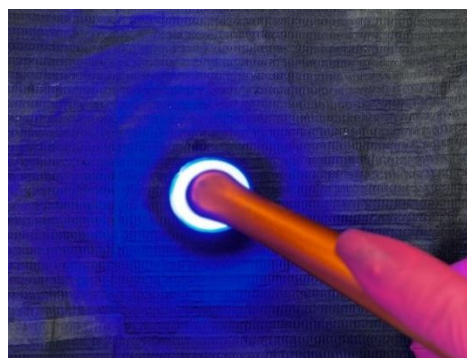
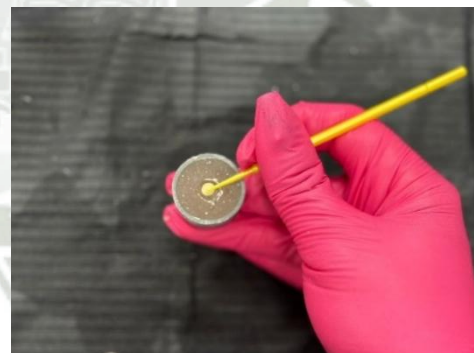


FIGURA 7. Confección de cilindro de resina con ayuda de una matriz transparente



FIGURA 8. Retiro de matriz transparente



FIGURA 9. Test de resistencia de unión al cizallamiento

