

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Odontología
Escuela Profesional de Odontología



**Resistencia al cizallamiento del sistema adhesivo universal aplicado en
estrategia self-etch sobre Biodentine modificado con nanopartículas de
vidrio bioactivo. Arequipa 2025**

Tesis presentada por la Bachiller:

Abt Calle, Karen Yamile

ORCID: 0009-0003-6047-1621

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor:

Dr. Escalante Otárola, 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, 19 de Junio del 2025

Dictamen: 015289-C-EPO-2025

Visto el borrador del expediente 015289, presentado por:

2020240022 - ABT CALLE KAREN YAMILE

Titulado:

**RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO DEL SISTEMA ADHESIVO UNIVERSAL APLICADO EN
ESTRATEGIA SELF-ETCH SOBRE BIODENTINE MODIFICADO CON NANOPARTÍCULAS DE VIDRIO
BIOACTIVO. AREQUIPA 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

CIRUJANO DENTISTA

**29242362 - GALLEGOS VARGAS HERBERT MARIO
DICTAMINADOR**



**29238358 - SALAS ROJAS MONICA HILDA CLEOFE
DICTAMINADOR**



**29649041 - ZEVALLOS CHAVEZ MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**



Resistencia al cizallamiento del sistema adhesivo universal aplicado en estrategia self-etch sobre Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo. Arequipa 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

12%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María	9%
	Trabajo del estudiante	
2	medicentro.sld.cu	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.uchile.cl	1%
	Fuente de Internet	
4	rcientificas.uninorte.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
5	www.grafiati.com	1%
	Fuente de Internet	
6	Redacción CEIICH. "Número Completo", Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología, 2015	<1%
	Publicación	
7	tesis.ucsm.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza a lo largo de este proceso. Gracias por brindarme la sabiduría, paciencia y perseverancia necesarias para alcanzar esta meta. Sin su apoyo, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Sonia y Karl, mi mayor inspiración y apoyo constante. Hoy reconozco que todo lo que soy y he logrado es resultado de su amor y crianza, su esfuerzo incansable y su confianza sin límites. Este logro refleja su entrega y paciencia.

A mi hermano Sebastian, que, aunque la distancia nos separa, sigue firme y valiente persiguiendo sus sueños. Admiro tu fuerza y tu perseverancia ante cada desafío. Tu valentía y determinación me llenan de orgullo cada día.

A mis tíos, Ruth y Manuel, quienes han sido para mí como segundos padres. Su apoyo constante, cariño y sabios consejos han sido pilares fundamentales. Les agradezco profundamente por acompañarme en este camino.

A mis primos, Melany, Yordan y Emerson, quienes han sido como hermanos mayores con los que me crié. Gran parte de la persona que soy se los debo a su influencia y ejemplo constante. Su apoyo, guía y cariño han sido un sostén invaluable.

A mi tío Juan Carlos, figura inquebrantable, que con su entrega silenciosa ha demostrado que la verdadera fuerza está en el apoyo desinteresado.

A mis amigas, Maria Belen y Fernanda, con quienes he compartido incontables momentos que transformaron mi camino. Por ser la compañía constante en los cambios y desafíos, por su apoyo incondicional y por inspirarme a crecer cada día.

A todos ustedes, cuyo amor, ejemplo y compañía han sido más que apoyos: han sido raíces profundas y alas firmes en este viaje.

Karen Yamile Abt Calle

AGRADECIMIENTOS

Con humildad y gratitud, reconozco a Dios como la fuente de fortaleza y guía en cada paso de este camino académico y personal.

A mi familia, por su infinito amor, respaldo constante y firmeza inquebrantable fueron el sostén invisible que me permitió avanzar cuando las dificultades parecían insuperables.

A mis amigos, por ser el refugio donde encontré apoyo y verdad, por recordarme que el camino se enriquece no solo con metas alcanzables, sino con las experiencias vividas junto a quienes eligen acompañarnos sin condiciones.

A los docentes que me acompañaron durante esta etapa con sus consejos y perseverancia infinita, con un especial reconocimiento a la Dra. Gabriela Castro, cuya confianza y apoyo fueron fundamentales para abrirme las puertas y permitirme contar con la valiosa asesoría del Dr. Wilfredo Escalante. A ambos agradezco profundamente su guía, paciencia y estímulo, que resultaron determinantes para alcanzar esta meta.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron para que hoy pueda celebrar este logro. Este trabajo es reflejo del esfuerzo conjunto y de la dedicación compartida.

Karen Yamile Abt Calle



EPÍGRAFE

“Una sola sonrisa auténtica puede transformar una vida, porque transmite lo que ninguna medicina logra: esperanza.”

-Daisaku Ikeda

RESUMEN

Introducción. Este estudio se enfoca en la evaluación del Biodentine (BD), un material biocerámico y bioactivo empleado como sustituto de dentina en terapias pulpares vitales. Dada su importancia clínica, se busca mejorar sus propiedades adhesivas mediante la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) al 2%. Esta modificación pretende optimizar la unión entre el BD y los sistemas adhesivos, favoreciendo una adhesión más eficaz y duradera en aplicaciones restaurativas.

Objetivos. Evaluar la resistencia de unión del sistema adhesivo universal *Scotchbond Universal Plus*, aplicado en estrategia *self-etch*, sobre Biodentine modificado con nBG, y compararlo con Biodentine convencional y el adhesivo *Adper Single Bond* como control.

Materiales y Métodos. Se confeccionaron 40 bloques cilíndricos de resina acrílica con un agujero con una profundidad de 2 mm y un diámetro de 4 mm, los espacios fueron obturados utilizando Biodentine, aplicándolo según las recomendaciones del fabricante. Los especímenes se almacenaron durante una semana a 37° C y 100% de humedad para facilitar el fraguado.

Posteriormente, se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos (n=10), según el tipo de Biodentine (modificado o convencional) y el adhesivo utilizado (*Scotchbond Universal Plus* o *Adper Single Bond*). Se realizaron pruebas de resistencia de unión y análisis de profundidad de fractura. Los datos fueron analizados estadísticamente con pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk), homogeneidad de varianzas (Levene), ANOVA u pruebas post hoc (Tukey y Games-Howell).

Resultados. Se encontraron diferencias significativas en la resistencia de unión y profundidad de fractura entre los grupos. El grupo con Biodentine modificado y adhesivo *Scotchbond Universal Plus* mostro una resistencia significativamente mayor en comparación con Biodentine convencional con el mismo adhesivo ($p > 0,05$). No se observaron diferencias significativas entre el Biodentine modificado y convencional al utilizar *Adper Single Bond*. Las fracturas fueron predominantemente de tipo cohesivo dentro del Biodentine en todos los grupos. En cuanto a la profundidad de fractura, el grupo con Biodentine modificado y adhesivo *Adper Single Bond* presentó los valores más bajos de penetración.

Conclusiones. La incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo mejora la resistencia de unión del Biodentine con adhesivos universales aplicados en modo self-

etch. Además, la combinación del material modificado y el tipo de adhesivo influye en la microestructura y comportamiento frente a fracturas. Estos hallazgos sugieren que el Biodentine modificado podría optimizar tratamientos de terapia pulpar vital, favoreciendo restauraciones más duraderas y biocompatibles.

Palabras clave: Biodentine (BD), vidrio bioactivo, adhesivo universal, resistencia de unión, terapia pulpar vital.



ABSTRACT

Introduction. This study focuses on the evaluation of Biodentine (BD), a bioceramic and bioactive material used as a dentin substitute in vital pulp therapies. Given its clinical relevance, the research aims to enhance its adhesive properties through the incorporation of 2% bioactive glass nanoparticles (nBG). This modification seeks to improve the bond between BD and adhesive systems, promoting more effective and durable adhesion in restorative applications.

Objectives. To evaluate the bond strength of the universal adhesive system *Scotchbond Universal Plus*, applied in self-etch mode, on Biodentine modified with nBG, and compare it with conventional Biodentine and *Adper Single Bond* adhesive as a control.

Materials and Methods. Forty cylindrical acrylic resin blocks were prepared, each with a hole measuring 2 mm in depth and 4 mm in diameter. These holes were filled with Biodentine according to the manufacturer's instruction. The specimens were stored at 37° C and 100% humidity to allow for setting. They were then randomly divided into four groups (n=10), based on the type of Biodentine (modified or conventional) and the adhesive used (*Scotchbond Universal Plus* or *Adper Single Bond*). Bond strength tests and fracture depth analyses were performed. Data were statistically analyzed using normality test (Shapiro-Wilk), homogeneity of variance test (Levene), ANOVA, and post hoc test (Tukey and Games-Howell).

Results. Significant differences were found in bond strength and fracture depth among groups. The group with modified Biodentine and *Scotchbond Universal Plus* showed significantly higher bond strength compared to the conventional Biodentine group using the same adhesive ($p < 0.05$). No significant differences in adhesion were observed between modified and conventional Biodentine when using *Adper Single Bond*. Fractures were predominantly cohesive within the Biodentine in all groups. Regarding fracture depth, the group with modified Biodentine and *Adper Single Bond* showed the lowest penetration values.

Conclusions. The incorporation of bioactive glass nanoparticle enhances the bond strength of Biodentine when using universal adhesives in self-etch mode. Furthermore, the combination of the modified material and the type of adhesive influences the microstructure and fracture behavior. These findings suggest that modified Biodentine could improve vital pulp therapy outcomes by promoting more durable and biocompatible restorations.

Keywords: Biodentine (BD), bioactive glass, universal adhesive, bond strength, vital pulp therapy.



ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
EPÍGRAFE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	2
1. Determinación del problema.....	3
2. Pregunta de Investigación.....	4
3. Justificación.....	4
4. Objetivos.....	5
5. Marco Conceptual.....	6
6. Antecedentes Investigativos.....	23
7. Hipótesis.....	26
CAPÍTULO II.....	27
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL.....	27
1. Diseño Metodológico.....	28
2. Muestra.....	28
3. Tabla de Variables.....	30
4. Técnicas y Procedimientos.....	31
5. Plan de Análisis.....	32
6. Consideraciones Éticas.....	32
7. Recursos.....	34
8. Cronograma.....	35
CAPÍTULO III.....	36
RESULTADOS.....	36
1. Resultados.....	37
2. Discusión.....	43
3. Conclusiones.....	47

4. Recomendaciones.....	48
5. Referencias Bibliográficas.....	49
ANEXOS.....	52
ANEXO 1: Herramienta de registro de variables.....	53
ANEXO 2: Evaluación del patrón de fractura.....	54
ANEXO 3: Análisis de Profundidad de la Fractura.....	56
ANEXO 4: Registro Fotográfico.....	58

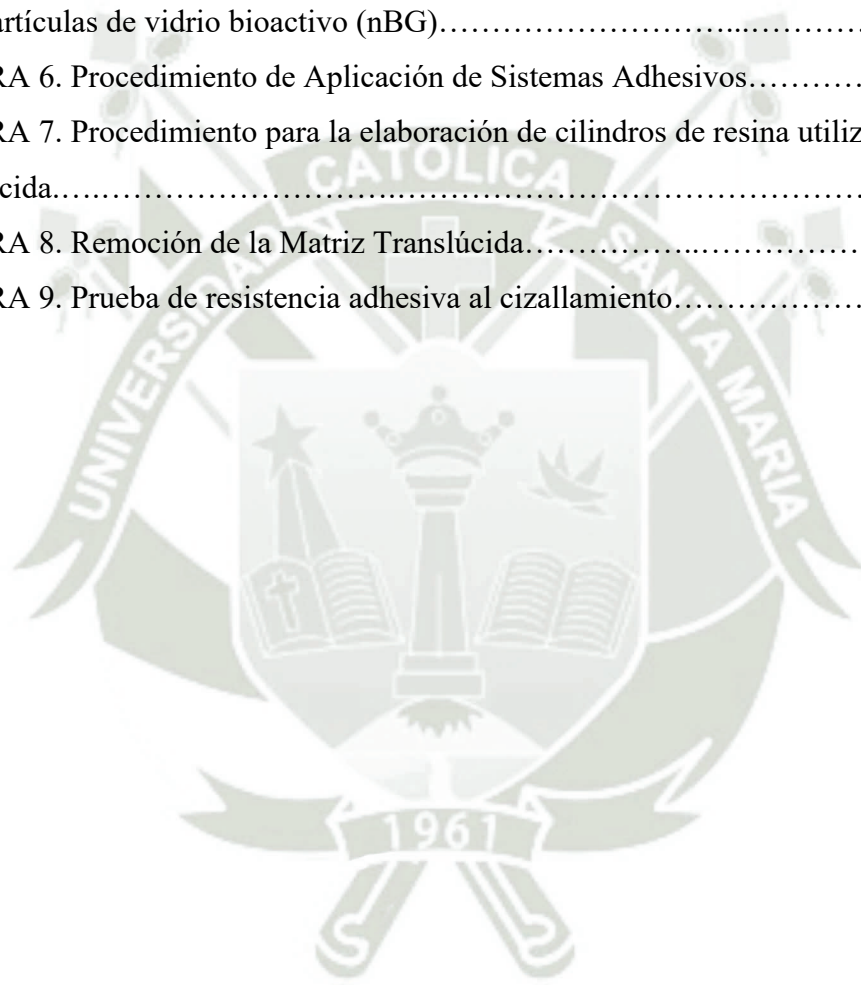


ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Composición general de los Sistemas Adhesivos Universales.....	7
TABLA 2. Componentes del Biodentine.....	15
TABLA 3. Comparativa de las propiedades del Biodentine con respecto a otros materiales.....	15
TABLA 4. Variables del estudio con sus respectivos indicadores, unidades de medida y escalas de análisis.....	30
TABLA 5. Evaluación de los costos involucrados en la ejecución del estudio.....	34
TABLA 6. Cronograma de trabajo.....	35
TABLA 7. Análisis Post Hoc de Tukey sobre la Resistencia de Unión.....	37
TABLA 8. Promedio, desviación estándar y rangos de confianza para los valores de resistencia de unión (MPa) en los diferentes grupos evaluados.....	38
TABLA 9. Prueba Post Hoc de Tukey – Profundidad de fractura.....	40
TABLA 10. Valor promedio, desviación estándar e intervalos de confianza al 95% de la profundidad de la fractura (μm) según grupo experimental.....	41
TABLA 11. Datos de Resistencia de Unión.....	53
TABLA 12. Distribución de Tipo de Fractura Observado.....	53
TABLA 13. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 1.....	54
TABLA 14. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 2.....	54
TABLA 15. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 3.....	55
TABLA 16. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 4.....	55
TABLA 17. Determinación de la profundidad de la fractura en las muestras correspondientes a los Grupos 1 y 2.....	56
TABLA 18. Determinación de la profundidad de la fractura en las muestras correspondientes a los Grupos 3 y 4.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Aplicaciones clínicas de Biodentine en odontología.....	19
FIGURA 2. Diagrama representativo de los especímenes de ensayo.....	29
FIGURA 3. Gráfico comparativo de los grupos analizados.....	39
FIGURA 4. Gráfico ilustrativo de los grupos analizados.....	42
FIGURA 5. Aplicación de Biodentine en su forma convencional y modificada con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG).....	58
FIGURA 6. Procedimiento de Aplicación de Sistemas Adhesivos.....	58
FIGURA 7. Procedimiento para la elaboración de cilindros de resina utilizando matriz translúcida.....	59
FIGURA 8. Remoción de la Matriz Translúcida.....	59
FIGURA 9. Prueba de resistencia adhesiva al cizallamiento.....	60



INTRODUCCIÓN

El éxito de los tratamientos restaurativos depende de una adhesión eficaz entre los materiales y las estructuras dentales. Biodentine (BD) es un biocerámico bioactivo diseñado como sustituto permanente de la dentina, ampliamente utilizado en terapias pulpares vitales por su biocompatibilidad, capacidad de sellado y propiedades regenerativas (1–4). Su composición incluye silicato en solución acuosa (2,3).

Los cementos de silicato de calcio (CSCs), como el BD, se utilizan en recubrimientos pulpares directos e indirectos, así como en pulpectomías, debido a su comportamiento biológico y mecánico favorable (4,5). Aunque el BD muestra ventajas frente a otros biomateriales como el MTA, su comportamiento adhesivo con resinas compuestas aun presenta limitaciones (2,6).

En odontología restauradora contemporánea, los sistemas adhesivos universales permiten diferentes modos de aplicación, como de autograbado (SE), grabado y enjuague (ER), o el grabado selectivo, ofreciendo mayor versatilidad clínica (7–9). Sin embargo, su desempeño puede variar según el sustrato y la técnica empleada.

Los vidrios bioactivos (BG) destacan por su capacidad de liberar iones y formar hidroxiapatita, promoviendo la reparación de tejidos duros y blandos. La incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) en materiales como el BD ha mostrado resultados prometedores, aunque su impacto en la resistencia adhesiva no ha sido suficientemente evaluado (10–12).

Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar la resistencia de unión proporcionado por el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado mediante estrategia autograbante (self-etch), sobre Biodentine modificado con un 2% de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD). Se plantea como hipótesis que dicha modificación no produce diferencias significativas en la resistencia de unión al cizallamiento (13).



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO TEÓRICO

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1. Determinación del Problema

Las terapias pulpares vitales (TPV), dentro del campo de la endodoncia, han experimentado una evolución significativa en los últimos años. Estas incluyen procedimientos como el recubrimiento pulpar directo e indirecto, la pulpotomía parcial y completa, así como una familia emergente de terapias pulpares regenerativas (11). En este contexto, el uso de materiales biocerámicos como el Biodentine (BD) ha cobrado relevancia por su biocompatibilidad, bioactividad y su capacidad de inducir la formación de dentina terciaria, contribuyendo así a la preservación de la pieza dental como unidad funcional (5).

Durante la revisión bibliográfica especializada se identificó que, si bien el BD presenta ventajas importantes frente a otros cementos a base de silicato de calcio (CSC), como el MTA – incluyendo un tiempo de fraguado más rápido, mejor capacidad de sellado, mayor resistencia a la compresión y menor propensión a la decoloración coronal (15), su desempeño adhesivo con los sistemas actuales aún presenta limitaciones. Esta problemática es particularmente relevante al considerar su uso como sustituto de dentina en procedimientos restaurativos, donde una adhesión eficaz es crucial para la longevidad del tratamiento.

Para abordar esta deficiencia, han surgido estudios experimentales que proponen la modificación del BD mediante la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG), buscando potenciar su interacción con los sistemas adhesivos y, por ende, mejorar su comportamiento clínico. No obstante, la información al respecto sigue siendo limitada, especialmente en lo que refiere a la resistencia de unión al cizallamiento en combinación con diferentes tipos de adhesivos.

El presente proyecto surge, entonces, de la necesidad detectada en la literatura científica y en la práctica clínica de optimizar la adhesión del BD. Se propone evaluar la resistencia al cizallamiento del BD modificado con nBG al 2% (nBG/BD) al ser combinado con dos sistemas adhesivos de uso frecuente: Scotchbond Universal Plus (tecnología self-etch) y Adper Single Bond 2 (de un solo componente con nanorelleno estable). Esta investigación busca aportar evidencia comparativa relevante sobre la efectividad adhesiva de estos sistemas, complementando así los

hallazgos de estudios previos y generando conocimiento aplicable a futuras prácticas clínicas.

2. Pregunta de investigación

¿Cuál es la resistencia de unión del sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus en estrategia self-etch aplicado sobre Biodentine con y sin modificación con vidrio bioactivo?

3. Justificación

El éxito clínico a largo plazo de los tratamientos restaurativos en odontología depende en gran medida de la adhesión eficaz entre los materiales restauradores y los tejidos dentales. En este contexto, la búsqueda de materiales con mejores propiedades adhesivas, biológicas y mecánicas se ha vuelto una prioridad de la investigación odontológica contemporánea.

El BD ha demostrado ser un material prometedor dentro de las terapias pulpares vitales (TPV) por su alta biocompatibilidad, capacidad de bioestimulación pulpar y formación de dentina terciaria. Sin embargo, su comportamiento adhesivo presenta limitaciones cuando se emplea en combinación con sistemas adhesivos, lo que puede comprometer la integridad marginal y la longevidad de las restauraciones. Esta debilidad justifica la necesidad de explorar modificaciones que potencien su rendimiento clínico, especialmente en situaciones donde el BD actúa como sustituto directo de la dentina.

La incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) al BD representa una alternativa innovadora con potencial para mejorar la resistencia de unión al tejido dentario, gracias a sus propiedades bioactivas, como la liberación sostenida de iones cálcicos y fosfatos, su capacidad remineralizante, y su efecto sobre la formación de una capa interfacial híbrida más estable. Estas características podrían favorecer una mejor interacción química y micromecánica entre el BD y los sistemas adhesivos utilizados, en especial aquellos basados en la estrategia self-etch, ampliamente empleada por su simplicidad clínica y eficacia comprobada.

Aunque existen estudios sobre la resistencia de unión de diversos materiales bioactivos, son escasos los trabajos que abordan el comportamiento adhesivo del BD modificado con nBG bajo condiciones estandarizadas, lo que revela una brecha en el conocimiento actual. Por tanto, esta investigación busca contribuir al cuerpo de

evidencia científica, evaluando comparativamente la resistencia al cizallamiento del sistema adhesivo universal *Scotchbond Universal Plus* frente al adhesivo *Adper Single Bond* sobre el BD modificado, con el fin de determinar si esta modificación mejora la adhesión sin comprometer otras propiedades clínicas esenciales.

Desde el punto de vista práctico, este estudio es factible, ya que se dispone de los materiales necesarios, acceso a laboratorios debidamente equipados, metodologías estandarizadas y personal capacitado para su ejecución. Además, su desarrollo se enmarca en las líneas de investigación institucionales y puede realizarse dentro del plazo académico significativo, orientando la elección de materiales y protocolos restaurativos más predecibles, especialmente en procedimientos conservadores y mínimamente invasivos que promueven la preservación pulpar y estructural del diente.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Evaluar la resistencia de unión del sistema adhesivo universal aplicado en estrategia self-etch al Biodentine modificado con vidrio bioactivo al 2% (nBG/BD).

4.2. Objetivos Específicos:

- Evaluar la resistencia de unión mediante el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia *self-etch*, sobre Biodentine modificado y no modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo, mediante ensayo de cizallamiento.
- Evaluar la resistencia de unión del sistema adhesivo Adper Single Bond (grupo control) sobre Biodentine modificado y no modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo, mediante ensayo de cizallamiento.
- Analizar la influencia de la integración de nanopartículas de vidrio bioactivo en la formulación del Biodentine sobre el comportamiento adhesivo de sistemas universales empleando estrategia self-etch.

MARCO CONCEPTUAL Y ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

5. Marco Conceptual y Antecedentes investigativos

5.1. Sistema Adhesivo Universal

a. Concepto.

Los sistemas adhesivos universales (UAs) representan la generación más reciente de adhesivos dentales y se caracterizan por su versatilidad, ya que pueden aplicarse en tres métodos: grabado total (E&R), autograbado (SE) y grabado selectivo del esmalte. Esta flexibilidad permite su utilización en diversos contextos clínicos, adaptándose a las necesidades específicas de cada procedimiento (7).

Se definen como adhesivos versátiles que permiten su aplicación con diferentes técnicas de grabado, tales como el grabado total, el autograbado o grabado selectivo, lo cual simplifica los procedimientos adhesivos en la práctica clínica (8,9). Esta versatilidad se refleja también en su formulación, ya que pueden presentarse como una solución única que combina imprimador y adhesivo, o como un sistema de dos pasos, según el producto específico (7).

Gracias a estas características, los UAs pueden emplearse en diferentes modos clínicos, permitiendo su aplicación en múltiples superficies dentales y con una amplia variedad de materiales restauradores. Esto incrementa notablemente su funcionalidad en odontología restauradora (14). Además, en la actualidad, los vidrios bioactivos están siendo incorporados en sistemas adhesivos universales, ampliando aún más su campo de acción, ya que mantienen su compatibilidad con las técnicas de autograbado, grabado selectivo o grabado total (16).

b. Composición.

La composición general de los sistemas adhesivos universales incluye monómeros funcionales que permiten una adhesión efectiva tanto en esmalte como en dentina, en la Tabla 1 se muestra los componentes con sus respectivos ejemplos y funciones (7). Estos sistemas contienen componentes que favorecen la adhesión química y micromecánica, además de solventes y fotoiniciadores que facilitan su desempeño (8). En este estudio se utilizó

Clearfil Universal Bond, cuyo perfil composicional incluye monómeros funcionales como el 10-MDP, solventes como agua y etanol, y una combinación de monómeros hidrofílicos e hidrofóbicos, lo que permite una buena interacción con la dentina (9).

Los adhesivos universales se caracterizan principalmente por contener monómeros funcionales clave, siendo el 10-MDP el más relevante debido a su capacidad para facilitar la adhesión química a la hidroxiapatita dental. Asimismo, incluyen solventes como agua, etanol o acetona, y en algunos casos, monómeros como el HEMA, aunque existen variantes libres de este componente para mejorar la estabilidad del adhesivo (14).

TABLA 1. Composición General de los Sistemas Adhesivos Universales.

Componente	Ejemplos	Función
Monómeros funcionales	10-MDP, 4-MET, 3D-SR, HEMA, bis-GMA, UDMA	Unión química con hidroxiapatita y matriz de colágeno dentinario.
Iniciadores de polimerización	Camforquinona (CQ), peróxido de benzoilo	Activan la polimerización (foto o autocurado)
Disolventes	Acetona, agua, etanol	Facilitan la infiltración del adhesivo en dentina humedecida
Silano	γ -MPTES (en SBU _p y TUBII)	Promueve adhesión química a cerámicas vítreas.
Carga inorgánica	Sílice y dióxido de titanio.	Mejora propiedades mecánicas y manipulación

c. Propiedades.

Los sistemas adhesivos universales se caracterizan por su aplicación en diferentes modos, ya sea autograbado o grabado y enjuague, mostrando buena resistencia de unión en dentina y compatibilidad con cementos de curado dual o autopolimerizables. Además, ofrecen una mejor adhesión a

cerámicas cuando se utiliza grabado con ácido fluorhídrico, lo que resalta la importancia del protocolo de aplicación en su desempeño (7).

Estos sistemas presentan una alta capacidad adhesiva tanto en esmalte como en dentina, favoreciendo una unión efectiva con los tejidos duros del diente. Su versatilidad permite su aplicación mediante diferentes técnicas de grabado – total, autograbado o grabado selectivo – adaptándose así a diferentes situaciones clínicas. De manera destacada, contribuyen a la reducción de la sensibilidad postoperatoria, especialmente al usarse en técnica de autograbado, al minimizar la exposición de los túbulos dentinarios. Asimismo, ofrecen buena estabilidad y resistencia al envejecimiento, lo que garantiza la durabilidad de la adhesión a largo plazo(8).

Otro aspecto importante es la presencia del monómero funcional 10-MDP en su composición, que le confiere una alta afinidad química con la hidroxiapatita de la dentina, favoreciendo una unión estable y duradera. Además, posee estabilidad química y la capacidad de formar una capa híbrida efectiva, mejorando así la resistencia adhesiva. Su presentación en un solo frasco facilita su manejo y aplicación clínica, optimizando los tiempos y procedimientos durante el tratamiento restaurador (9).

Los sistemas universales permiten la formación de una capa híbrida estable sobre la dentina, combinando adhesión química y micromecánica. La presencia del monómero MDP es fundamental para asegurar una adhesión duradera, aunque la eficacia y durabilidad pueden variar según la composición y el modo de aplicación empleado (14).

Por último, las propiedades destacadas de los sistemas adhesivos que contienen vidrio bioactivo incluyen su capacidad para estimular la remineralización de la dentina, mejorar las propiedades mecánicas del tejido dentario y favorecer el sellado marginal gracias a su actividad bioactiva. Estas características los posicionan como materiales prometedores para mejorar la longevidad y efectividad de las restauraciones dentales (16).

d. Importancia clínica.

La importancia clínica de los adhesivos universales radica en su versatilidad en los modos de aplicación y en su alto rendimiento en modo de grabado y

enjuague (E&R). Se ha demostrado una adhesión efectiva tanto a dentina como a cerámicas, especialmente cuando se utiliza ácido fluorhídrico. Además, su integración con cementos compuestos no compromete la resistencia de unión, y contenido de silano presente en algunos UAs permite prescindir de primers separados en cerámicas vítreas (7).

Estos materiales contribuyen a simplificar el protocolo clínico al posibilitar el uso de un solo producto adaptable a diferentes situaciones, lo que mejora la eficacia general del procedimiento y reduce la probabilidad de errores en la aplicación (8). El Clearfil Universal Bond, por ejemplo, ha mostrado una buena resistencia adhesiva a dentina bovina incluso sin grabado previo; sin embargo, se ha observado en tiempos breves de grabado ácido pueden optimizar su eficacia. Esto indica un desempeño confiable y eficiente en contextos clínicos diversos, aportando seguridad al tratamiento restaurador(9).

La flexibilidad de uso los hace especialmente valioso para diferentes situaciones clínicas, permitiendo que el odontólogo ajuste el protocolo según las características del sustrato dentinario y del esmalte. Sin embargo, el rendimiento a largo plazo depende del producto y la técnica empleada (14). Su uso puede ayudar en la prevención de la caries secundaria y prolongar la longevidad de las restauraciones al inducir la formación de apatita en la interfase adhesiva (16).

5.2. Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus

a. Concepto.

Scotchbond Universal Plus es una versión avanzada del adhesivo universal Scotchbond Universal, desarrollada para mejorar la compatibilidad clínica y la durabilidad. Está diseñado para usarse en varios modos de aplicación, adaptándose a diferentes situaciones clínicas y materiales restauradores (7). Se trata de un adhesivo universal de un solo componente, que puede aplicarse en modo autograbado, grabado selectivo o grabado total, lo que facilita su uso en una amplia gama de procedimientos clínicos y mejora la conveniencia para el operador (14). Gracias a su versatilidad, Scotchbond Universal Plus permite una adhesión eficaz a todos los sustratos dentales sin necesidad de primers adicionales ni de silano separado (17).

b. Composición.

Scotchbond Universal Plus está formulado con MDP, un monómero funcional que permite una unión química fuerte con la dentina y el esmalte. A diferencia de muchos adhesivos tradicionales, no contienen Bis-GMA, lo que significa que está libre de derivados del BPA, un compuesto que ha generado preocupaciones por su posible toxicidad. Tampoco contiene HEMA, un ingrediente común en otros adhesivos que puede absorber agua y comprometer la estabilidad del material a largo plazo. Además, este adhesivo incorpora partículas de sílice y zirconia, que ayudan a mejorar su estabilidad química y durabilidad (7). Este adhesivo contiene el monómero funcional 10-MDP, menor cantidad de HEMA comparado con versiones anteriores, Vitrebond copolymer y solventes como etanol y agua. Esta composición busca equilibrar adhesión y estabilidad (14). Contiene el monómero funcional 10-MDO, que permite una adhesión química duradera a la dentina, esmalte, metales y cerámicas. Incorpora silano prehidrolizado, lo que elimina la necesidad de aplicarlo por separado en restauraciones indirectas, e integra un innovador monómero radiopaco exclusivo que permite visualizar el adhesivo en radiografías sin confundirlo con caries recurrentes. Está libre de BisGMA y derivados del BPA, mejorando su biocompatibilidad. Además, utiliza un sistema solvente de agua y etanol, que favorece la humectación y la penetración en los túbulos dentinarios (18,19).

c. Propiedades:

Scotchbond Universal Plus es un adhesivo con alta compatibilidad con diferentes sustratos dentales y materiales restaurativos, mantiene una resistencia de unión a la dentina adecuada tanto en el modo de grabado y enjuague (E&R) como en el de autograbado (SE). En particular, en modo SE, su resistencia de unión es comparable a la obtenida con grabado ácido previo, lo que valida su efectividad en procedimientos clínicos mínimamente invasivos (7).

No obstante, en el estudio, este adhesivo presentó la resistencia de unión más baja entre los adhesivos evaluados, con un valor promedio de 24.78 MPa. Esta disminución podría estar relacionada con la presencia de HEMA en su composición, ya que este monómero puede incrementar la absorción

de agua y comprometer la estabilidad polimérica, reduciendo así la durabilidad de la unión (14).

Una de las ventajas de Scotchbond Universal Plus es su radiopacidad, que es comparable a la de la dentina, lo que facilita la interpretación radiográfica y permite diferenciar con claridad entre el material restaurador y posibles lesiones cariosas o vacíos (17). Su fórmula contiene una sal metálica especial que asegura compatibilidad con cementos duales sin requerir un activador adicional, simplificando el protocolo clínico (19).

Este adhesivo también ofrece alta resistencia de unión tanto en esmalte como en dentina, independientemente de si están sanos o afectados por caries, lo que favorece la durabilidad de las restauraciones (20). Además, evaluaciones clínicas han demostrado una baja incidencia de sensibilidad postoperatoria, con un 99% de los pacientes sin síntomas, lo que respalda aún más su eficacia clínica (17).

d. Importancia clínica.

Desde el punto de vista clínico, Scotchbond Universal Plus se destaca por su facilidad de uso y su rendimiento constante en distintos protocolos adhesivos. Su versatilidad para adaptarse a distintos sustratos y su capacidad de mantener una unión efectiva sin necesidad de grabado ácido lo convierte en una opción segura y eficiente. Esto resulta especialmente útil en situaciones donde se desea minimizar la técnica operativa sin comprometer la adhesión, favoreciendo así procedimientos clínicos más conservadores y predecibles (7). La facilidad de uso y adaptabilidad del producto lo hacen adecuado para múltiples aplicaciones clínicas. No obstante, se recomienda seguir estrictamente el protocolo de aplicación para maximizar su desempeño, especialmente en casos donde se aplica sobre dentina grabada (14).

Scotchbond Universal Plus permite realizar procedimientos más conservadores, ya que se adhiere eficazmente a la dentina afectada por caries sin requerir su remoción agresiva, favoreciendo así los principios de la odontología mínimamente invasiva (21). Su radiopacidad, similar a la de dentina facilita la detección de caries secundarias y reduce errores diagnósticos en controles radiográficos (22). Además, en estudios clínicos

demonstró un 100% de retención en restauraciones Clase I y II a los 12 meses, lo que respalda su desempeño clínico en restauraciones directas (23).

5.3. Sistema Adhesivo Adper Single Bond

a. Concepto.

El AdperTM Single Bond es un adhesivo dental monocomponente, fotopolimerizable, de quinta generación, diseñado para técnicas de grabado total, que ofrece una unión efectiva tanto en esmalte como en dentina. Incorpora una tecnología de nanorelleno que mejora la estabilidad del adhesivo y su rendimiento clínico (24).

b. Composición.

La composición química de AdperTM Single Bond incluye una mezcla de monómeros como Bis-GMA, HEMA y otros dimetacrilatos, que constituyen la matriz polimérica responsable de las propiedades mecánicas del adhesivo. Como sistema disolvente, emplea una combinación de etanol y agua, lo que permite una evaporación más controlada y facilita la penetración en la dentina húmeda, mejorando la eficiencia clínica. Además, incorpora un copolímero funcional derivado del ácido poliacrílico, que optimiza la tolerancia a la humedad y favorece una adhesión más confiable en sustratos dentinarios complejos. Una característica distintiva de este sistema adhesivo es la inclusión de nanorellenos de sílice de aproximadamente 5 nanómetros, presente en un 10% en peso, disperso de manera homogénea en la solución, lo cual evita la sedimentación y garantiza una mezcla estable durante el uso clínico (24–26).

c. Propiedades.

Entre las principales propiedades del AdperTM Single Bond se destaca su alta resistencia de unión tanto al esmalte como a la dentina, lo que garantiza una adhesión duradera y efectiva en distintas condiciones clínicas. La incorporación de nanorelleno contribuye a mantener la estabilidad del adhesivo, evitando la separación de fases y asegurando una distribución homogénea del material. Asimismo, este sistema adhesivo ha demostrado reducir significativamente la sensibilidad postoperatoria, mejorando el

confort del paciente tras el procedimiento restaurador. Otra ventaja relevante es su amplia versatilidad, ya que puede ser utilizado eficazmente en restauraciones directas e indirectas, adaptándose a diversas situaciones clínicas sin comprometer su desempeño (24–27).

d. Importancia clínica.

AdperTM Single Bond ha demostrado gran eficiencia clínica por su facilidad de aplicación, capacidad de adaptación a diversas condiciones de humedad, reducción en la sensibilidad postoperatoria y compatibilidad con distintos procedimientos restauradores. Esto lo convierte en un adhesivo confiable y eficiente en la práctica odontológica diaria (25,27,28).

5.4. Biodentine

a. Concepto.

Biodentine (BD) es un cemento de trisilicato de calcio bioactivo, diseñado para aplicaciones en restauraciones y terapia pulpar, por su capacidad de inducir dentina reparativa y mantener la vitalidad pulpar (1). Este material, desarrollado bajo el enfoque de odontología mínimamente invasiva, está destinado a ser utilizado en restauraciones dentales y procedimientos conservadores como el recubrimiento pulpar directo (2).

El BD, como material bioactivo basado en silicato, se ha consolidado como una alternativa moderna a los cementos tradicionales como el MTA, destacándose por su favorable desempeño clínico y su capacidad para inducir respuestas biológicas positivas en el tejido dental (3). Además, se presenta como un biocerámico bioactivo que actúa como un sustituto de la dentina, con aplicaciones tanto en odontología restauradora como en endodoncia, especialmente en procedimientos que requieren de un sellado hermético y estimulación de tejidos (4).

Este cemento basado en silicato de calcio fue desarrollado como una alternativa mejorada al MTA, caracterizándose por imitar las propiedades de la dentina. Su principal uso se da en procedimientos de recubrimiento pulpar directo, debido a sus mejores propiedades físico-químicas y menor tiempo de fraguado en comparación con el MTA (5).

En el ámbito de la endodoncia regenerativa, el BD se utiliza como material

de barrera tras la inducción de un coágulo sanguíneo en el conducto radicular, con el objetivo de sellar el acceso coronario. Este sellado es esencial dentro del protocolo clínico para fomentar la curación periapical y la posible recuperación de la vitalidad dental en dientes con ápices cerrados y necrosis pulpar (6).

Se trata de un material dentinario bioactivo que promueve la formación de dentina reparativa y la curación dentinaria, especialmente en terapias pulpares vitales (11).

En el contexto de la odontología restauradora, el BD favorece la reparación y regeneración del tejido dental, actuando como un sustituto dentinario que favorece la remineralización y la salud dental (29).

Finalmente, el BD fue diseñado para superar las limitaciones del MTA, ofreciendo mejores propiedades físicas y de manipulación. Su formulación a base de silicato tricálcico y su amplio espectro de aplicaciones lo posicionan como un material bioactivo de elección en odontología restauradora y endodóntica (15).

b. Composición.

La composición del BD se basa en una mezcla de polvo y líquido que, al combinarse, forman una pasta de fácil aplicación en el entorno clínico. El polvo contiene silano tricálcico como componente principal, junto con silicato dicálcico, carbonato de calcio y dióxido de circonio, este último actúa como agente radiopacador. Por su parte, el líquido consiste en una solución acuosa de cloruro de calcio, que actúa como acelerador del fraguado, y un agente hidrosoluble que mejora la manipulación y reduce la viscosidad del material (15).

Esta formulación le confiere propiedades hidráulicas y bioactivas, gracias a la reacción de hidratación que genera hidróxido de calcio, responsable de la elevada alcalinidad y actividad biológica del BD. A diferencia de otros materiales como el MTA, el BD no contiene aluminato de calcio, sulfato de calcio, ni óxido de bismuto, lo que reduce el riesgo de decoloración dental (2,3). Además, su presentación en cápsulas listas para mezclar facilita la dosificación precisa y estandariza su aplicación clínica (4,5).

El BD está clasificado como un material bioactivo comparable con el MTA, ya que libera iones de calcio durante su fraguado, lo que favorece su interacción con los tejidos dentinarios (6,11,29). En la Tabla 2, se resume los principales componentes del Biodentine (15):

TABLA 2. Componentes del Biodentine (BD) (15).

Polvo	Porcentaje
Silicato Tricálcico ($3CaO.SiO$)	80.1
Silicato Dicálcico ($2CaO.SiO_2$)	-
Carbonato de calcio ($CaCO_2$)	14.9
Dióxido de Zirconio (ZrO_2)	5

En cuanto a sus propiedades, el BD presenta un desempeño clínico notable en comparación con otros materiales utilizados en odontología restauradora. Según Simancas Escorcía et al. (15), en la Tabla 3 se comparan las propiedades del BD respecto a otros materiales bioactivos:

TABLA 3. Propiedades del Biodentine respecto a otros materiales (15).

Propiedades	Biodentine
Adaptación marginal y capacidad de sellado	Igual a cementos de ionómero de vidrio
Resistencia mecánica	Mayor que el Bioaggregate
Microdureza	Mayor que Fuji IX, Vitrebond, Bioaggregate, similar frente a IRM.
Solubilidad	Menor respecto al Bioggregate
Microfiltración	Igual al MTA, y OrthoMTA.
Fuerza de adhesión	Mayor que el MTA
Actividad antibacteriana y antifúngica	Mayor que el MTA y ionómero de vidrio
Biocompatibilidad	Mayor que el MTA y Bio-C Repair; Similar al MTA.

c. Propiedades

El BD presenta una serie de propiedades que lo posicionan como un material bioactivo de gran relevancia en odontología restauradora. Se caracteriza por su alta resistencia compresiva y flexural, bajo nivel de solubilidad, menor tiempo de fraguado que el MTA y un pH alcalino que ejerce efecto antimicrobiano al desnaturalizar proteínas y dañar estructuras celulares bacterianas (1). Cuando se expone a fluidos corporales, el BD forma una capa de apatita que estimula la regeneración dentinaria terciaria. Este material es biocompatible, no citotóxico y promueve la respuesta positiva de la pulpa, con un fraguado ocurre en aproximadamente 12 minutos. Su buena resistencia a la compresión, adaptabilidad marginal y facilidad de manipulación lo hacen clínicamente eficiente (2).

Una de las propiedades más destacadas del BD se encuentra su tiempo de fraguado reducido, lo cual representa una ventaja operativa frente a otros materiales similares. También sobresale por su alta biocompatibilidad, capacidad para inducir la formación de dentina reparativa, y su adecuada resistencia compresiva. A esto se suma su bajo potencial de decoloración, lo que lo convierte en una opción estética preferente en procedimientos donde la apariencia dental es crítica (3). Estas cualidades se complementan con su capacidad de sellado efectivo, especialmente a nivel del tercio cervical del conducto radicular, lo que resulta fundamental para evitar la contaminación del interior del diente. Su facilidad de manejo y la posibilidad de aplicarlo en una sola sesión clínica lo convierte en una solución eficiente(4).

Asimismo, se destaca su capacidad para evitar respuestas citotóxicas en los tejidos, estimular la formación de dentina reparativa, ofrecer un excelente sellado marginal y presentar buena resistencia mecánica. Su tiempo de fraguado más corto en comparación con otros cementos como el MTA facilita su uso clínico y mejora la eficiencia del tratamiento (5). Esta alta biocompatibilidad es esencial para su uso en procedimientos enfocados en la regeneración del tejido periapical. Además, su bioactividad promueve la curación de lesiones periapicales y favorecer el retorno de la sensibilidad dental. La capacitación de sellado del BD también lo hace apto como material de cobertura coronaria, ayudando a evitar la contaminación del

conducto (6).

El BD presenta una elevada bioactividad, ya que libera iones de calcio que estimulan la formación de dentina reparativa. Su alcalinidad, con un pH cercano a 12, le confiere propiedades antimicrobianas y facilita la cicatrización de los tejidos. Su sellado hermético previene filtraciones bacterianas y su excelente biocompatibilidad con los tejidos dentales pulpares lo hace ideal, tanto para restauraciones temporales como definitivas. A esto se suman su buena resistencia mecánica, un manejo clínico sencillo y un fraguado rápido, de aproximadamente 12 minutos (11). La liberación de iones de calcio también favorece la remineralización y la formación de nuevo tejido dentinario. Su buena tolerancia por el tejido pulpar y los tejidos circundantes, junto con su capacidad para soportar las fuerzas masticatorias, sellado marginal eficaz y corto tiempo de fraguado, refuerzan su utilidad como material restaurador (29). Finalmente, su rápida reacción de fraguado, buena resistencia compresiva, excelente sellado marginal, alta biocompatibilidad y capacidad para estimular la regeneración pulpar sin provocar inflamación lo consolidan como un sustituto eficiente de la dentina(15).

d. Importancia clínica

Clínicamente, el BD ha demostrado ser eficaz en diversos procedimientos odontológicos como los recubrimientos pulpares, restauraciones temporales, y reparaciones radiculares, gracias a su biocompatibilidad y bioactividad (1). Está indicado para recubrimiento pulpar directo e indirecto, pulpotomías, reparación de perforaciones radiculares, apexificación y como base cavitaria. Los estudios clínicos consultados han mostrado resultados positivos en la formación de puentes dentinarios, ausencia de inflamación severa y éxito clínico comparado con MTA y el hidróxido de calcio (2).

El BD destaca por su versatilidad en la práctica clínica, siendo utilizado en procedimientos como recubrimientos pulpares, sellado apical y restauraciones temporales o semipermanentes. Su menor potencial de causar decoloración en comparación con el MTA, lo hace especialmente adecuado para su uso en zonas estéticas, además de integrarse favorablemente con los tejidos dentales y promover la regeneración, lo que refuerza su utilidad en

terapias conservadoras (3).

En tratamientos de endodoncia regenerativa, BD representa una alternativa segura y efectiva, particularmente en dientes inmaduros con necrosis pulpar. Los casos clínicos revisados muestran su uso como material de sellado del coágulo sanguíneo en la porción cervical del conducto, lo que resultó en la formación de ápices cerrados, resolución de lesiones periapicales y mantenimiento funcional del diente, evidenciando su capacidad para estimular la cicatrización y la regeneración tisular (4).

Asimismo, BD es especialmente valioso en procedimientos de recubrimiento pulpar directo, ya que favorece la formación de puentes de dentina y una respuesta positiva del complejo dentino-pulpar, incluso en situaciones de exposición pulpar con inflamación leve. Su acción rápida, biocompatibilidad y buen sellado lo posicionan como material de elección en odontología restauradora mínimamente invasiva (5).

En términos de curación periapical y recuperación de la sensibilidad pulpar, BD ha mostrado resultados comparables al MTA, consolidándose como una alternativa clínica efectiva y predecible en tratamientos regenerativos de endodoncia, especialmente en dientes permanentes maduros. Su empleo puede evitar procedimientos invasivos, contribuyendo así a la conservación del diente tratado (6).

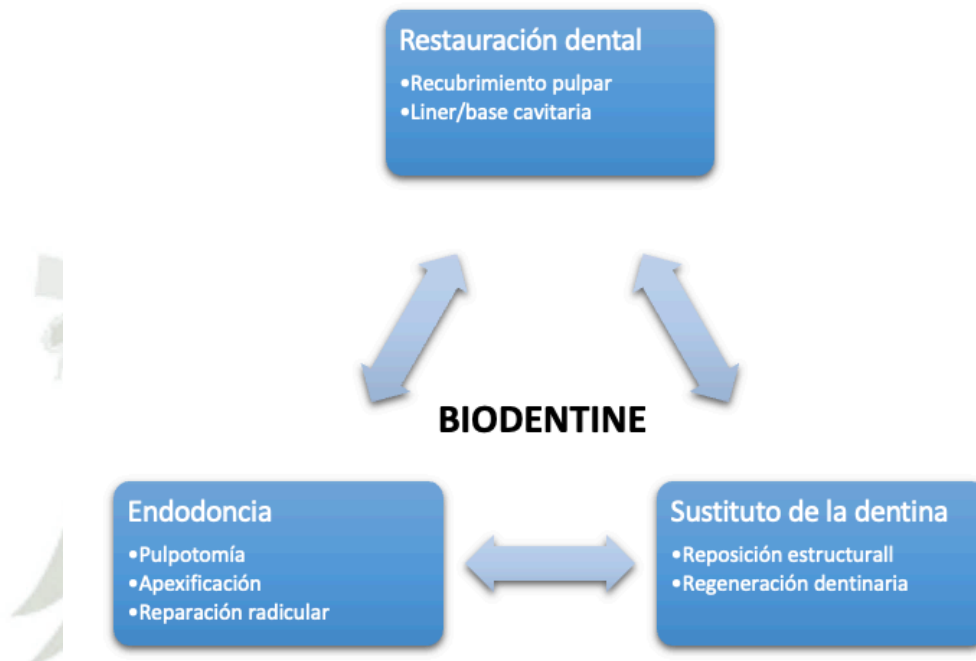
Como alternativa moderna al hidróxido de calcio y al MTA, BD se utiliza en múltiples terapias pulpares vitales como pulpectomías, protección pulpar directa, reparación de perforaciones y tratamiento de lesiones cariosas profundas. Su capacidad para inducir la formación de dentina reparativa de alta calidad favorece la recuperación del tejido pulpar, mejorando la tasa de éxito clínico. Además, su fácil manipulación y propiedades físico-químicas lo consolidan como un material confiable en odontología restauradora y en endodoncia (11).

En procedimientos donde se busca promover la reparación dentinaria y proteger la pulpa, BD constituye una opción valiosa por su capacidad de estimular la formación de tejido dentinario y su compatibilidad biológica. Esto repercute en una mayor longevidad del diente tratado y en un mejor pronóstico clínico (29).

Finalmente, BD se emplea como base cavitaria, en recubrimientos pulpares

y en procedimientos endodónticos como pulpotomías, perforaciones y apexificación. Su bioactividad y capacidad de integrarse con los tejidos lo posicionan como un sustituto funcional de la dentina(15).

FIGURA 1. Aplicaciones clínicas de Biodentine en odontología



5.5. Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo

a. Concepto.

El Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) es una versión avanzada que combina el trisilicato de calcio con nBG, potenciando su efecto bioactivo, remineralizante y protector frente a degradación tisular.

El vidrio bioactivo es un material utilizado en odontología restauradora con capacidad para interactuar con tejidos biológicos, estimulando respuestas positivas como la formación de hidroxiapatita y la remineralización (1).

El vidrio bioactivo es un material sintético que pertenece a la clase de biomateriales capaces de interactuar de forma específica con los tejidos biológicos, promoviendo una unión directa con el hueso y otros tejidos duros. Fue desarrollado inicialmente para aplicaciones médicas y quirúrgicas, destacando por su capacidad de integrarse con el tejido óseo sin formar una

cápsula fibrosa entre el material y el hueso (12).

Los materiales bioactivos modificados con nanopartículas buscan mejorar sus propiedades físico-químicas y su bioactividad para aplicaciones clínicas restauradoras (16).

b. Composición química.

El Biodentine modificado incorpora además de nBG, ricas en óxidos de silicio, calcio y fósforo, e incluso flúor, que amplifican la liberación iónica y la formación de hidroxiapatita o fluorapatita (1).

La composición de vidrio bioactivo se basa en una mezcla de dióxido de silicio (SiO_2), óxido de calcio (CaO), óxido de sodio (Na_2O) y fosfato (P_2O_5), cuyos porcentajes pueden variar según la formulación química específica, lo que a su vez influye en su grado de bioactividad y reactividad biológica. En este sentido, los vidrios pertenecientes a la familia 45S5 Bioglass destacan por su alto contenido de dióxido de silicio, aproximadamente un 45%, lo que les confiere una notable capacidad bioactiva y los convierte en materiales especialmente eficaces para aplicaciones en contacto con tejidos duros (12).

Al mezclar nanopartículas de vidrio bioactivo con materiales base (como los cementos bioactivos), se busca potenciar la liberación de iones (Ca, P, Si) y promover la mineralización (16).

c. Propiedades.

El vidrio bioactivo se caracteriza por su capacidad para liberar iones como calcio, sodio, fósforo y sílice los cuales favorecen la remineralización del tejido dental. Además, presenta una notable bioactividad que le permite formar una capa de hidroxiapatita similar a la estructura natural del diente cuando entra en contacto con fluidos fisiológicos. Estas propiedades también le confieren un efecto antimicrobiano, generado por cambios en el pH local y la liberación continua de iones que inhiben el crecimiento bacteriano (1).

El vidrio bioactivo se destaca principalmente por su bioactividad, es decir, su capacidad para formar una capa de apatita similar a la del hueso al entrar en contacto con fluidos biológicos, lo que permite una integración directa con el tejido óseo. Además, presenta osteoconductividad, facilitando el

crecimiento celular sobre su superficie, y estimula la regeneración tisular, promoviendo la reparación de hueso y dentina. Otra propiedad clave es su actividad antibacteriana, gracias a la liberación de iones que alteran el pH local, y su reabsorción controlada, que permite que el material se degrade gradualmente mientras es reemplazado por tejido regenerado. Estas características lo convierten en un biomaterial altamente funcional y clínicamente valioso (12).

Los materiales restauradores modificados con nanopartículas de vidrio bioactivo presentan propiedades notables como una mayor liberación iónica, lo que contribuye a un entorno más favorable para la regeneración tisular; además, potencian la inducción en la formación de hidroxiapatita, favoreciendo la integración con los tejidos dentarios, y ofrecen un posible efecto antibacteriano, que ayuda a reducir el riesgo de caries recurrente y mejorar la longevidad clínica del tratamiento restaurador (16).

d. Importancia clínica.

Clínicamente, el vidrio bioactivo juega un papel fundamental en la regeneración del tejido dentinario, ayudando a restaurar y fortalecer la estructura dental dañada. Su capacidad para mejorar el sellado marginal de las restauraciones reduce la filtración y el riesgo de caries recurrentes. Asimismo, cuando se combina con otros materiales restauradores como las resinas compuestas, el vidrio bioactivo aporta beneficios terapéuticos y mecánicos que contribuyen a la durabilidad y éxito a largo plazo de los tratamientos dentales (1).

La importancia clínica del vidrio bioactivo radica en su amplia aplicación en distintas áreas de la odontología, destacándose por su capacidad para interactuar activamente con los tejidos. En odontología restauradora, se utiliza como componentes de composites bioactivos, recubrimientos y cementos, contribuyendo a una mejor adhesión al tejido dentario y favoreciendo la regeneración dentinaria. En endodoncia, puede emplearse como material de relleno o como barrera en tratamientos regenerativos, mientras que en implantología se aplica como recubrimiento de implantes para mejorar la osteointegración. A diferencia de los materiales inertes, el vidrio bioactivo ofrece una integración más eficaz con los tejidos

circundantes, disminuyendo el riesgo de rechazo o encapsulación y aumentando el éxito clínico de los tratamientos (12).

Mejora la integración del material con el tejido dentario, fomenta la reparación del complejo dentina-pulpa y puede reducir la sensibilidad postoperatoria (16).



6. Antecedentes investigativos

- **“Aplicación de Biodentine en Endodoncia Regenerativa: Presentación de Tres Casos Clínicos”.**

Autores: Guitelman, I.C., Moya, M.A., Martinez, K.L.

Lugar y fecha de publicación: Buenos Aires, Argentina (2021)

Resumen: El Biodentine es un material biocerámico y bioactivo que puede actuar como un reemplazo funcional de la dentina. Entre sus diversos usos, destaca su aplicación como sellador de coágulo en tratamientos endodónticos regenerativos, ofreciendo mejores características en comparación con el estándar de referencia. Se presentan tres casos clínicos con resolución favorable tanto clínica como radiográficamente donde se siguió el protocolo de procedimientos endodónticos regenerativos utilizando Biodentine para sellar el coágulo en la zona cérvico-radicular, específicamente en la obturación hasta el límite amelocementario (4).

- **“Vitalidad dental y curación periapical: ¿Está el Biodentine al mismo nivel que el MTA en la endodoncia regenerativa?”.**

Autores: Sareen, S., Brar, P.K., Gupta, S. & Goyal L.

Lugar y fecha de publicación: Reino Unido (2025)

Resumen: Este estudio prospectivo, doble ciego u aleatorizado compara la eficacia del agregado de trióxido mineral (MTA) y el Biodentine como barreras del espacio pulpar tras la inducción de un coágulo periapical mediante sobreinstrumentación, en procedimientos de regeneración endodóntica. Se incluyeron 36 pacientes con dientes anteriores permanentes, maduros, de raíz y ápice cerrado, con pulpitis necrótica y lesiones periapicales mayores a 3mm. Tras la aleatorización, se asignaron equitativamente a los dos grupos; 31 pacientes completaron el seguimiento de 18 meses.

El tratamiento se realizó en dos sesiones. En la primera, se elaboró una guía radiológica individualizada para estandarizar las imágenes, seguida por el acceso a la cámara pulpar, preparación biomecánica del conducto e irrigación con hipoclorito de sodio al 1.5%. Se colocó hidróxido de calcio como medicación intracanal. La segunda sesión, realizada en un máximo de tres semanas, consistió en irrigación con EDTA al 17% y sobreinstrumentación para inducir sangrado. Se estabilizó el coágulo con un tapón de colágeno, y se selló con MTA o

Biodentine por debajo de la unión amelo-cementaria, finalizando con restauración de resina compuesta. Las radiografías se tomaron antes del tratamiento, tras cada sesión, y a los 6, 9, 12, 18 meses, evaluadas por un único examinador.

Selección de casos. Los participantes (10-35 años) fueron seleccionados del área de endodoncia sin condiciones sistemáticas, con dientes anteriores maduros con ápices cerrados, pulpas necróticas y radiolucidez periapical superior a 3mm. Se excluyeron pacientes con periodontitis o anomalías del desarrollo dental.

Análisis de casos. La normalidad se evaluó con la prueba de Shapiro-Wilk. Los datos continuos se analizaron con Mann-Whitney, y los categóricos con Chi-cuadrado y Fisher. Se considero significativamente una ≤ 0.05 .

Resultados. A los 18 meses, 67.7% de los casos mostraron curación completa de la lesión periapical y 32.3.5 estaban en proceso de curación; ningún caso permaneció sin cambios. No hubo diferencia significativa entre MTA y Biodentine. En cuanto a la sensibilidad dental (EPT), el 71% respondió positivamente y el 29% no mostró respuesta, sin diferencias significativas entre ambos materiales.

Conclusiones. Tanto MTA como Biodentine demostraron ser eficaces como selladores en procedimientos regenerativos, logrando disminución significativa de la radiolucidez periapical, alivio de síntomas y recuperación parcial de la vitalidad dentaria. Ambos materiales representan opciones viables frente a los tratamientos convencionales en dientes maduros con periodontitis apical (6).

- **“Uso de adhesivo universal con pregrabado y autograbado en tejidos duros del diente”.**

Autores: Rodas, W., Vintimilla, S. & Morales, B.

Lugar y fecha de publicación: Cuba (2022)

Resumen. Los adhesivos universales han sido desarrollados para satisfacer la demanda de procedimientos adhesivos más rápidos, menos sensibles a la técnica y de fácil uso. Estos ofrecen al profesional la opción de seleccionar la estrategia de adhesión con diferentes modos de grabado, como etch-and-reise, self-etch o grabado selectivo. Sin embargo, han surgido dudas sobre el rendimiento, las propiedades y la aplicación de una técnica adhesiva adecuada en los tejidos dentales debido a la escasa información disponible sobre este tema.

Determinar el nivel de adhesión al utilizar adhesivos universales en los modos etch-and-reise y self-etch.

Se realizó una búsqueda electrónica de la literatura en las bases de datos Scielo, Scopus, PubMed, Springer y EBSCO. Inicialmente, se seleccionaron los artículos por título y resumen, considerando solo los duplicados una vez. Se incluyeron de acceso gratuito y de pago, escritos en español e inglés, y publicados desde 2015. Se seleccionaron 39 artículos para el estudio.

Concluyendo con el tema, el uso de adhesivos universales en dentina presenta un mayor nivel de adhesión cuando se aplica en modo self-etch. La aplicación activa del adhesivo universal mejora la resistencia de unión al esmalte. El nivel de adhesión al esmalte es mayor cuando se aplica en modo etch-and-reise. La resistencia inicial a la fatiga del adhesivo no mejora con tiempos prolongados de grabado ácido (8).

- **“Nuevas aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado y sus componentes”.**

Autores: Lopez, D., Polini, A. & Tomsia, A.

Lugar y fecha de publicación: México (2015)

Resumen: Este artículo tiene el objetivo de mejorar los tratamientos de traumas dentales y óseos, así como de diversas enfermedades como la osteoporosis, el cáncer o distintas infecciones, los científicos están colaborando estrechamente con médicos para diseñar y probar nuevos biomateriales que faciliten la regeneración de tejidos perdidos o dañados. El vidrio bioactivo (BG), que fue desarrollado hace más de 50 años, se ha consolidado recientemente como uno de los biomateriales más prometedores, debido al descubrimiento de sus inusuales propiedades que inducen respuestas biológicas específicas en el organismo. Entre estas características destaca su capacidad para formar interacciones sólidas tanto con tejidos blandos como duros, así como el proceso de liberación de iones en solución.

Los avances recientes en nanotecnología han abierto nuevas posibilidades en el campo de la ciencia de materiales, especialmente en terapias dentales y óseas. Por ejemplo, las aplicaciones del BG se están ampliando gracias a la posibilidad de controlar con mayor precisión las estructuras que se crean con este material y sus propiedades fisicoquímicas a nivel molecular. En este artículo se analiza como la

nanotecnología ha mejorado las propiedades de estos materiales y como estos avances están generando resultados prometedores en la regeneración de tejidos duros y en el desarrollo de sistemas innovadores de liberación de medicamentos basados en BG (12).

7. Hipótesis

7.1. Hipótesis Nula:

La inclusión de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) en el Biodentine (BD) no genera cambios estadísticamente significativos en la resistencia de unión al cizallamiento del sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado bajo la técnica self-etch.

7.2. Hipótesis Alternativa:

La adición de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) al Biodentine (BD) incrementa de manera significativa la resistencia de unión al cizallamiento del adhesivo Scotchbond Universal Plus, cuando se aplica utilizando la estrategia self-etch.

Ha: $P1 \neq P2$



CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1. Diseño metodológico

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

2. Muestra

2.1. Preparación de especímenes.

Primero se confeccionarán 40 bloques cilíndricos que se les pondrá resina acrílica de autocurado. Cada bloque tendrá un agujero de 2mm de profundidad y 4mm de diámetro, que será llenado con BD, siguiendo las indicaciones del fabricante. Después, los especímenes se cubrirán con un algodón húmedo y serán almacenados durante una semana a 37° C y 100% de humedad para poder facilitar el fraguado. Luego de haber cumplido con este periodo de tiempo, los especímenes se distribuirán aleatoriamente en cuatro grupos (n= 10), según el material restaurador que se aplicará sobre la superficie del BD.

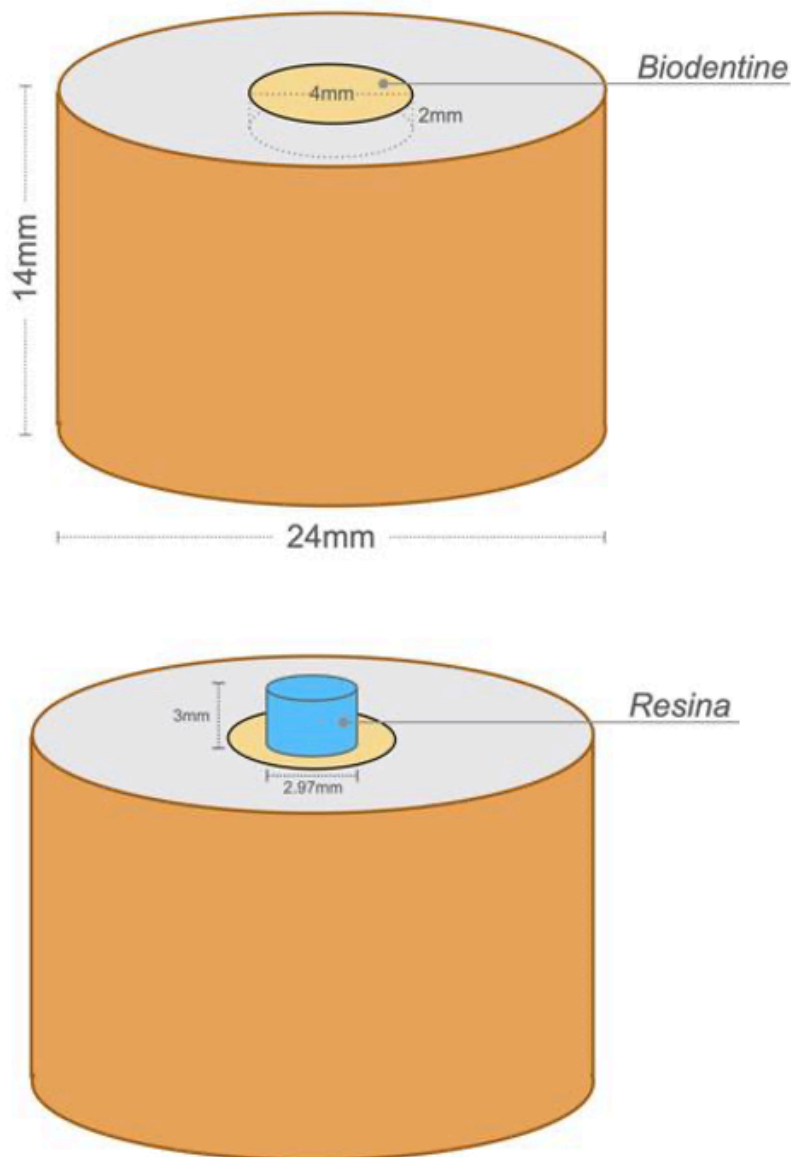
2.2. Grupos experimentales.

Los grupos serán divididos cuatro, los cuales serán:

- **G1:** nBG/BD y Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia self-etch
- **G2:** nBG/BD y Sistema Adhesivo Adper Single Bond
- **G3:** BD y Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia self-etch
- **G4:** BD y Sistema Adhesivo Adper Single Bond

Todas las aplicaciones de materiales seguirán las recomendaciones de los fabricantes, y aquellos que requieran fotopolimerización se realizarán con una fuente de luz LED Valo – Ultradent ($1200\text{mW}/\text{cm}^2$) durante 10 segundos para los adhesivos. Los materiales restauradores (resina compuesta Z250 – 3M y ionómero Vitrebond – 3M) se colocarán sobre la superficie de BD con la ayuda de un molde plástico transparente de 2mm de diámetro interno y 3mm de altura, y se fotopolimerizará por 20 segundos con una luz LED.

FIGURA 2. Diagrama representativo de los especímenes de ensayo



Basado en el esquema proporcionado por el Dr. Wilfredo Gustavo Escalante Otárola

2.3. Análisis del tipo de fractura.

Las superficies de fractura fueron analizadas mediante un estereomicroscopio con un aumento de 30x. La tipología de fractura se clasificó en cuatro categorías: adhesiva, cuando la separación ocurrió en la interfase entre el Biodentine y el material restaurador; cohesiva en el BD, cuando la fractura se localizó dentro del propio material; cohesiva en el material restaurador, cuando la falla se presentó dentro de este último; y mixta, cuando se observaron combinaciones de los tipos mencionados.

2.4. Prueba Piloto.

Se prepararon cuatro especímenes de prueba en resina acrílico tipo resina, cada uno presentaba una cavidad central, las cuales fueron obturadas con BD en su forma original o modificado mediante la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD). A cada grupo experimental se le asignó un espécimen, clasificándose según la variante de Biodentine empleada y el sistema adhesivo aplicado, que fue Scotchbond Universal Plus bajo la técnica self-etch, o Adper Single Bond.

3. Tabla de variables

TABLA 4. Variables del estudio con sus respectivos indicadores, unidades de medida y escala de análisis.

Variable	Indicadores	Unidad de medida / categoría	Escala
Variable Dependiente: Resistencia de Unión del Sistema Adhesivo Universal self-etch	Sistema Adhesivo Scotchbond Universal Plus Sistema Adhesivo Adper Single Bond (control)	MPa	Alta Moderada Baja
Variable Independiente: Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo	Biodentine modificado con nBG/BD Biodentine convencional (control)	mg	700 + 15mg de nBG/BD 700 mg de BD

4. Técnicas y Procedimientos

- **Técnica.**

Se empleará la técnica de OBSERVACIÓN EXPERIMENTAL para obtener información de las variables sistema adhesivo universal y Biodentine.

- **Ensayo mecánico de cizallamiento.**

Los cuerpos de prueba fotopolimerizados se almacenarán durante 24 horas a 37°C y 100% de humedad. Para la prueba de resistencia a la unión por cizallamiento, cada espécimen será colocada en una máquina de ensayos universal (modelo OM150, Odeme Dental Research).

Se posicionará una cuchilla de borde afilado lo más cerca que se pueda de la zona de contacto entre el BD y el material restaurador (resina compuesta o ionómero) a una velocidad de avance de 0.5 mm/min hasta inducir la fractura de la unión. La carga registrada al producirse la fractura será expresada en Newtons, y la resistencia adhesiva se calculará dividiendo ese valor por el área de la superficie de unión, expresándose en megapascales (MPa).

- **Análisis de tipo de fractura:** Las áreas donde ocurrió la fractura fueron examinadas mediante un estereomicroscopio con un aumento de 30x. Según las características observadas, las fracturas se clasificaron en cuatro tipos: adhesivas (entre la dentina y el material restaurador), cohesivas en la dentina, cohesivas en el material restaurador, y mixtas.

- **Prueba Piloto:** Se elaboraron cuatro especímenes acrílicos, cada uno con una cavidad en el centro, las cuales fueron obturadas con Biodentine™ en su forma original (puro) o combinado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD). Cada cuerpo se asignó a uno de los cuatro grupos experimentales, definitivos según el tipo de Biodentine™ utilizado y el sistema adhesivo aplicado. El foco principal de esta prueba fue evaluar el desempeño del sistema adhesivo Adper Single Bond, aplicado mediante la estrategia etch-and-rinse. Para los grupos correspondientes, se realizó el grabado ácido con ácido fosfórico al 37% únicamente en casos asignados a la estrategia etch-and-rinse, mientras que en los grupos self-etch, el adhesivo se aplicó directamente sobre la superficie sin grabado previo. Posteriormente, se posicionó una pieza cilíndrica de resina compuesta sobre la zona previamente acondicionada y se efectuó el ensayo de resistencia

adhesiva al cizallamiento mediante una máquina de ensayos universales (modelo OM150). Los datos obtenidos fueron integrados a la base estadística para su análisis comparativo.

- **Observaciones preliminares:** Se observó que la aplicación del sistema adhesivo self-etch fue clínicamente más sencilla y menos sensible a la técnica, al no requerir el paso de grabado ácido ni el lavado posterior. Asimismo, la preparación del *Biodentine*TM enriquecido con nanopartículas se llevó a cabo sin inconvenientes, mostrando una manipulación sencilla. Durante la etapa de aplicación del material, no se detectaron fallos técnicos. Este ensayo preliminar facilitó la estandarización del protocolo experimental y examinar la factibilidad del diseño, con énfasis en la evaluación de la eficacia adhesiva del sistema self-etch en combinación con diferentes formulaciones de *Biodentine*TM, en vistas a determinar su viabilidad clínica frente al método tradicional etch-and-rinse.

5. Plan de análisis

5.1. Análisis estadístico.

Los datos obtenidos de las pruebas de resistencia de unión fueron analizados mediante el software Jamovi (versión 2.3.18.0). Previamente al análisis inferencial, se evaluaron la comprobación de los criterios de normalidad y varianza homogénea se realizó a través de los análisis de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Una vez verificados estos supuestos, se aplicó un ANOVA de un factor para comparar las medias de los diferentes grupos experimentales. Como se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), se realizó un análisis post hoc de Tukey y para identificar entre que grupos se presentaban dichas diferencias. Todos los análisis se realizaron con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

6. Consideraciones éticas

Esta investigación no requiere de consideraciones éticas como consentimientos, debido a que se realizara exclusivamente con materiales en el ámbito odontológico,

no requiere de muestras biológicas de animales ni personas. Tampoco, presenta riesgos al equipo de investigadores; de igual manera se velará por la bioseguridad en el laboratorio por lo que seguirá el cumplimiento estricto de las normas, como lo son las barreras de protección, con el fin de mantener seguros a todo el equipo con el que se trabajará.



7. Recursos

El presente trabajo de investigación es financiado por el proyecto “*Efecto de la aplicación de nanopartículas de vidrio bioactivo en la adhesión de Biodentine*”, que estará a cargo del Dr. Wilfredo Gustavo Escalante Otárola como responsable técnico, quien cuenta con un fondo externo otorgado por PROCENCIA, bajo el contrato N°PE501093011-2024. Este financiamiento permite el acceso a los recursos necesarios para ejecutarlo.

A continuación, se presenta el presupuesto asignado en la siguiente tabla:

TABLA 5. Evaluación de los costos involucrados en la ejecución del estudio

MATERIAL	COSTO
Material biocerámico Biodentine	S/.2,500.00
Recursos básicos de escritorio (papelería, lapiceros, etc.)	S/. 150.00
Materiales para la preparación de muestras (tubos de PVC, resina acrílica, etc.)	S/.1,000.00
Materiales para protocolos adhesivos (SA, material restaurador, etc.)	S/.1,900.00
TOTAL	S/.5,550.00

8. Cronograma

TABLA 6. Cronograma de trabajo

TIEMPO ACTIVIDADES	2025												
	Abril				Mayo				Junio				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Aprobación del proyecto	X	X											
Redacción del marco teórico			X										
Recolección de datos				X	X								
Estructuración de resultados						X	X						
Informe final								X	X				



CAPÍTULO III

RESULTADOS

1. Resultados

Antes de llevar a cabo la técnica estadística conocida como análisis de varianza (ANOVA), se verificaron las condiciones estadísticas requeridas para el análisis. El test de Shapiro-Wilk, empleado para evaluar la distribución normal de los datos indicó que los datos siguen una distribución normal ($p = 0.272$), mientras que el test de Levene indicó que las varianzas entre los grupos eran homogéneas ($p = 0.470$), lo que justifica la aplicación del ANOVA tradicional. Al ejecutar un ANOVA de un solo factor, se obtuvo un valor de $p < .001$, lo que revela que se observaron diferencias significativas desde el punto de vista estadístico en la resistencia de unión entre al menos dos de los grupos comparados analizados. Para determinar entre qué grupos existían diferencias significativas, se llevó a cabo una prueba post hoc de Tukey, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7.

TABLA 7. Análisis Post Hoc de Tukey sobre la Resistencia de Unión

		G1	G2	G3	G4
G1	Diferencia de medias	—	4.26 ***	2.98 ***	2.324 **
	valor p	—	<.001	<.001	0.006
G2	Diferencia de medias		—	-1.28	-1.941 *
	valor p		—	0.229	0.027
G3	Diferencia de medias			—	-0.660
	valor p			—	0.751
G4	Diferencia de medias				—
	valor p				—

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

La Tabla 8 se presentan los valores de resistencia de unión (MPa) correspondientes a cada uno de los grupos experimentales. Se destaca que el grupo que recibió Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (Grupo 1 - nBG/BD) alcanzó una resistencia de unión notablemente superior en comparación con el grupo tratado con Biodentine sin modificación (Grupo 3 - BD), al utilizar el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus bajo la técnica self-etch ($p < 0.05$). Este hallazgo destaca la eficacia de la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo en la mejora del rendimiento del Biodentine.

Por otro lado, en los grupos tratados con el adhesivo Adper Single Bond (Grupo 2 y 4) evidenciaron valores de resistencia de unión comparables al grupo G3, lo que sugiere que la modificación de Biodentine con nanopartículas no tiene un impacto significativo sobre el comportamiento adhesivo de Adper Single Bond.

TABLA 8. Promedio, desviación estándar y rangos de confianza para los valores de resistencia de unión (MPa) en los diferentes grupos evaluados.

Grupos	G1	G2	G3	G4
Media	10.23 ^a	5.96 ^c	7.24 ^{bc}	7.90 ^b
DE	1.83	1.44	1.83	0.92
IC	9.15-11.31	5.11-6.81	6.16-8.32	7.36-8.45

Nota. ^{ab} Letras minúsculas distintas en una fila señalan diferencias con relevancia estadística (ANOVA de un factor y prueba post hoc de Tukey; $p < 0.05$). DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza. G1: Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD) + Sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus (self-etch); G2: nBG/BD + Adper Single Bond; G3: Biodentine sin modificar (BD) + Scotchbond Universal Plus (self-etch); G4: BD + Adper Single Bond.

Estos hallazgos indican que la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo al Biodentine pueden potenciar su compatibilidad con determinados sistemas adhesivos, especialmente cuando se utiliza Scotchbond Universal Plus bajo la estrategia self-etch. En la figura 3 se muestra una representación gráfica que representa de forma visual las diferencias observadas entre los distintos grupos evaluados.

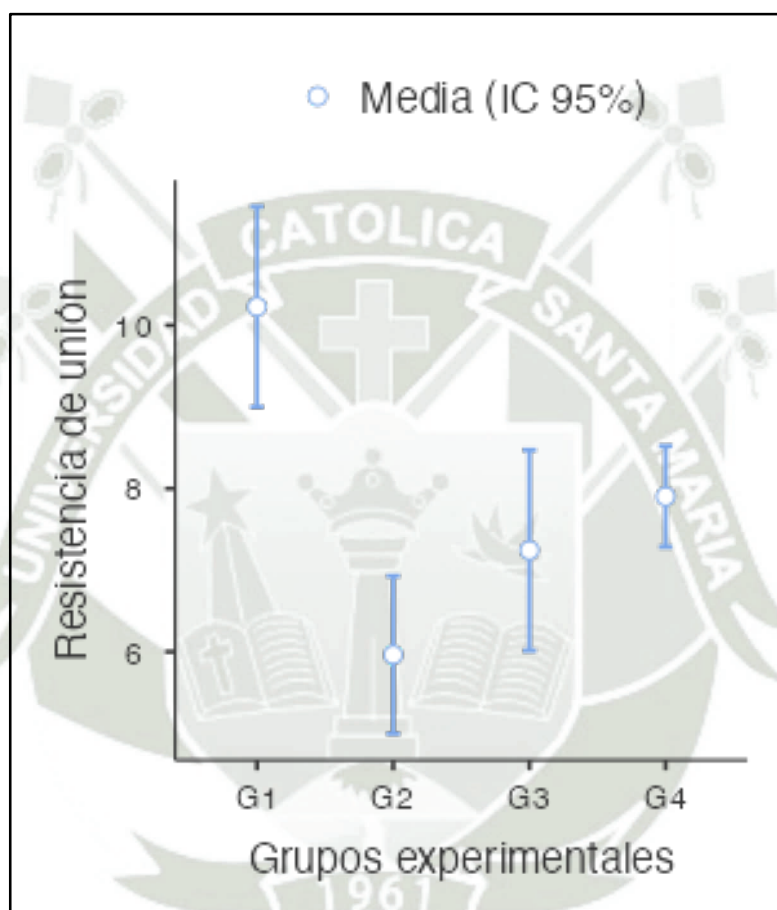


FIGURA 3. Gráfico comparativo de los grupos analizados

Respecto al análisis del patrón de fractura, se constató que la totalidad de las muestras analizadas (100%) presentó fracturas de tipo cohesivo localizadas dentro del Biodentine, tanto en su presentación original como en la versión modificada. Este hallazgo sugiere que las fallas ocurrieron dentro del propio material reparador, y no en la zona de unión adhesiva, lo cual indica que la resistencia alcanzada por sistemas adhesivos fue superior a la integridad estructural del Biodentine.

Asimismo, se examinaron los datos relacionados con la profundidad alcanzada por la fractura. Previamente a la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se comprobaron las condiciones estadísticas requeridas para aplicar los análisis correspondientes. La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk confirmó que los datos se distribuyen normalmente ($p = 0.138$), mientras que la prueba de Levene reveló una falta de homogeneidad en las varianzas entre los grupos ($p < 0.001$). A pesar de esta última observación, se procedió con un ANOVA de un factor, el cual arrojó un valor de $p < 0.001$, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en la profundidad de fractura entre los grupos analizados. Con el fin de determinar entre que grupos se encontraba dichas diferencias, se aplicó la prueba Post Hoc de Games-Howell, dichos resultados están consignados en la Tabla 9.

TABLA 9. Prueba Post-Hoc de Tukey – Profundidad de fractura

		G1	G2	G3	G4
G1	Diferencia de medias	—	370 ***	-130	-123.26
	valor p	—	<.001	0.083	0.151
G2	Diferencia de medias		—	-500 ***	-493.64 ***
	valor p		—	<.001	<.001
G3	Diferencia de medias			—	6.49
	valor p			—	0.999
G4	Diferencia de medias				—
	valor p				—

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

La Tabla 10 expone los valores registrados de la profundidad de fractura (μm) correspondientes a cada uno de los grupos experimentales evaluados. El grupo 2, que incluía Biodentine incorporado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD) junto con el adhesivo Adper Single Bond, presentó la menor profundidad de fractura, con diferencias estadísticamente significativas en comparación con los otros grupos ($p < 0.05$). Estos hallazgos sugieren que tanto la incorporación de nanopartículas al Biodentine como el tipo de adhesivo utilizado ejercen una influencia notable sobre la profundidad de fractura obtenida en la prueba de adhesión. Esta variación podría explicarse por una posible interacción físico-química entre el cemento reparador y el vidrio bioactivo, capaz de modificar la microestructura del material, lo cual repercutiría en el grado de penetración de la fractura en los distintos grupos analizados.

TABLA 10. Valor promedio, desviación estándar e intervalo de confianza al 95% de la profundidad de fractura (μm), según grupo experimental.

Grupos	G1	G2	G3	G4
Media	1067.86 ^b	695.496 ^a	1197.62 ^b	1191.13 ^b
DE	138.97	37.17	93.43	120.23
IC	985.74-1149.99	675.52-719.45	1142.40-1252.83	1120.07-1262.18

Nota: ^{ab} Letras minúsculas diferentes dentro de una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (ANOVA de un factor con prueba post hoc de Tukey; $p < 0.05$). DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza. G1: Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD) combinado con el sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus en modo self-etch. G2: nBG/BD con el sistema adhesiva Adper Single Bond. G3: Biodentine convencional (BD) con Scotchbond Universal Plus (self-etch). G4: BD con Adper Single Bond.

El gráfico ilustra diferencias notables en la profundidad de fractura registrada entre los grupos experimentales, acompañadas de intervalos de confianza bien delimitados. Destaca el grupo que combinó Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG/BD) y el sistema adhesivo Adper Single Bond, ya que mostró los valores más bajos de profundidad de fractura en comparación con los demás grupos. Este hallazgo resalta el efecto combinado de la modificación del Biodentine y del tipo de adhesivo empleado sobre la interacción del material con la estructura dentinaria.

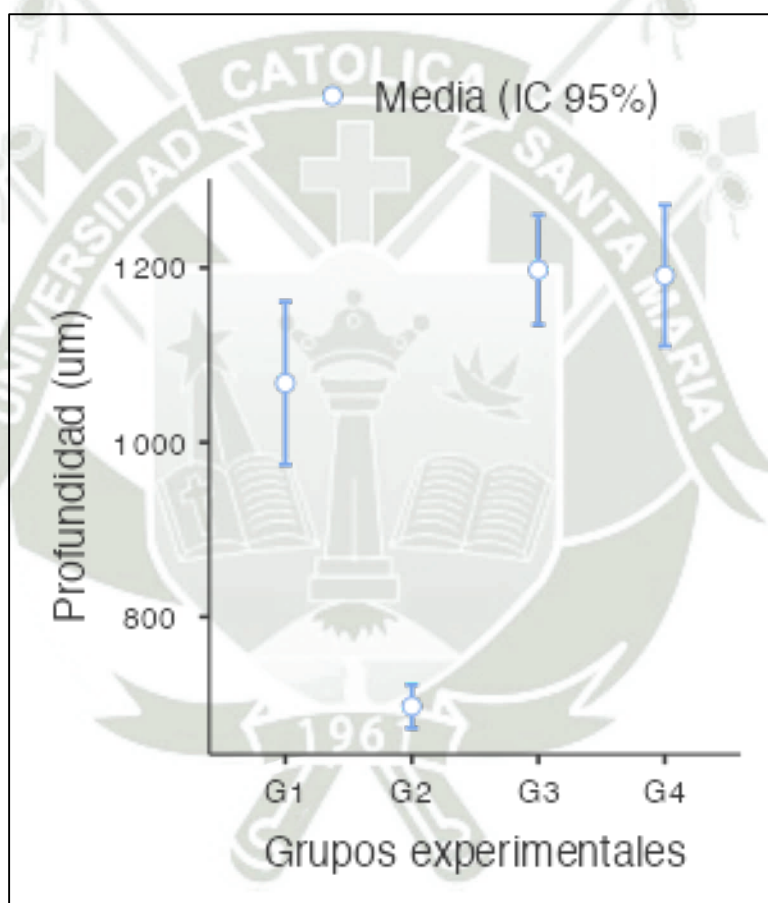


FIGURA 4. Gráfico ilustrativo de los grupos analizados

2. Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio permiten rechazar la hipótesis nula, ya que se observaron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia de unión al cizallamiento del sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus aplicado en estrategia self-etch sobre Biodentine modificado con nanopartícula de vidrio bioactivo (nBG/BD), en comparación con su forma sin modificar. En particular, el G1: que combinó nBG/BD con Scotchbond Universal Plus, alcanzó los valores más altos de resistencia de unión, lo que evidencia el efecto positivo de la modificación del material (30).

Además, se constató que el tipo de adhesivo utilizado influye significativamente en el rendimiento adhesivo, siendo Scotchbond Universal Plus más eficaz que Adper Single Bond, independientemente de la modificación del sustrato. Otro hallazgo relevante fue la presencia exclusiva de fracturas cohesivas dentro del Biodentine en todos los grupos, lo que sugiere que la adhesión lograda superó la resistencia estructural del propio material(31). Asimismo, la incorporación del nBG, especialmente en combinación con Adper Single Bond, se asoció con una menor profundidad de fractura, indicando una mejora en la integridad del sustrato (32). Finalmente, se corroboró que la interacción entre el tipo de Biodentine y el sistema adhesivo no es uniforme, lo que resalta la importancia de evaluar la compatibilidad entre materiales para optimizar su desempeño clínico (33).

En relación con estos hallazgos, la literatura respalda la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG) potencia sus propiedades bioactivas, posicionándolo como una alternativa prometedora para procedimientos restauradores. La incorporación de nBG acelera la formación de apatita en medios simulados como el SBF, reduce los tiempos de respuesta biológica y amplía el área de contacto con la dentina, favoreciendo el sellado y la posible formación de precipitados intratubulares, aspectos fundamentales para el éxito clínico de tratamientos como el recubrimiento pulpar (30). Se ha reportado que las nanopartículas de vidrio bioactivo favorecen la mineralización interfacial y refuerzan la unión con el tejido dentinario (34). Además, su uso ha demostrado menores tasas de fracaso clínico y radiográfico en comparación con materiales tradicionales como el formocresol (35). En este contexto, si bien la adición de nBG mejora la bioactividad del Biodentine, también impone retos que deben abordarse

para garantizar su seguridad clínica.

Por otro lado, el tipo empleado constituye un factor crítico en la resistencia de unión, influyendo de forma directa en la durabilidad de los tratamientos restauradores. Estudios recientes han demostrado que adhesivos universales como el G2-Bond Universal mantienen resistencias de unión elevadas incluso tras un año de uso clínico, con valores promedio de hasta 35.15 MPa (14). Esta variabilidad en el desempeño puede explicarse por factores como el tratamiento superficial del sustrato, donde técnicas como la abrasión con aire combinada con ácido fluorhídrico han optimizado la adhesión, especialmente con sistemas como BISCO, superando en eficacia a adhesivos como G-Premio Bond(36). Asimismo, estudios in vitro han confirmado que los adhesivos universales pueden mantener una adhesión duradera a la dentina, incluso tras envejecimiento acelerado (37).

La composición química del Biodentine influye directamente en su comportamiento mecánico, como lo demuestra la tendencia uniforme a presentar fracturas cohesivas observada en todos los grupos. Este material bioactivo, compuesto principalmente por calcio, carbono y oxígeno, ha mostrado una resistencia adecuada a la fractura cuando se emplea como base en restauraciones, particularmente en combinación con resinas como *Filtek™ Z350 XT* (31). En comparación con el agregado de trióxido mineral (MTA), el Biodentine ha evidenciado una menor respuesta inflamatoria y una mejor capacidad de reparación del cemento, lo que podría contribuir a su mayor estabilidad estructural bajo carga funcional (33).

En este mismo sentido, la reducción en la profundidad de fractura observada en los grupos tratados con vidrio bioactivo de fosfato de niobio (NbG) y Adper Single Bond resalta su impacto positivo en las propiedades mecánicas de interfaz adhesiva. Se ha demostrado que la incorporación de NbG no afecta significativamente el grado de conversión ni la resistencia de unión microtensil, manteniendo una adhesión eficaz a la dentina (32). En cuanto al Adper Single Bond, su aplicación adecuada ha sido asociada con una reducción de la sensibilidad postoperatoria, aunque su efectividad a largo plazo puede verse comprometida por técnicas de aplicación inadecuadas o degradación del material con el tiempo (38).

Las interacciones entre el material restaurador y el sistema adhesivo son fundamentales

para garantizar un rendimiento clínico satisfactorio. Estas interacciones están influenciadas por factores como la energía superficial, la rugosidad del sustrato y la composición química del adhesivo. Superficies rugosas o reactivas químicamente, así como un ángulo de humectación adecuado, favorecen la adhesión al incrementar el área de contacto y permitir una mejor penetración del adhesivo (39). Entender estos aspectos es esencial para optimizar tanto el diseño como la funcionalidad de las restauraciones, en especial cuando se utilizan biomateriales modificados como el Biodentine. Una revisión reciente ha señalado que la reactividad de los vidrios bioactivos híbridos y su capacidad para formar apatita son claves para potenciar la adhesión y sellado biológico en la dentina(40).

Por último, la literatura ha evidenciado que la profundidad de la dentina también incide en la resistencia de unión, mostrando variaciones según el sistema adhesivo utilizado. Mientras que ciertos adhesivos presentan diferencias significativas entre dentina superficial y profunda, otros, como PrimeBond NT y FL-Bond, no muestran cambios relevantes en su comportamiento (41). Todos estos factores subrayan la necesidad de personalizar los protocolos adhesivos según las condiciones estructurales del sustrato.

En conjunto, los resultados obtenidos no solo validan los objetivos planteados en este estudio, sino que también aportan evidencia sobre el comportamiento clínico del Biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo y su interacción con distintos sistemas adhesivos.

Pese a los resultados prometedores obtenidos, es importante reconocer que este estudio presenta limitaciones inherentes a su naturaleza *in vitro*. Las condiciones controladas del laboratorio no reproducen con total fidelidad el entorno clínico, donde factores como la humedad oral, la presión pulpar, las variaciones anatómicas del sustrato dentinario y la técnica operatoria pueden modificar significativamente el comportamiento adhesivo observado. Sin embargo, una de las principales fortalezas de este trabajo radica en su diseño experimental estandarizado, que permitió controlar múltiples variables y analizar, de manera comparativa y sistemática, el efecto de la modificación del Biodentine con nanopartículas de vidrio bioactivo sobre diferentes sistemas adhesivos. La inclusión de evaluaciones complementarias, como el análisis del tipo de fractura y la profundidad de esta, proporcionó una visión integral del desempeño mecánico de los materiales

evaluados. En función de estos hallazgos, se propone como línea futura de investigación la realización de estudios clínicos longitudinales que permitan analizar el desempeño del Biodentine tras su modificación con diferentes concentraciones de nBG bajo condiciones que simulan la carga funcional en clínica. Asimismo, sería pertinente examinar su respuesta biológica en contacto con tejido pulpar vivo y su comportamiento adhesivo en distintas profundidades dentinarias, incorporando nuevas tecnologías de análisis interfacial. En conjunto, estos resultados no solo contribuyen al conocimiento actual sobre biomateriales restauradores, sino que también ofrecen una base sólida para el desarrollo de estrategias terapéuticas más efectivas y biocompatibles, cuyos alcances y proyecciones serán abordados en la conclusión de este trabajo.



3. Conclusiones

PRIMERA: El sistema adhesivo Scotchbond Universal Plus, aplicado en estrategia self-etch, presentó una resistencia de unión significativamente mayor cuando fue utilizado sobre Biodentine modificado con 2% de vidrio bioactivo, en comparación con el Biodentine sin modificar. Esto sugiere que la modificación mejora la integración adhesiva con este sistema.

SEGUNDA: El sistema adhesivo Adper Single Bond (control), en cambio, no mostró una mejora significativa en la resistencia de unión cuando se aplica sobre Biodentine modificado con vidrio bioactivo, en comparación con el material sin modificar, lo cual indica una menor sensibilidad de este adhesivo a los cambios en la composición del sustrato.

TERCERA: Los hallazgos del presente estudio indican que la incorporación de nanopartículas de vidrio bioactivo al Biodentine potencia la resistencia de unión cuando se emplea un sistema adhesivo universal bajo la estrategia de autograbado (self-etch), específicamente con Scotchbond Universal Plus, evidenciando una posible sinergia entre el material bioactivo y este adhesivo. Este efecto no se replicó con el sistema convencional Adper Single Bond, lo que destaca la relevancia del tipo de adhesivo empleado.

4. Recomendaciones

PRIMERA: Incluir pruebas de envejecimiento artificial para evaluar la durabilidad adhesiva a largo plazo. Dado que el estudio limita a una evaluación inmediata de la resistencia de unión, se recomienda incorporar protocolos de envejecimiento como termociclado o almacenamiento prolongado en medios húmedos. Estas pruebas permitirían simular condiciones orales reales y evaluar la estabilidad de la unión adhesiva en el tiempo, aspecto clave para su aplicación clínica.

SEGUNDA: Expandir la evaluación a diferentes concentraciones de vidrio bioactivo y tipos de adhesivos. Los resultados muestran que la modificación del Biodentine con vidrio Bioactivo al 2% mejora la resistencia de unión con Scotchbond Universal Plus, pero no con Adper Single Bond. Por lo tanto, se sugiere explorar una gama más amplia de concentraciones de nanopartículas (por ejemplo, 1%, 3%, 5%) y comparar su efecto con diferentes tipos de adhesivos universales y convencionales. Esto permitiría identificar combinaciones más eficientes y estables para distintas situaciones clínicas.

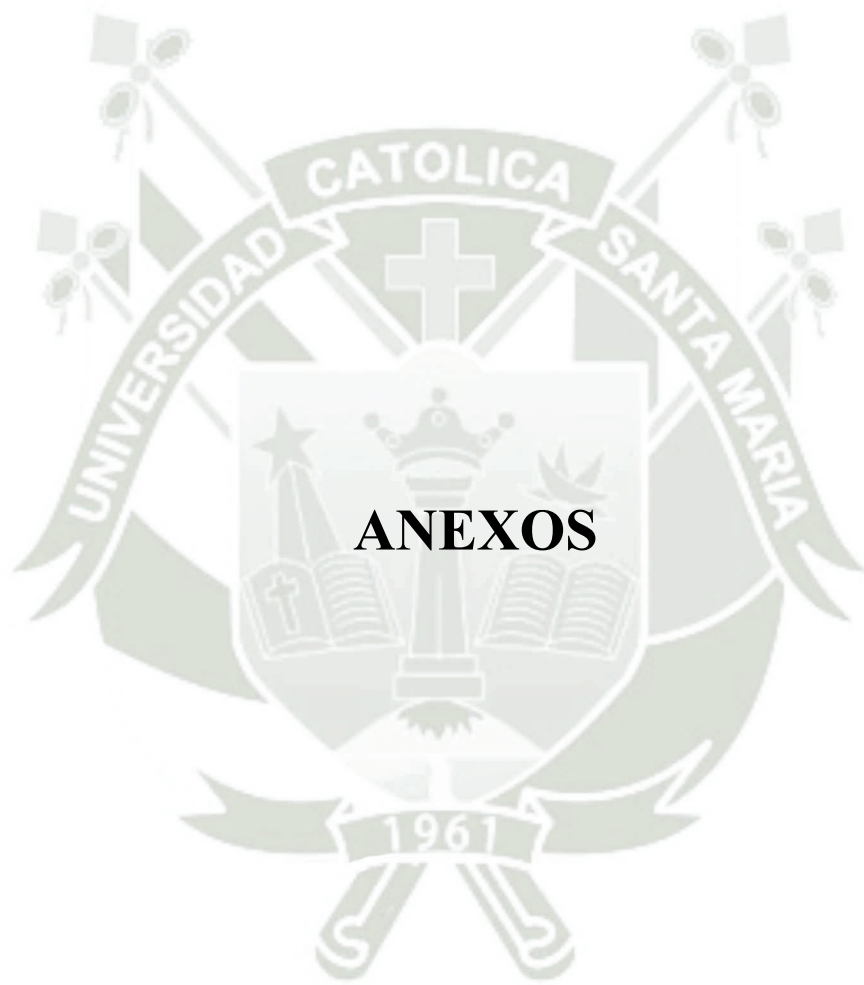
TERCERA: Complementar los ensayos mecánicos con estudios microestructurales y químicos. Para profundizar en la comprensión de los mecanismos de interacción entre el vidrio bioactivo, el Biodentine y los sistemas adhesivos, se recomienda integrar técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM) o espectroscopía (EDX o FTIR). Esto ayudaría a visualizar la interfaz de unión, identificar zonas de infiltración o precipitación mineral, y relacionar directamente la microestructura con los resultados de resistencia obtenidos.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ladino LG, Bernal A, Calderón D, Cortés D. Bioactive Materials in Restorative Dentistry: A Literature Review. *SVOA Dentistry*. :74-81.
2. Arandi NZ, Thabet M. Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *Biomed Res Int*. 3 de abril de 2021;5569313.
3. Slaboseviciute M, Vasiliauskaite N, Drukteinis S, Martens L, Rajasekharan S. Discoloration Potential of Biodentine: A Systematic Review. *Materials (Basel)*. 14 de noviembre de 2021;14(22):6861.
4. Guitelman IC, Moya MA, Martínez KL. Aplicación de Biodentine en Endodoncia Regenerativa: Presentación de Tres Casos Clínicos. *Revista de la Facultad de Odontología Universidad de Buenos Aires*. 29 de julio de 2022;37(85):15-23.
5. Granados S, Alcalde C, Guzman J, Melendez D, Torres C, Velasquez Z, et al. Cementos a base de silicato de calcio: factor clave en el éxito del recubrimiento pulpar directo. Revisión de la literatura. *Revista Estomatológica Herediana*. enero de 2022;32(1):52-60.
6. Sareen S, Brar PK, Gupta S, Goyal L. Tooth vitality and periapical healing: is Biodentine at par with MTA in regenerative endodontics? *Evid Based Dent*. marzo de 2025;26(1):6-7.
7. Tang C, Mercelis B, Ahmed MH, Yoshihara K, Peumans M, Meerbeek BV. Adhesive Performance Assessment of Universal Adhesives and Universal Adhesive/Composite Cement Combinations. *J Adhes Dent*. 25:b4646953.
8. Rodas Tacuri WX, Vintimilla Coronel SE, Morales Bravo BR, Rodas Tacuri WX, Vintimilla Coronel SE, Morales Bravo BR. Uso de adhesivo universal con pregrabado y autograbado en tejidos duros del diente. *Medicentro Electrónica*. diciembre de 2022;26(4):897-914.
9. Saravia Rojas MA, Bernal Ponce AR, Saravia Rojas MA, Bernal Ponce AR. Estudio sobre los diferentes tiempos de acondicionamiento previo al sistema adhesivo universal en dentina de dientes de bovino. *Estomatol Herediana*. abril de 2021;31(2):90-102.
10. Santos LH, Prieto DS, Morales ALR. Materiales bioactivos restauradores en la odontología contemporánea. Una visión actualizada. (2024).
11. Salinas-Buenaño KM, Salinas-Goodier C. Tratamientos actuales y futuros para la terapia pulpar vital de dientes permanentes. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de la Salud Salud y Vida*. 6(1):486-94.
12. David Don López, Alessandro Polini, Antoni P. Tomsia. Nuevas aplicaciones dentales de vidrio bioactivo nanoestructurado y sus composites. *Mundo Nano*. diciembre de 2013;6(11):16.
13. Hurtado Santos L, Santos Prieto D, Ramos Morales AL, Hurtado Santos L, Santos Prieto D, Ramos Morales AL. Materiales bioactivos restauradores en la odontología contemporánea. Una visión actualizada. 01-Jun-2024. 2024;28:18.
14. Brkanović S, Sever EK, Vukelja J, Ivica A, Miletić I, Krmek SJ. Comparison of Different Universal Adhesive Systems on Dentin Bond Strength. *Materials*. 12 de febrero de 2023;16(4):1530.
15. Simancas Escorcía V, Díaz Caballero A, Simancas Escorcía V, Díaz Caballero A. Biodentine: ¿sustituto de la dentina? *SciELO*. diciembre de 2020;36(3):587-605.
16. Vidrios bioactivos en odontología restauradora. *Odonto [Internet]*. 12 de diciembre de 2019 [citado 2 de junio de 2025];21(34). Disponible en: <https://www.odon.edu.uy/ojs/index.php/ode/article/view/285>
17. Adhesivo 3M™ Scotchbond™ Universal Plus [Internet]. 2020 [citado 4 de junio

- de 2025]. Disponible en: https://www.3m.com/es/3M/es_ES/p/d/b5005223011/
18. Muñoz MA, Luque-Martinez I, Malaquias P, Hass V, Reis A, Campanha NH, et al. In vitro longevity of bonding properties of universal adhesives to dentin. *Oper Dent.* 2015;40(3):282-92.
 19. Hagenazer K. Stick to innovation: Five benefits of modern universal adhesives [Internet]. 3M Dental Blog. 2022 [citado 4 de junio de 2025]. Disponible en: <https://dentalblog.3m.com/dental/stick-to-innovation-five-benefits-of-modern-universal-adhesives-2/>
 20. Loguercio AD, Muñoz MA, Luque-Martinez I, Hass V, Reis A, Perdigão J. Does active application of universal adhesives to enamel in self-etch mode improve their performance? *Journal of Dentistry.* septiembre de 2015;43(9):1060-70.
 21. Gaceta Dental. Un adhesivo que se adapta a las últimas tendencias de la odontología de mínima intervención [Internet]. 2020 [citado 4 de junio de 2025]. Disponible en: <https://gacetadental.com/2020/12/un-adhesivo-que-se-adapta-a-las-ultimas-tendencias-de-la-odontologia-de-minima-intervencion-25214/>
 22. Dental Advisor. 3M™ Scotchbond™ Universal Plus Adhesive – Clinical Evaluation [Internet]. 2021 [citado 4 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.dentaladvisor.com/evaluations/3m-scotchbond-universal-plus-adhesive/>
 23. Kurokawa H, Miyazaki M, Takamizawa T, Rikuta A, Tsubota K, Uekusa S. One-year Clinical Evaluation of Five Single-step Self-etch Adhesive Systems in Non-carious Cervical Lesions. *Dent Mater J.* 2007;26(1):14-20.
 24. 3M ESPE. Perfil Técnico Single Bond 2 español - Adper Single Bond 2 Adper TM Tabla de Contenido Introducción - Studocu [Internet]. [citado 4 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.studocu.com/cl/document/duoc-uc/odontologia/perfil-tecnico-single-bond-2-espanol/55061326>
 25. 3M Chile. Repuesto de Adhesivo 3M™ Adper™ 51202 Single Bond 2, 6gm [Internet]. [citado 4 de junio de 2025]. Disponible en: https://www.3mchile.cl/3M/es_CL/p/d/v000058234/
 26. Reyes SH. CLASE 01 Adhesion y Sistemas Adhesivos. [citado 4 de junio de 2025]; Disponible en: https://www.academia.edu/4444225/CLASE_01_Adhesion_y_Sistemas_Adhesivos
 27. Barrena PS. UNIVERSIDAD DE CHILE. In Vitro. 2006;
 28. Wood TME. UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA CONSERVADORA AREA DE BIOMATERIALES ODONTOLÓGICOS. 2014;
 29. Cedillo, José, Domínguez, A, Espinosa, R. MATERIALES BIOACTIVOS EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA. Septiembre - Diciembre 2021. diciembre de 2021;10(3):11.
 30. Corral Nuñez C, Covarrubias C, Fernandez E, Oliveira Junior OBD. Enhanced bioactive properties of Biodentine™ modified with bioactive glass nanoparticles. *J Appl Oral Sci.* abril de 2017;25(2):177-85.
 31. Ramírez Barrantes JC, Quesada Rojas FJ. Biomechanical and Chemical Behavior of Various Bioactive Materials in Class II Restorations. *OdoVtos - Int J Dent Sc.* 14 de septiembre de 2022;233-46.
 32. Carneiro KK, Meier MM, Santos CCD, Maciel AP, Carvalho CN, Bauer J. Adhesives Doped with Bioactive Niobophosphate Micro-Filler: Degree of Conversion and Microtensile Bond Strength. *Braz Dent J.* diciembre de 2016;27(6):705-11.
 33. Cardoso M, Pires M dos A, Correlo V, Reis R, Paulo M, Viegas C. Biodentine for Furcation Perforation Repair: An Animal Study with Histological, Radiographic and Micro-Computed Tomographic Assessment. *Iranian Endodontic Journal* [Internet]. 10 de

- julio de 2018 [citado 1 de junio de 2025];13(3). Disponible en: <https://doi.org/10.22037/iej.v13i3.19890>
34. Alvarez MMP, Carvalho RG de, Barbosa SC de A, Polassi MR, Nascimento FD, D'Alpino PHP, et al. Oxidative stress induced by self-adhesive resin cements affects gene expression, cellular proliferation and mineralization potential of the MDPC-23 odontoblast-like cells. *Dental Materials*. 2019;35(4):606-16.
35. Jasani B, Musale P, Jasani B. Efficacy of Biodentine versus formocresol in pulpotomy of primary teeth: a systematic review and meta-analysis. *Quintessence Int*. 17 de agosto de 2022;53(8):698-705.
36. Al-Askary RA, Al-Ashou WMO, Hassoon SN. Repair Bond Strength of Composite Resin to Dental Ceramic Using Various Surface Treatments: An In Vitro Study. *J Int Soc Prev Community Dent*. septiembre de 2024;14(5):388-95.
37. Hardan L, Bourgi R, Kharouf N, Mancino D, Zarow M, Jakubowicz N, et al. Bond Strength of Universal Adhesives to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers*. 7 de marzo de 2021;13(5):814.
38. Buzanello A. Avaliação da sensibilidade pós-operatória em cavidades classe v não cariosas, realizando hibridização do preparo com clearfil se bond e adper single bond: relato de caso. 2016;
39. Ukrainian State University of Science and Technologies, Mitina NB, Klymenko AV, Kabat OS, Sytar VI. The influence of external and internal factors on ensuring adhesive interaction of a polymeric sealant with a substrate surface (a review). *Vopr Khim Khim Tekhnol*. noviembre de 2024;(5):31-41.
40. Jones JR. Review of bioactive glass: From Hench to hybrids. *Acta Biomaterialia*. 2013;9(1):4457-86.
41. Zheng T li, Huang C, Zheng Z xing. [Influence of different dentin depths on microtensile bond strength of two dentin adhesive systems]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. octubre de 2009;18(5):532-5.



ANEXO 1: Herramienta de registro de variables

TABLA 11. Datos de Resistencia de Unión

GRUPOS EXPERIMENTALES (self-etch)				
	G1	G2	G3	G4
1	12.24	6.09	5.42	8.48
2	10.97	7.60	5.20	7.54
3	11.24	8.08	8.83	6.87
4	10.12	7.04	7.21	7.52
5	9.61	5.80	6.85	7.22
6	8.69	4.16	6.45	7.28
7	13.62	7.32	11.72	7.13
8	6.81	4.64	5.72	7.97
9	9.88	6.19	7.81	9.22
10	10.39	4.57	7.22	9.80
11	8.92	4.09	7.24	7.9

TABLA 12. Distribución de Tipo de Fractura Observado

PROFUNDIDAD DE LA FRACTURA				
	G1	G2	G3	G4
	nBG/BD + SB	BD + SB	nBG/BD + ASB	BD + ASB
1	948.816	1059.529	648.276	1094.416
2	1288.544	1237.136	650.709	1300.069
3	1289.881	1085.357	694.17	1299.619
4	917.735	1258.317	684.01	1368.02
5	1051.364	1299.201	720.812	1267.266
6	991.372	1085.244	684.868	1058.224
7	1019.177	1300.326	718.21	1055.669
8	915.228	1254.201	719.024	1060.054
9	1084.714	1263.878	653.4	1300.069
10	1017.485	1105.285	755.696	1094.95
11	1222.185	1225.301	743.165	1204.032

ANEXO 2: Evaluación del Patrón de Fractura

TABLA 13. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 1



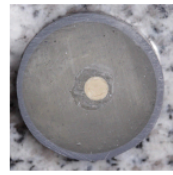
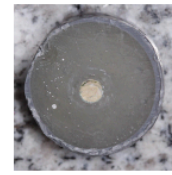
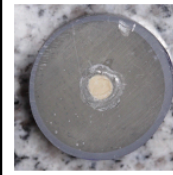


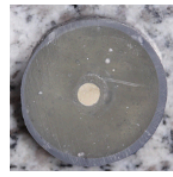
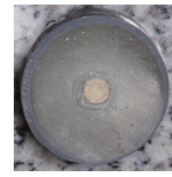
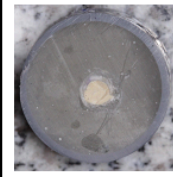
G1	Cohesiva en nBG/BD				
					
	Cohesiva en nBG/BD				
					

TABLA 14. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 2


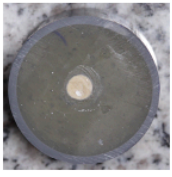
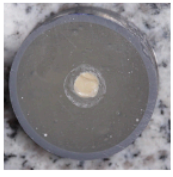
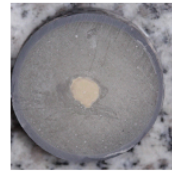
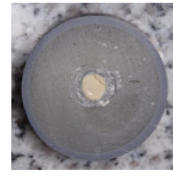
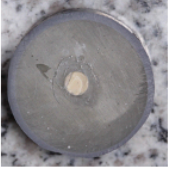

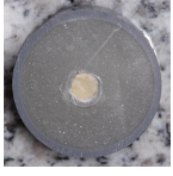

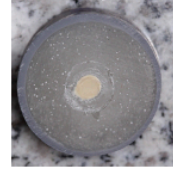
G2	Cohesiva en nBG/BD				
					
	Cohesiva en nBG/BD				
					

TABLA 15. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 3

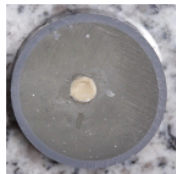
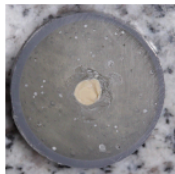
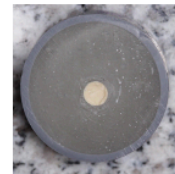



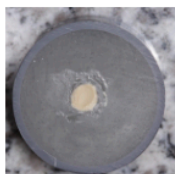

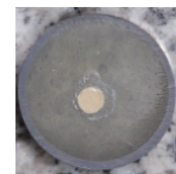







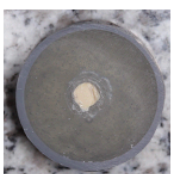



G3	Cohesiva en BD				
					
	Cohesiva en BD				
					

TABLA 16. Distribución de los Patrones de Fractura en el Grupo 4

G4	Cohesiva en BD				
					
	Cohesiva en BD				
					

ANEXO 3: Análisis de la Profundidad de la Fractura

TABLA 17. Determinación de la profundidad de fractura en las muestras correspondientes a los Grupos 1 y 2.


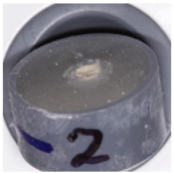

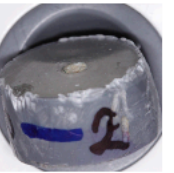



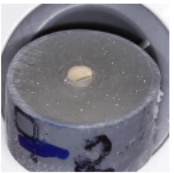
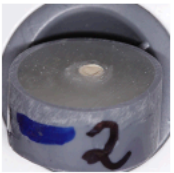
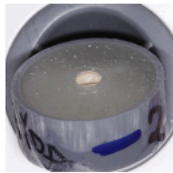
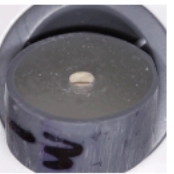


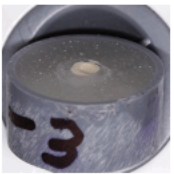


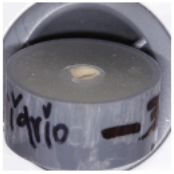



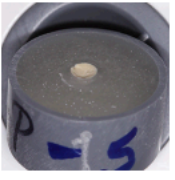
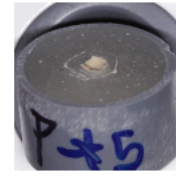

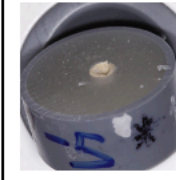
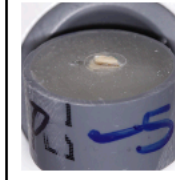




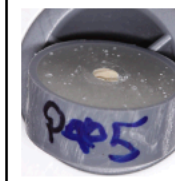
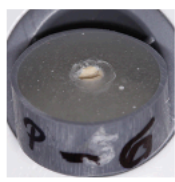

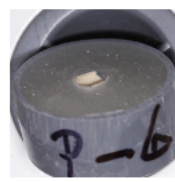

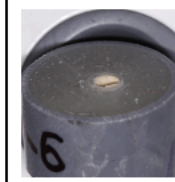



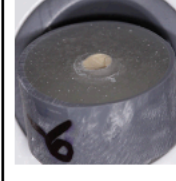
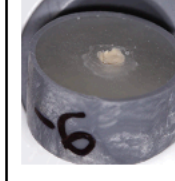
		nBG/BD + Scotchbond Universal Plus				
G1						
						
		nBG/BD + Adper Single Bond				
G2						
						

TABLA 18. Determinación de la profundidad de fractura en las muestras correspondientes a los Grupos 3 y 4.

		BD + Scotchbond Universal Plus				
G3						
						
		BD + Adper Single Bond				
G4						
						



ANEXO 4: Registro Fotográfico

Figura 5. Aplicación de Biodentine en su forma convencional y modificada con nanopartículas de vidrio bioactivo (nBG)

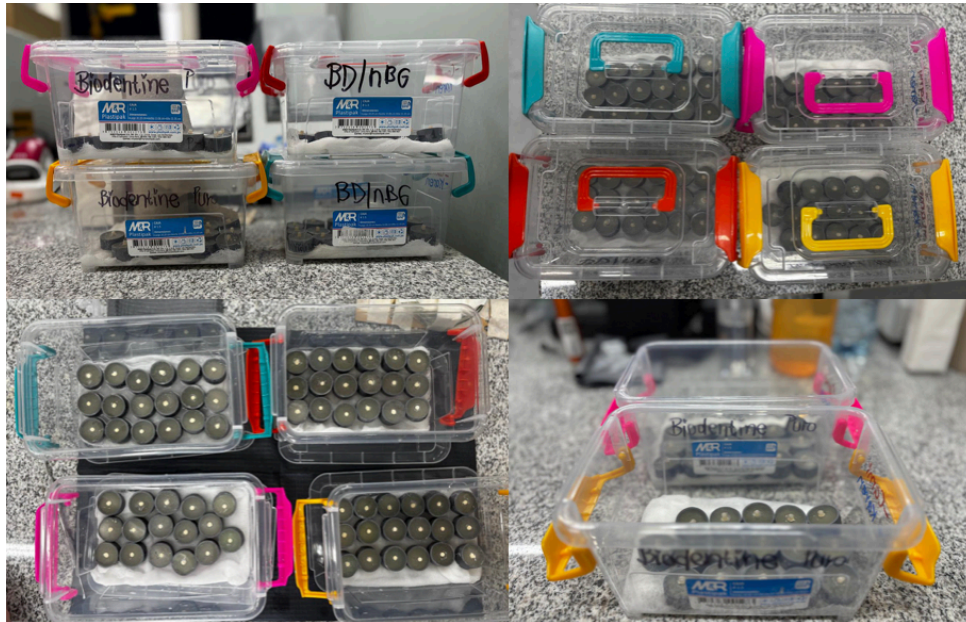


Figura 6. Procedimiento de aplicación de los Sistemas Adhesivos



- Scotchbond Universal Plus – G1 y G3
- Adper Single Bond – G2 y G4

Figura 7. Procedimiento para la elaboración de cilindros de resina utilizando matriz traslúcida



Figura 8. Remoción de la Matriz Translúcida



Figura 9. Prueba de resistencia adhesiva al cizallamiento

