



Facultad Ciencias de la Salud

**Tema:**

**“Efectividad de la resistencia de unión expuesta al envejecimiento de biomateriales adheridos a composites mediante pruebas de microcizallamiento. Estudio in vitro”**

**Trabajo de Titulación para la obtención del Título de Especialista en  
Endodoncia**

**Presentada por:**

David Andrés Barros Pilaquina

**Tutor:**

Dr. Cristian Fernando Sánchez Puetate

**Quito, junio de 2026**

## **Declaración de Aceptación de Norma Ética y Derechos**

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

David Andrés Barros Pilaquina

1723407258

## **Dedicatoria**

A mis padres, por ser el cimiento sobre el cual he construido cada uno de mis logros. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la honestidad y la perseverancia. Su confianza en mí ha sido un motor invaluable a lo largo de este camino.

A mi familia, por estar presente en cada etapa, por comprender mis ausencias, por celebrar mis pequeños avances y por brindarme siempre palabras de ánimo cuando más las necesitaba. Su compañía ha sido un refugio de fortaleza y esperanza.

A quienes, desde la amistad o el compañerismo académico, me acompañaron en este proceso. Gracias por compartir ideas, por escuchar, por ofrecer su tiempo y por contribuir a que este viaje fuera más humano, enriquecedor y significativo.

A los docentes y mentores que, con su guía, exigencia y compromiso, dejaron una huella profunda en mi formación. Su dedicación ha sido clave en mi crecimiento profesional y personal.

A todos ellos, dedico este trabajo con profundo agradecimiento y respeto. Este logro no es solo mío, sino también el reflejo del apoyo, la inspiración y la generosidad de quienes me rodearon.

## Índice

Dedicatoria.....	3
Índice.....	4
Resumen.....	7
Abstract.....	9
Introducción.....	11
Materiales y Métodos.....	15
Preparación De Muestras .....	15
Grupos Experimentales .....	15
Análisis De Resistencia De Unión (Microcizallamiento) .....	18
Análisis De La Interfaz Adhesiva.....	19
Análisis Estadístico .....	20
Hallazgos.....	21
Discusión.....	24
Conclusiones.....	27
Referencias.....	28

## Índice De Tablas

Tabla 1. Asignación específica de los grupos, utilizados en esta investigación.....	15
Tabla 2. Características de los materiales utilizados en el estudio. ....	16
Tabla 3. Valores de resistencia de unión después del envejecimiento .....	21

## Índice De Figuras

Figura 1. Bloque de acrílico cilíndrico para sujetar las muestras. ....	18
Figura 2 Clasificación de los tipos de falla adhesiva observados en los grupos evaluados tras el envejecimiento. ....	22
Figura 3. Fotografías de los diferentes tipos de falla. ....	22
Figura 4. Análisis del tipo de falla en Biodentine observada en MEB .....	23
Figura 5. Análisis del tipo de falla en Therabase observada en MEB .....	23

## **Efectividad de la resistencia de unión expuesta al envejecimiento de biomateriales adheridos a composites mediante pruebas de microcizallamiento. *Estudio in vitro***

David Andrés Barros Pilaquinga

[Barpil-jm@hotmail.com](mailto:Barpil-jm@hotmail.com)

### **Resumen**

Este estudio *in vitro* tuvo como objetivo evaluar la resistencia de unión entre dos biomateriales de uso odontológico —Biodentine y Therabase— y un composite restaurador, utilizando tres sistemas adhesivos distintos: Clearfil SE Bond, All-Bond Universal y Scotchbond Universal Plus. La investigación se enfocó en analizar el comportamiento de estas combinaciones tras someterlas a un proceso de envejecimiento artificial mediante 5000 ciclos térmicos, con el fin de simular las condiciones reales de la cavidad oral, donde los materiales restauradores están expuestos a variaciones constantes de temperatura, humedad y carga oclusal.

Se diseñaron seis grupos experimentales que combinaron ambos biomateriales con los tres sistemas adhesivos, siguiendo estrictamente los protocolos de aplicación recomendados por los fabricantes. Luego del envejecimiento, se realizaron pruebas de microcizallamiento para medir la resistencia de unión entre los materiales, y se evaluaron los tipos de falla presentes en la interfaz adhesiva mediante técnicas de microscopía óptica y electrónica de barrido (MEB).

Los resultados indicaron que los grupos que utilizaron Therabase presentaron una resistencia de unión significativamente mayor (entre 17.25 y 18.75 MPa) en comparación con aquellos que emplearon Biodentine (entre 6.77 y 9.85 MPa), sin importar el tipo de adhesivo utilizado. Esta diferencia se relaciona con la composición de Therabase, que incluye monómeros funcionales como 10-MDP y HEMA, los cuales permiten una mayor afinidad química con los

sistemas adhesivos universales. En contraste, Biodentine, por su composición a base de silicato de calcio y su estructura más frágil, mostró mayor número de fallas cohesivas, lo que sugiere una debilidad estructural propia del material, especialmente tras el envejecimiento térmico.

El análisis estadístico confirmó que tanto el tipo de biomaterial como el sistema adhesivo influyeron de manera significativa en la resistencia de unión, aunque no se observó una interacción significativa entre ambos factores.

Como conclusión, se establece que Therabase, en combinación con adhesivos universales, representa una alternativa más eficaz y duradera para procedimientos restauradores complejos, como restauraciones profundas y recubrimientos pulpares indirectos. No obstante, se subraya la importancia de realizar estudios clínicos a largo plazo para confirmar la efectividad de estos resultados en condiciones intraorales reales.

**Palabras clave:** Adhesión dental Resistencia al cizallamiento, Adhesivos dentales, Cementos de silicato de calcio, Envejecimiento, Endodoncia.

## Abstract

This in vitro study aimed to evaluate the bond strength between two dental biomaterials—Biodentine and Therabase—and a restorative composite, using three different adhesive systems: Clearfil SE Bond, All-Bond Universal, and Scotchbond Universal Plus. The research focused on assessing the performance of these combinations after undergoing an artificial aging process consisting of 5,000 thermal cycles, simulating the clinical conditions of the oral environment, where restorative materials are exposed to constant variations in temperature, humidity, and occlusal load.

Six experimental groups were created by combining both biomaterials with the three adhesive systems, following the manufacturers' application protocols. After aging, microshear bond strength tests were performed, and the failure modes at the adhesive interface were evaluated using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM).

Results showed that the Therabase groups exhibited significantly higher bond strength (17.25–18.75 MPa) compared to Biodentine (6.77–9.85 MPa), regardless of the adhesive system used. This difference is attributed to Therabase composition, which includes functional monomers like 10-MDP and HEMA, enhancing chemical compatibility with universal adhesives. In contrast, Biodentine, based on calcium silicate and with a more fragile structure, exhibited a higher incidence of cohesive failures, suggesting inherent structural weakness, particularly after thermal aging.

Statistical analysis confirmed that both the type of biomaterial and the adhesive system had a significant influence on bond strength, although no significant interaction was found between them.

In conclusion, Therabase combined with universal adhesives represents a more effective and durable alternative for complex restorative procedures such as deep restorations and indirect pulp capping. However, long-term clinical studies are essential to validate these findings under real intraoral conditions.

**Keywords:** Dental adhesion, shear bond strength, dental adhesives, calcium silicate cements, aging, endodontics.

## Introducción

La odontología restauradora contemporánea busca constantemente materiales y técnicas que mejoren el pronóstico a largo plazo de los dientes tratados endodónticamente (Ferrari et al., 2022). Tras un tratamiento de conductos, la restauración coronal es un paso crítico que influye directamente en la supervivencia del diente (de Kuijper et al., 2023; Ferrari et al., 2022). La fuerza de adhesión entre los materiales de restauración y la estructura dental residual es un factor determinante en el éxito de estos tratamientos (D. Wu et al., 2024), ya que una adhesión fuerte minimiza la microfiltración, previene la recurrencia de caries y reduce el riesgo de fracturas dentales (Henrique et al., 2021).

En este contexto, materiales como Biodentine (BIO) y Therabase (THE) han ganado relevancia. Biodentine, es un material bioactivo a base de silicato de calcio, es conocido por sus propiedades bioactivas, biocompatibilidad y capacidad de sellado (Camilleri, 2013), lo que lo convierte en una opción atractiva para reparaciones endodónticas y como sustituto de dentina (Arandi & Thabet, 2021). Por otro lado, Therabase también es un material bioactivo compuesto, que ofrece ventajas como la liberación de flúor y una buena adhesión a la estructura dental, siendo utilizado comúnmente como base o liner en restauraciones profundas (Kayaci et al., 2024).

Según Wonkyu Shin, et al. Este material se usa como protector pulpar indirecto en caries profundas en niños de hasta 12 años con excelentes resultados. (Shin et al., 2023). De la misma manera autores han reportado tasas de éxitos de entre el 93 al 96% en tratamientos de molares con protección pulpar indirecta. Debido a su composición a base de un radical metacrilato, es capaz de sellar perfectamente la dentina, contra la humedad, lo que garantizaría s efectividad a

largo plazo. Sin embargo, para que ambos materiales sean totalmente eficientes, ellos deberían ser capaces de unirse perfectamente al material restaurador que iría encima de ellos. Para que eso suceda, deberían tener afinidad por algunos de los adhesivos actuales.

La elección del sistema adhesivo para unir estos materiales a la dentina es crucial para optimizar la fuerza de unión (Jäggi et al., 2024a) (Tang et al., 2023). Los sistemas adhesivos universales como All-Bond Universal (ABU) y Scotchbond Universal (SBU) son populares debido a su versatilidad, permitiendo su uso en diferentes estrategias de grabado. Clearfil SE Bond (CF) (Kitahara et al., 2024) es un sistema adhesivo de autograbado de dos pasos que ha demostrado consistentemente altas fuerzas de unión (Yollar et al., n.d.) y una baja sensibilidad a la técnica (Sharafeddin et al., 2015).

Los adhesivos dentales son un pilar fundamental en la odontología restauradora moderna, actuando como una sustancia intermedia que une los materiales de restauración al tejido dental duro y a los materiales bioactivos que sirven como base cavitaria (Oltremare et al., 2021). Su objetivo principal es mejorar la retención de las restauraciones, (Jorge Perdigao et al., 2020) mejorar el sellado marginal y aumentar la resistencia de la interfaz diente/ material bioactivo - restauración (Guarda et al., 2022).

A pesar de sus beneficios, los adhesivos enfrentan desafíos significativos, como el estrés de polimerización (Ingle et al., 2025), que es un factor importante en el fracaso clínico de los métodos de adhesión actuales (Yollar et al., n.d.). Este estrés surge de la contracción de las resinas compuestas durante la polimerización, lo que puede provocar tensiones internas y fallos en los márgenes de la restauración (Z. Wu et al., 2024), como microfiltraciones (Breschi et al.,

2025). La eficacia de estos materiales para lograr una unión fuerte es crucial para el éxito de los procedimientos restauradores.

Estos adhesivos son versátiles, ya que pueden emplearse tanto en procedimientos de autograbado (self-etch) como de grabado y enjuague (etch-and-rinse). Componentes como el 10-MDP (10-metacriloxildecil dihidrogenofosfato) (Pimentel De Oliveira et al., 2022) (Breschi et al., 2025) son esenciales en su composición, formando un enlace duradero y fuerte con el calcio de los sustratos. Muchos adhesivos incluían 2-hidroxietil metacrilato (HEMA) (Pimentel De Oliveira et al., 2022) para mejorar la unión con la dentina debido a su hidrofiliidad y compatibilidad con el agua, lo que facilita la penetración en el sustrato desmineralizado (Karabay et al., 2023). Sin embargo, la hidrofiliidad del HEMA también lo hace vulnerable a la hidrólisis y a la sorción de agua, y puede causar reacciones alérgicas (Bond et al., 2022)

La resistencia al cizallamiento es una característica clave evaluada en los adhesivos dentales (Jayasheel et al., 2017), y se ha demostrado que tanto el ciclo térmico como la elección del sistema adhesivo afectan significativamente esta propiedad. Por ejemplo, un estudio comparó el G2-Bond Universal, Clearfil SE Bond y Scotchbond Universal Plus. Se encontró que el Scotchbond Universal Plus presentó el valor de resistencia de unión más bajo (24.78 MPa), mientras que el G2-Bond Universal mostró una resistencia al cizallamiento deseable a la dentina (35.15 MPa), incluso después de un año en el entorno oral (Pimentel De Oliveira et al., 2022). Los resultados también sugirieron que el grabado total con ácido fosfórico puede reducir la resistencia al cizallamiento de algunos adhesivos universales (Jäggi et al., 2024b) como el G2-Bond Universal, indicando que el proceso de unión puede variar drásticamente según el tipo de adhesivo y el modo de aplicación (Cruz et al., 2021). La mayor hidrofobicidad, como la que se observa en los adhesivos libres de HEMA, se asocia con una mayor resistencia y durabilidad de

las capas curadas (Korkmaz et al., 2024), lo que previene la formación de espacios y las microfiltraciones.

La evaluación de la durabilidad de la fuerza de adhesión es un aspecto fundamental para predecir el comportamiento clínico a largo plazo de los materiales restauradores (Bahari et al., 2021). Si bien las pruebas de adhesión iniciales proporcionan un análisis de la fuerza de unión, la cavidad oral es un entorno dinámico y complejo, con variaciones de temperatura, pH, cargas oclusales y la presencia de fluidos orales (Tseng et al., 2023).

Estos factores pueden comprometer la integridad de la interfaz adhesiva con el tiempo. Es por ello que las técnicas de envejecimiento in vitro, como el termociclado o el almacenamiento en agua, son herramientas invaluable para simular las condiciones orales y evaluar la estabilidad de la unión a lo largo del tiempo (Lima et al., 2022). Estas metodologías permiten a los investigadores observar cómo la fuerza de unión se degrada o se mantiene después de someter los materiales a condiciones que imitan el envejecimiento en el medio bucal, ofreciendo un análisis más realista sobre el rendimiento clínico de estos sistemas (Nikaido et al., 2002)

Los estudios que comparan la fuerza de adhesión de Biodentine y Therabase con diferentes sistemas adhesivos, tanto en evaluaciones iniciales como post-envejecimiento, son fundamentales para guiar la práctica clínica. Los resultados de esta investigación pueden revelar qué combinaciones de material bioactivo y adhesivo ofrecen la mayor resistencia y durabilidad, contribuyendo así a mejorar el éxito a largo plazo de las restauraciones en dientes tratados endodónticamente. La comprensión de la interacción entre estos materiales y cómo resisten el envejecimiento in vitro es clave para seleccionar los protocolos y materiales que optimicen el pronóstico de los dientes restaurados.

## Materiales y Métodos

### Preparación De Muestras

Nuestro diseño experimental fue un estudio in vitro, transversal y comparativo. En el cual se elaboraron cuarenta y ocho bloques de acrílico cilíndrico (48) mediante un torno, con medidas de 14 mm de alto x 12 mm de ancho y en su centro un orificio de 3 mm de ancho x 2 mm de fondo. Para eliminar impurezas superficiales, los bloques fueron sometidos a un baño ultrasónico durante 60 segundos (CD-4820; Codyson Ultrasonic, Shenzhen, China) y, posteriormente alcohol al 70% para su total desinfección.

### Grupos Experimentales

Se distribuyeron los cuerpos aleatoriamente en seis grupos experimentales de n=8 cada uno, definidos por la combinación de 2 biomateriales Biodentine (BIO) y Therabase (THE) utilizando tres tipos de sistemas adhesivos: All Bond Universal (ABU), Scotchbond Universal Plus (SBU) y ClearFil SE Bond (CF). En la **Tabla 1** se expone la asignación específica de los grupos.

### Tabla 1.

*Asignación específica de los grupos, utilizados en esta investigación*

Grupo	Biomaterial	Sistema Adhesivo
G1 bio-abu	biodentine	allbond universal
G2 bio-sbu	biodentine	scotch bond universal plus
G3 bio-cf	biodentine	clearfil se bond
G4 the-abu	therabase	allbond universal
G5 the- sbu	therabase	scotch bond universal plus
G6 the-cf	therabase	clearfil se bond

Los biomateriales bioactivos utilizados en esta investigación fueron manipulados y aplicados conforme a las indicaciones del fabricante, garantizando así la reproducibilidad y estandarización del protocolo experimental.

Fueron establecidos como grupos control dentro del diseño experimental los grupos G3 (BIO-CF) y G6 (THE-CF). La fotopolimerización de los adhesivos se realizó durante 20 segundos utilizando una unidad de fotocurado LED de alta intensidad ( Ultradent; VALO Grand, South Jordan, Utah, EE. UU.), calibrada para emitir una intensidad radiante constante de 1200 mW/cm<sup>2</sup>. Una vez completados los protocolos adhesivos recomendados por el fabricante. En la Tabla 2 se muestran las características de los materiales dentales analizados en este estudio.

## Tabla 2.

### *Características de los materiales utilizados en el estudio.*

Material	Composición	Modo de empleo
Biodentine (Septodont en Saint-Maur-des-Fossés, Cedex, Francia, #B33841)	Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de circonio, carbonato de calcio, óxido de calcio y óxido de hierro.  Líquido: cloruro de calcio, polímero hidrosoluble de policarboxilato y agua	5 gotas de líquido en la cápsula y mezclar 30 s a 4000 rpm
Therabase (Bisco Inc., Schaumburg, Illinois, Estados Unidos, #2500000374)	Base: iterbio con vidrio de bario, dimetacrilato de bisfenol A etoxilado, cemento Portland, fluoruro de iterbio, ácido bromobenzenosulfínico, dihidrato de sodio, Bis-GMA, dióxido de titanio, acetil-2-tiourea  Catalizador: 10-MDP, metacrilato de 2 hidroxietilo, perbenzoato de terc-butilo	Aplicar a la superficie.  Curado dual:  Fotopolimerización: 20 segundos.  Autopolimerización: 4 minutos.

Clearfill SE Bond (Kuraray Noritake Dental Inc. Ookayama, Japan, #730460)	Matriz polimérica: Metacrilato de 4-metacriloxifenol-etanol (4-META), acrilato de bisfenol-A glicidilmetacrilato (Bis-GMA), 10-MDP, hidróxido de etilo, resinas alifáticas, agua, relleno inorgánico: Sílice.	Aplicar una capa de primer, frotar durante 20 segundos y airear durante 5 segundos. Posteriormente, aplicar el Bond creando una capa uniforme. Fotopolimerizar durante 20 segundos.
All Bond Universal (Bisco Inc., Schaumburg, Illinois, Estados Unidos, #2400014073)	2-HEMA, MDP, Bis-GMA, Metacrilato de diglicidilo de bisfenol A, metacrilato de 2-hidroxietilo, etanol, agua, iniciadores.	Frotar la superficie 20 segundos. Airear durante 10 segundos. Fotopolimerizar 20 segundos.
Scotchbond Universal Plus (3M ESPE; Seefeld, Alemania, #11419155)	Ácido 2-propenoico, 2-metil-, diésteres con 4,6-dibromo-1,3-bencenodiol 2- (2 hidroxietoxi) etil 3-hidroxipropil diésteres. Metacrilato de 2- Hidroxietilo, productos de reacción con 1,10-decanodiol y óxido de fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), etanol, fotoiniciador, rellenos, agua	Frotar la superficie 20 segundos. Airear durante 10 segundos. Fotopolimerizar 20 segundos.
Filtek Bulk Fill Flowable (3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU. #9712356)	BisGMA, UDMA, BisEMA, Resina de procrylat, trifluoruro de iterbio (YbF <sub>3</sub> ), cargas cerámicas, iniciadores, estabilizadores.	Se colocaron capas de hasta 4 mm y se curaron con luz durante 40 segundos.

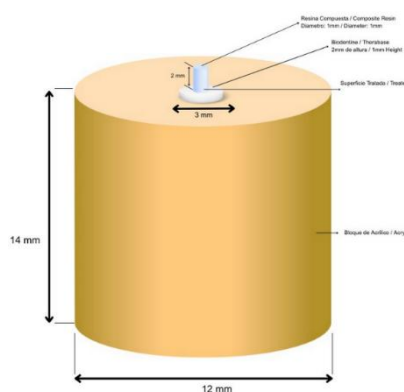
Con el propósito de asegurar una aplicación controlada, precisa y reproducible del agente resinoso, se utilizó un tubo de polímero flexible cuyas dimensiones fueron: 1mm diámetro interior x 1.7 mm diámetro exterior y 2 mm de alto, esta matriz fue colocada sobre el biomaterial para luego en su interior ser llenado con resina Filtek Bulk Fill Flowable siguiendo las recomendaciones del fabricante, procurando una distribución uniforme y libre de vacíos. La fotopolimerización del material se realizó durante 20 segundos utilizando una unidad de curado LED de alta intensidad (VALO Grand, Ultradent; South Jordan, Utah, EE. UU.), calibrada para emitir una irradiación constante de 1200 mW/cm<sup>2</sup>, asegurando así una activación adecuada del sistema resinoso. Luego los tubos de polímero flexible se retiraron cuidadosamente con una hoja

de bisturí N° 11 Biolife (Sterilance Medical; Suzhou, China).

Al final, los cuerpos de prueba se almacenaron en una cámara de incubación a 37 °C y 100 % de humedad relativa durante 24 horas, lo que permitió la completa maduración del material resinoso y la estabilización de sus propiedades físico-químicas antes de su análisis. El procedimiento metodológico de preparación de las muestras se detalla esquemáticamente en la figura 1.

### Figura 1.

*Bloque de acrílico cilíndrico para sujetar las muestras.*



Al final todas las muestras fueron llevadas a un proceso de envejecimiento mediante una máquina de termociclado (Thermal cycling machine (OMC350 TS; Odeme dental research; Joacaba SC, Brazil) mediante 5000 ciclos de calor y de frío entre 5 y 55 °C (Tohidkhah Ahmadi, 2022).

### Análisis De Resistencia De Unión (Microcizallamiento)

Luego de las muestras ser sometidas al proceso de envejecimiento estas fueron llevadas para realizar las pruebas de microcizallamiento ( $\mu$ SBS) mediante una máquina de pruebas universales modelo OM150 (Odeme Dental Research; Luzerna, Brasil).

Durante el procedimiento, se aplicó una fuerza de compresión dirigida de forma paralela a la interfaz adhesiva, con una velocidad constante de desplazamiento de 1 mm/min, hasta producir su fractura. La resistencia adhesiva se determinó dividiendo la carga máxima obtenida, medida en Newtons, entre la superficie de la interfase de unión expresada en milímetros cuadrados, reportando los valores en Megapascales (MPa). Se empleó la fórmula  $MPa = F (N) / (\pi \cdot r^2)$ , donde  $r$  representa el radio de la base adherida. Para cada grupo experimental se determinó la media aritmética de los valores obtenidos.

### **Análisis De La Interfaz Adhesiva**

Tras el desprendimiento, las superficies fracturadas se recolectaron y analizaron con el propósito de identificar el tipo de falla presente en la interfaz adhesiva. Para ello, se empleó una cámara digital profesional (EOS Rebel T5i; Canon Co., Tokio, Japón) equipada con un lente macro (EF 100 mm f/2.8L Macro; Canon, Tokio, Japón) y un flash anular (Macro Ring Lite; Canon Co., Tokio, Japón). Las fotografías se obtuvieron manteniendo constantes los parámetros de exposición: velocidad de obturación 1/30 s, apertura f/5 e ISO 100.

Con base en los patrones de fractura observados, se estableció una tipología de fallas dividida en cuatro categorías: separación adhesiva en la zona de unión, ruptura interna del material bioactivo, fractura dentro del compuesto resinoso, y falla mixta, caracterizada por la presencia simultánea de componentes adhesivos y cohesivos.

Para el análisis morfológico a mayor resolución, se eligieron muestras emblemáticas de cada tipo de fractura, las cuales fueron colocadas sobre un portaobjetos metálico y metalizadas con una fina capa de oro mediante un proceso de pulverización por vacío controlado (duración: 120 segundos, ciclo único). Posteriormente, las muestras fueron evaluadas utilizando un

microscopio electrónico de barrido (MEB) modelo EVO 10 MA (Carl Zeiss; Oberkochen, Alemania), operando con un voltaje de aceleración de 20 kV y un aumento de 95x. Todas las observaciones fueron registradas por un solo operador capacitado, mientras que el análisis de las imágenes fue llevado a cabo por dos evaluadores previamente entrenados y calibrados para asegurar la objetividad en la interpretación.

Luego se seleccionaron 4 muestras, las más representativas del tipo de falla. El mismo que fue analizado en microscopia electrónica de barrido (EVO MA; Carl Zeiss, Oberkochen, Alemania) a 20 kV. Previo a la observación en el microscopio electrónico de barrido, las muestras fueron recubiertas con oro utilizando la técnica de pulverización catódica al vacío (120, un solo ciclo).

### **Análisis Estadístico**

Los resultados experimentales fueron analizados empleando el software estadístico Jamovi (versión 2.3.18.0). Para verificar los supuestos de normalidad de distribución y homogeneidad de varianzas, se utilizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Una vez verificadas ambas condiciones, se efectuó un análisis de varianza de un factor (ANOVA unidireccional) con el propósito de contrastar las medias de resistencia de unión entre los seis grupos estudiados. Posteriormente, se aplicó la prueba post hoc de Tukey para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los pares de grupos.

Además, se realizó un ANOVA de dos vías con el fin de examinar por separado y en conjunto la influencia del tipo de biomaterial y del sistema adhesivo en la resistencia adhesiva, considerando también la posible interacción entre dichos factores. El criterio de significancia estadística se estableció en  $\alpha = 0.05$ .

## Hallazgos

En la Tabla 3 se presentan los valores de resistencia de unión posteriores al envejecimiento correspondientes a los seis grupos experimentales, expresados como media, desviación estándar e intervalos de confianza.

**Tabla 3.**

*Valores de resistencia de unión después del envejecimiento.*

Grupos	bio-abu	bio-sbu	bio-cf	the-abu	the-sbu	the-cf
Media	9.85 <sup>b</sup>	9.52 <sup>bc</sup>	6.77 <sup>c</sup>	18.75 <sup>a</sup>	17.81 <sup>a</sup>	17.25 <sup>a</sup>
DE	2.08	2.20	1.37	2.99	1.48	1.76
IC	8.56-11.13	8.16-10.88	5.92-7.62	16.89-20.60	16.89-18.73	16.16-18.33

Fuente: Wilfredo Escalante, 2026.

<sup>ab</sup> Cuando se observan letras minúsculas diferentes en la misma fila, esto indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas (ANOVA, seguido de la prueba post hoc de Tukey;  $p < 0.05$ ). DE corresponde a desviación estándar; IC a intervalo de confianza. ABU: All-Bond Universal; SBU: Scotchbond Universal; CF: Clearfil SE Bond.

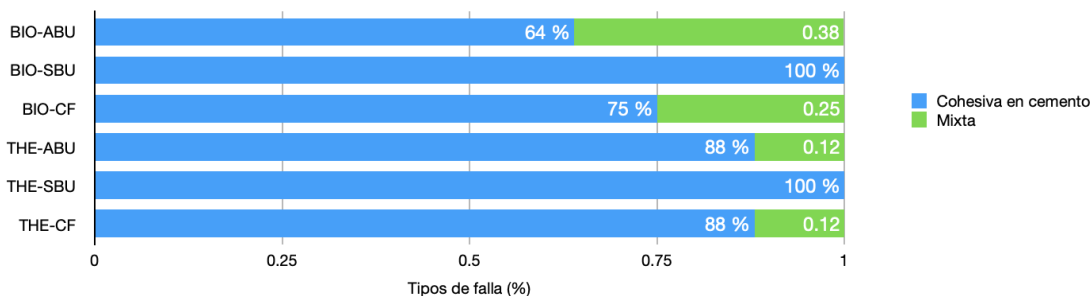
Los subgrupos que emplearon Biodentine (BIO) mostraron medias entre 6.77 y 9.85 MPa, mientras que los de Therabase (THE) registraron valores comprendidos entre 17.25 y 18.75 MPa. El análisis evidenció diferencias estadísticamente significativas según el tipo de material bioactivo ( $p < 0.001$ ). Dentro de los subgrupos con Biodentine, BIO-CF presentó valores menores de forma significativa frente a BIO-ABU ( $p < 0.05$ ), sin diferencias con BIO-SBU ( $p > 0.05$ ). En los subgrupos con Therabase no se identificaron diferencias significativas entre los

sistemas adhesivos ( $p > 0.05$ ). El ANOVA bifactorial reveló efectos principales significativos tanto del tipo de material bioactivo ( $p < 0.001$ ) como del sistema adhesivo ( $p = 0.009$ ), sin detectarse interacción entre ambos ( $p = 0.309$ ).

En la figura 2 se ilustran los tipos de falla tras el envejecimiento, donde, predominaron las fallas cohesivas en el material bioactivo y muy pocas fallas mixtas.

## Figura 2

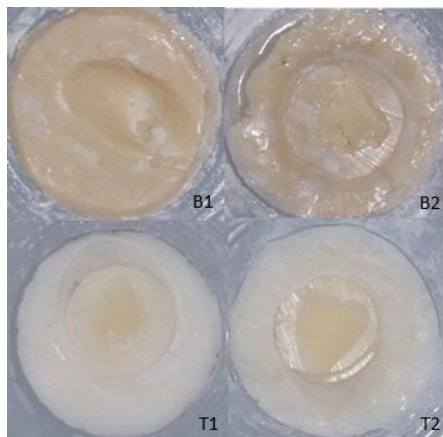
*Clasificación de los tipos de falla adhesiva observados en los grupos evaluados tras el envejecimiento.*



Fuente: Wilfredo Escalante.

## Figura 3.

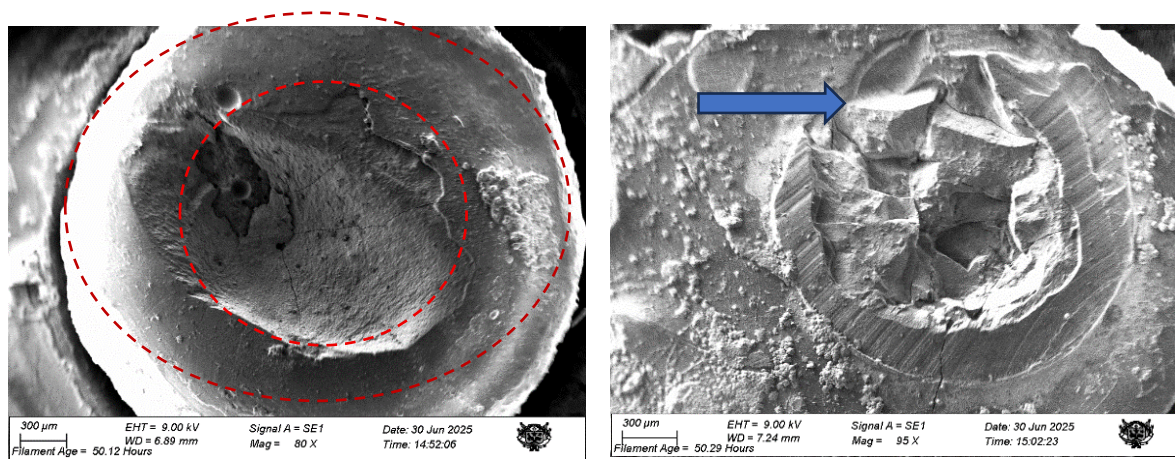
*Fotografías de los diferentes tipos de falla.*



Nota: B1: falla cohesiva en Biodentine, T1: falla cohesiva en Therabase, B2: falla mixta en Biodentine, T2: falla mixta en Therabase.

**Figura 4.**

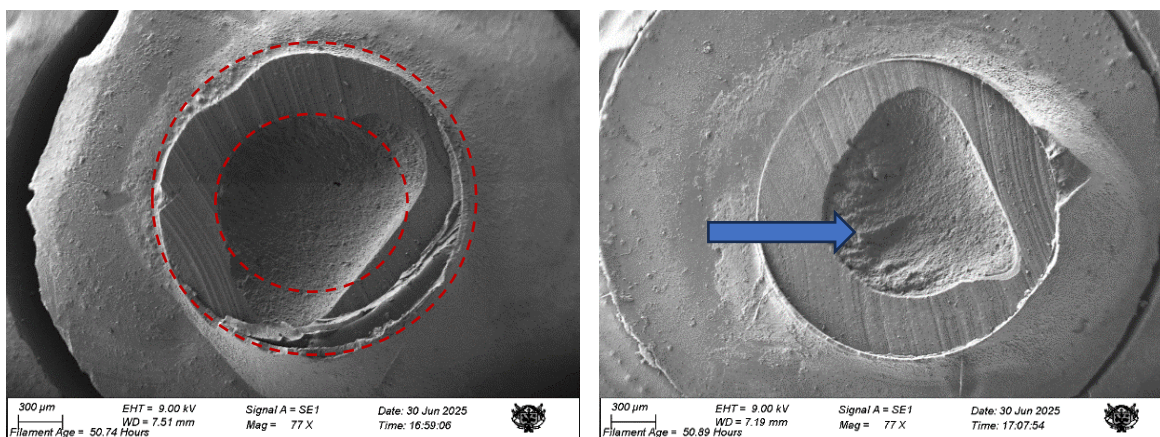
*Análisis del tipo de falla en Biodentine observada en MEB*



Nota: El área de falla adhesiva está indicada por la circunferencia interna, mientras que la externa marca el diámetro del tubo polimérico. B1 muestra una falla cohesiva en Biodentine y B2 una falla mixta en este material. La flecha indica la existencia de residuos de resina en el punto de fractura.

**Figura 5.**

*Análisis del tipo de falla en Therabase observada en MEB*



Nota: La zona de la falla adhesiva se encuentra delimitada por la circunferencia interna mientras que la circunferencia externa indica el diámetro del tubo de polímero. T1 corresponde a una falla cohesiva en Therabase y T2 corresponde a una falla mixta en Therabase. La flecha indica la presencia de restos de resina a nivel de la fractura.

## Discusión

Los resultados de este estudio revelaron diferencias significativas en la resistencia de unión entre los materiales bioactivos Biodentine y Therabase después del envejecimiento. Los grupos con Therabase mostraron valores de resistencia de unión notablemente superiores (17.25–18.75 MPa) en comparación con los grupos con Biodentine (6.77–9.85 MPa). Estas diferencias pueden atribuirse a las propiedades intrínsecas de cada material y a su interacción con los adhesivos utilizados.

Biodentine es un material bioactivo de silicato de calcio (Kadali et al., 2021) que destaca por su biocompatibilidad, bioactividad y capacidad de sellado (Koutroulis et al., n.d.). Sin embargo, su composición química, que incluye silicatos tricálcicos y dicálcicos, (Ghilotti et al., 2020) así como óxidos de circonio y hierro, (Alipour et al., 2022) podría limitar su adhesión a los sistemas adhesivos universales. La naturaleza hidrofílica de Biodentine podría favorecer la absorción de agua, lo que debilitaría la interfaz adhesiva con el tiempo (Hosseini Nekoofar et al., 2018), especialmente en condiciones de envejecimiento. Además, su fragilidad estructural (Choudhury & Nekkanti, 2021) en comparación con los materiales resinosos podría explicar la mayor incidencia de fallas mixtas observadas en los grupos con Biodentine.

Por otro lado, Therabase que es un material de base compuesto por material bioactivo, presenta una matriz polimérica (Shin et al., 2023) que facilita una mejor integración con los adhesivos dentales. Su composición incluye dimetacrilato de bisfenol, 10-MDP y metacrilato de 2-hidroxietilo (HEMA) (Ye et al., 2022), lo que le confiere una mayor afinidad química con los sistemas adhesivos universales (Wang et al., 2023) La presencia de 10-MDP, un monómero conocido por formar enlaces estables con sustratos calcificados (Iuchi et al., 2025), podría ser clave para la mayor resistencia de unión observada en los grupos con Therabase. Además, su

capacidad de liberación de flúor y su menor susceptibilidad a la hidrólisis en comparación con Biodentine contribuyen a su durabilidad. Los adhesivos universales evaluados en este estudio, All-Bond Universal (ABU) y Scotchbond Universal Plus (SBU), mostraron un desempeño similar en términos de resistencia de unión, aunque con ligeras variaciones dependiendo del material bioactivo utilizado.

All-Bond Universal demostró una adhesión consistentemente alta en ambos materiales bioactivos, lo que sugiere que su formulación, que incluye 10-MDP y HEMA, es efectiva para crear enlaces estables con sustratos diversos (Wendlinger et al., 2023). La presencia de HEMA mejora la penetración del adhesivo en la superficie del material bioactivo, pero también podría aumentar su susceptibilidad a la degradación hidrolítica con el tiempo (Muñoz et al., 2013). (Nonato et al., 2022) Sin embargo, en este estudio, ABU mantuvo una resistencia de unión adecuada incluso después del envejecimiento, lo que respalda su uso en aplicaciones clínicas donde la durabilidad es crítica.

Scotchbond Universal Plus mostró resultados comparables a ABU, pero con una ligera tendencia a menores valores de resistencia en combinación con Biodentine. Esto podría deberse a diferencias en su composición, como la inclusión de etanol y fotoiniciadores específicos (Takano et al., n.d.), (Tian et al., 2016), que podrían afectar su interacción con materiales más hidrofílicos como Biodentine. No obstante, en combinación con Therabase, SBU alcanzó valores de resistencia similares a ABU, lo que indica que su desempeño es óptimo cuando se utiliza con materiales resinosos.

Cabe destacar que Clearfil SE Bond (CF), un adhesivo de autograbado de dos pasos (Raji et al., 2022), mostró la menor resistencia de unión en los grupos con Biodentine. Esto podría

deberse a su menor capacidad para interactuar con la superficie de silicato de calcio en comparación con los adhesivos universales. Sin embargo, en los grupos con Therabase, CF mostró un desempeño similar a ABU y SBU, lo que sugiere que su eficacia depende en gran medida del sustrato al que se adhiere.

En lo que tiene que ver con la metodología utilizada en este estudio, podemos afirmar que el envejecimiento in vitro mediante termociclado (5000 ciclos entre 5°C y 55°C) simula las condiciones dinámicas de la cavidad oral donde los materiales están sujetos a fluctuaciones térmicas, humedad y cargas oclusales (Kim et al., 2022; Sampaio et al., 2016). Esta técnica permitió evaluar la estabilidad de la unión adhesiva a largo plazo, revelando diferencias significativas entre los grupos.

Los resultados mostraron que los grupos con Therabase mantuvieron una alta resistencia de unión después del envejecimiento, lo que sugiere que este material es más resistente a la degradación hidrolítica y térmica, como en efecto lo reportan otros estudios (Shirsath et al., 2025). Por el contrario, los grupos con Biodentine experimentaron una mayor reducción en la resistencia de unión, lo que podría atribuirse a su mayor absorción de agua y fragilidad estructural según lo afirma Mesut Enes OdabaG (Odabaş et al., 2013).

Además, el predominio de fallas mixtas en Biodentine después del envejecimiento indica que la debilidad reside en el propio material y no en la interfaz adhesiva. En cambio, en los grupos con Therabase, las fallas fueron mayormente mixtas, lo que sugiere una mejor integración entre el material bioactivo y el adhesivo.

A pesar de los hallazgos significativos, este estudio presenta varias limitaciones:

Diseño in vitro: Los resultados no pueden extrapolarse directamente a condiciones clínicas, donde factores como la carga oclusal, la saliva y los microorganismos pueden influir en el desempeño de los materiales (Bayne, 2012).

Tamaño de la muestra: Un tamaño muestral más grande podría aumentar la potencia estadística y reducir el margen de error, sin embargo, se sabe que una desviación estándar baja, como en nuestra investigación indica una confiabilidad de los resultados aún en presencia de muestras pequeñas.

Falta de evaluación a más largo plazo, el envejecimiento simulado, aunque útil, no replica completamente el envejecimiento natural en la cavidad oral. Estudios a más largo plazo o in vivo serían necesarios para confirmar estos hallazgos. Variabilidad en la preparación de muestras, aunque se siguieron protocolos estandarizados, pequeñas variaciones en la manipulación de los materiales podrían afectar los resultados.

### **Conclusiones**

Este estudio demostró que Therabase ofrece una resistencia de unión significativamente mayor que Biodentine después del envejecimiento, independientemente del adhesivo utilizado. Los adhesivos universales All-Bond Universal y Scotchbond Universal Plus mostraron un desempeño similar, aunque su eficacia varió según el material bioactivo. La técnica de envejecimiento confirmó que Therabase es más resistente a las condiciones adversas, mientras que Biodentine presenta limitaciones en su durabilidad. Estos hallazgos respaldan el uso de Therabase en combinación con adhesivos universales para restauraciones que requieren alta resistencia y longevidad. Sin embargo, se necesitan más estudios clínicos para validar estos resultados en entornos reales.

## Referencias

- Alipour, M., Leili, |, Gavgani, F., & Ghasemi, N. (2022). Push-out bond strength of the calcium silicate-based endodontic cements in the presence of blood: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. <https://doi.org/10.1002/cre2.546>
- Arandi, N. Z., & Thabet, M. (2021). Minimal Intervention in Dentistry: A Literature Review on Biodentine as a Bioactive Pulp Capping Material. *BioMed Research International*, 2021(1), 5569313. <https://doi.org/10.1155/2021/5569313>
- Bahari, M., Oskoe, S. S., Esmaeel, M., Chaharom, E., Kahnamoui, M. A., Gholizadeh, S., & Davoodi, F. (2021). Effect of accelerated aging and double application on the dentin bond strength of universal adhesive system. *In Dental Research Journal* (Vol. 1). [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/1480](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/1480)
- Bayne, S. C. (2012). Correlation of clinical performance with ‘in vitro tests’ of restorative dental materials that use polymer-based matrices. *Dental Materials*, 28(1), 52–71. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2011.08.594>
- Bond, M., Vuleti, M., Pelivan, I., Tsujimoto, A., Fischer, N. G., Barkmeier, W. W., & Latta, M. A. (2022). Citation: Tsujimoto, A Bond Durability of Two-Step HEMA-Free Universal Adhesive. <https://doi.org/10.3390/jfb13030134>
- Breschi, L., Maravic, T., Mazzitelli, C., Josic, U., Mancuso, E., Cadenaro, M., Pfeifer, C. S., & Mazzoni, A. (2025). The evolution of adhesive dentistry: From etch-and-rinse to universal bonding systems. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.11.011>
- Camilleri, J. (2013). Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *Journal of Dentistry*, 41(7), 600–610. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2013.05.003>
- Choudhury, W. R., & Nekkanti, S. (2021). Mechanical Properties of SDR™ and Biodentine™ as Dentin Replacement Materials: An In Vitro Study. *The Journal of Contemporary Dental Practice*. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3281>
- Cruz, J., Silva, A., Eira, R., Sousa, B., Lopes, M., & Cavalheiro, A. (2021). Dentin Permeability and Nanoleakage of Universal Adhesives in Etch-and-rinse vs Self-etch Modes. *Operative Dentistry*, 46(3), 293–305. <https://doi.org/10.2341/19-276-L>
- de Kuijper, M. C. F. M., Cune, M. S., Özcan, M., & Gresnigt, M. M. M. (2023). Clinical performance of direct composite resin versus indirect restorations on endodontically treated

- posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 130(3), 295–306. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2021.11.009>
- Ferrari, M., Pontoriero, D. I. K., Ferrari, | Edoardo, Dds, C., & Carboncini, F. (2022). Restorative difficulty evaluation system of endodontically treated teeth. <https://doi.org/10.1111/jerd.12880>
- Ghilotti, J., Sanz, J. L., López-García, S., Guerrero-Gironés, J., Pecci-Lloret, M. P., Lozano, A., Llena, C., Rodríguez-Lozano, F. J., Forner, L., & Spagnuolo, G. (2020). Comparative Surface Morphology, Chemical Composition, and Cytocompatibility of Bio-C Repair, Biodentine, and ProRoot MTA on hDPCs. *Materials* 2020, Vol. 13, Page 2189, 13(9), 2189. <https://doi.org/10.3390/MA13092189>
- Guarda, M. B., Pacheco, R. R., Silva, I. D., Brandt, W. C., Sinhoreti, M. A. C., & Vitti, R. P. (2022). Microtensile bond strength of resin composite to dentin using different adhesive systems and directions of electric current. *Brazilian Dental Journal*, 33(6), 86–93. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202204870>
- Henrique, T., Stape, S., Uctasli, M., Cibelik, S., Tjäderhane, L., & Tezvergil-Mutluay, A. (2021). ScienceDirect Dry bonding to dentin: Broadening the moisture spectrum and increasing wettability of etch-and-rinse adhesives. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.08.021>
- Hossein Nekoofar, M., Motevasselian, F., Mirzaei, M., Yassini, E., Pouyanfar, H., & Dummer, P. M. (2018). The Micro-Shear Bond Strength of Various Resinous Restorative Materials to Aged Biodentine. *IEJ Iranian Endodontic Journal*, 13(3), 356–361. <https://doi.org/10.22037/iej.v13i3.20880>
- Ingle, P., Srinidhi, S. R., Late, L., & Tandon, S. (2025). Role of configuration factor on bond strength of universal adhesives in occlusal cavities: An in vitro study. [https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE\\_247\\_25](https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_247_25)
- Iuchi, T., Yonekura, K., Ida, Y., Motoyama, Y., Ikeda, M., Hamada, K., Nakajima, M., & Hosaka, K. (2025). The effect of HEMA and 10-MDP in the bonding agent of a two-step self-etch system on water sorption, elastic modulus, and microtensile bond strength to dentin. *Dental Materials Journal*, 44(1), 17–23. <https://doi.org/10.4012/DMJ.2024-209>
- Jäggi, M., Karlin, S., Zitzmann, N. U., & Rohr, N. (2024a). Shear bond strength of universal adhesives to human enamel and dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(5), 804–812. <https://doi.org/10.1111/JERD.13204>

- Jäggi, M., Karlin, S., Zitzmann, N. U., & Rohr, N. (2024b). Shear bond strength of universal adhesives to human enamel and dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry : Official Publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.]*, 36(5), 804–812. <https://doi.org/10.1111/JERD.13204>
- Jayasheel, A., Niranjan, N., Pamidi, H., & Suryakanth, M. B. (2017). Comparative Evaluation of shear Bond Strength of universal Dental Adhesives-An in vitro study. *Dental Health Officer, Government Hospital*, 9(7), 892–898. <https://doi.org/10.4317/jced.53816>
- Jorge Perdigao, Edson Araujo, Renato Q. Ramos, George Gomes, & Lucas Pizzolotto . (2020). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *J Esthet Restor Dent*, 2–14. <https://sci-hub.se/10.1111/jerd.12692>
- Kadali, N. S., Alla, R. K., AV, R., MC, S. S., Mantena, S. R., & RV, R. (2021). An overview of composition, properties, and applications of Biodentine. <https://papers.ssrn.com/abstract=3979364>
- Karabay, F., Demirci, M., Tuncer, S., Tekçe, N., Berkman, M., & Baydemir, C. (2023). Short-Term Comparison of Clinical Performance of Universal Adhesives with Self-Etch Mode in NCCL Restorations. *The European Journal of Prosthodontics and Restorative Dentistry*, 31(2), 78–91. [https://doi.org/10.1922/EJPRD\\_2429KARABAY14](https://doi.org/10.1922/EJPRD_2429KARABAY14)
- Kayaci, Ş. T., Yazici, Z. S., Kınıkoğlu, İ., Özüdoğru, S., & Arslan, H. (2024). A randomized controlled clinical trial of the performance of three bioactive endodontic cements in primary molar teeth diagnosed with reversible pulpitis: 1-year follow-up study. *Journal of Dentistry*, 150, 105378. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2024.105378>
- Kim, S. H., Choi, Y. S., Kang, K. H., & Att, W. (2022). Effects of thermal and mechanical cycling on the mechanical strength and surface properties of dental CAD-CAM restorative materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(1), 79–88. <https://doi.org/10.1016/J.PROSDENT.2020.11.014>
- Kitahara, S., Shimizu, S., Takagaki, T., Inokoshi, M., Abdou, A., Burrow, M. F., & Nikaido, T. (2024). Dentin Bonding Durability of Four Different Recently Introduced Self-Etch Adhesives. *Materials (Basel, Switzerland)*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/MA17174296>
- Korkmaz, B., Demirel, E., Ye, Q., Misra, A., Tamerler, C., & Spencer, P. (2024). Synergistic enhancement of hydrophobic dental adhesives: autonomous strengthening, polymerization

- kinetics, and hydrolytic resistance. *Frontiers in Dental Medicine*, 5.  
<https://doi.org/10.3389/FDMED.2024.1373853>
- Koutroulis, A., Valen, H., Dag Ørstavik, ·, Kapralos, V., Camilleri, J., & Sunde, P. T. (n.d.). Surface characteristics and bacterial adhesion of endodontic cements. *Clinical Oral Investigations*, 1, 3. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04655-y>
- Lima, V. P., Machado, J. B., Zhang, Y., Loomans, B. A. C., & Moraes, R. R. (2022). Laboratory methods to simulate the mechanical degradation of resin composite restorations. *Dental Materials*, 38(1), 214–229. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2021.12.006>
- Muñoz, M. A., Luque, I., Hass, V., Reis, A., Loguercio, A. D., & Bombarda, N. H. C. (2013). Immediate bonding properties of universal adhesives to dentine. *Journal of Dentistry*, 41(5), 404–411. <https://doi.org/10.1016/J.JDENT.2013.03.001>
- Nikaido, T., Kunzelmann, K. H., Chen, H., Ogata, M., Harada, N., Yamaguchi, S., Cox, C. F., Hickel, R., & Tagami, J. (2002). Evaluation of thermal cycling and mechanical loading on bond strength of a self-etching primer system to dentin. *Dental Materials*, 18(3), 269–275. [https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(01\)00048-3](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(01)00048-3)
- Nonato, R. de F., Moreira, P. H. de A., Silva, D. de O. da, Ferreira, M. W. C. de, Reis, A., Cardenas, A. F. M., Loguercio, A. D., & Siqueira, F. S. F. de. (2022). Long-term Evaluation of Bonding Performance of Universal Adhesives based on Different Dentinal Moisture Levels. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 24(1), 395–406. <https://doi.org/10.3290/J.JAD.B3559027>
- Odabaş, M. E., Bani, M., & Tirali, R. E. (2013). Shear bond strengths of different adhesive systems to biodentine. *The Scientific World Journal*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/626103>
- Oltramare, R., Par, M., Mohn, D., Wiedemeier, D. B., Attin, T., Tauböck, T. T., & Elsharkawy, S. (2021). Short-and Long-Term Dentin Bond Strength of Bioactive Glass-Modified Dental Adhesives. <https://doi.org/10.3390/nano11081894>
- Pimentel De Oliveira, R., Lucy De Paula, B., Ribeiro, M. E., Alves, E., Ulio Costi, H. T. ´, & Silva, C. (2022). Evaluation of the Bond Strength of Self-Etching Adhesive Systems Containing HEMA and 10-MDP Monomers: Bond Strength of Adhesives Containing HEMA and 10-MDP. <https://doi.org/10.1155/2022/5756649>

- Raji, Z., Hosseini, M., & Kazemian, M. (2022). Micro-shear bond strength of composite to deep dentin by using mild and ultra-mild universal adhesives. *Dental Research Journal*, 19(1), 44. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.346402>
- Sampaio, C. S., Rodrigues, R. V, Souza-Junior, E. J., Freitas, A. Z., Ambrosano, G., Pascon, F. M., Puppini-Rontani, R. M., Sampaio, C. S., Rodrigues, R. V, Souza-Junior, E. J., Freitas, A. Z., Bovi Ambrosano, G. M., Pascon, F. M., & Puppini-Rontani, R. M. (2016). Effect of Restorative System and Thermal Cycling on the Tooth-Restoration Interface-OCT Evaluation. *Operative Dentistry*, 162–170. <https://doi.org/10.2341/14-344-L>
- Sari, T., Usumez, A., Strasser, T., Şahinbas, A., & Rosentritt, M. (n.d.). Temporary materials: comparison of in vivo and in vitro performance. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03278-5>
- Sharafeddin, F., Nouri, H., Koohepeima, F., & Author, C. (2015). The Effect of Temperature on Shear Bond Strength of Clearfil SE Bond and Adper Single Bond Adhesive Systems to Dentin. *J Dent Shiraz Univ Med Sci*, 16(1), 10–16.
- Shin, W., Kim, H., Song, J.-S., Jeon Shin, T., Kim, Y.-J., Kim, J.-W., Jang, K.-T., & Hyun, H.-K. (2023). Comparison of Shear Bond Strength in Novel Calcium Silicate-Based Materials to Composite Resin. <https://doi.org/10.5933/JKAPD.2023.50.4.443>
- Shirsath, S. G., Bhargava, K., Srinidhi, S. R., Mulay, S., Gambhir, A., & Kakodkar, R. (2025). Comparative evaluation of shear bond strength of TheraBase and composite resins to dentin: an in vitro study. *Journal of Stomatology*, 78(1), 1–5. <https://doi.org/10.5114/JOS.2025.148392>
- Takano, S., Takahashi, R., Tabata, T., Zeng, C., Ikeda, M., & Shimada, Y. (n.d.). RESEARCH Open Access Bonding performance of universal adhesive systems with dual-polymerising resin cements to various dental substrates: in vitro study. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05438-z>
- Tang, C., Mercelis, B., Ahmed, M. H., Yoshihara, K., Peumans, M., & Van Meerbeek, B. (2023). Adhesive Performance Assessment of Universal Adhesives and Universal Adhesive/Composite Cement Combinations. *J Adhes Dent*, 25, 241–256. <https://doi.org/10.3290/j.jad.b4646953>
- Tian, F., Zhou, L., Zhang, Z., Niu, L., Zhang, L., Chen, C., Zhou, J., Yang, H., Wang, X., Fu, B., Huang, C., Pashley, D. H., & Tay, F. R. (2016). Paucity of nanolayering in resin-dentin

interfaces of MDP-based adhesives. *Journal of Dental Research*, 95(4), 380–387.

[https://doi.org/10.1177/0022034515623741/SUPPL\\_FILE/JDR623741\\_APPENDIX\\_REV1.PDF](https://doi.org/10.1177/0022034515623741/SUPPL_FILE/JDR623741_APPENDIX_REV1.PDF)

Tseng, C.-W., Yong, C.-Y., Fang, C.-Y., Lee, S.-Y., Wang, Y.-C., & Lin, W.-C. (2023). Comparative analysis of bonding strength between enamel and overlay of varying thicknesses following an aging test. *Journal of Dental Sciences*, 18, 1850–1858.

<https://doi.org/10.1016/j.jds.2023.06.011>

Wang, L., Agulhari, M. A. S., Froio, N. L., Campos, M. M. B., Mosquim, V., Brianezzi, L. F. D. F., D'Alpino, N. da R. S., & Honório, H. M. (2023). 10-MDP-based dentin bonding systems: why is chlorhexidine not worth to be used adjunctively? *Journal of Adhesion Science and Technology*, 37(24), 3569–3581. <https://doi.org/10.1080/01694243.2023.2211790>

Wendlinger, M., Nuñez, A., Moreira, P. H. A., de Souza Carneiro, T., Cochinski, G. D., De Siqueira, F. S. F., Cardenas, A. F. M., & Loguercio, A. D. (2023). Effect of the Absence of HEMA on the Bonding Properties of Universal Adhesive Systems Containing 10-MDP: An In Vitro Study. *Operative Dentistry*, 48(5), 500–512. <https://doi.org/10.2341/22-050-L>

Wu, D., Yao, Y., Cifuentes-Jimenez, C. C., Sano, H., Álvarez-Lloret, P., Yamauti, M., & Tomokiyo, A. (2024). Long-Term Dentin Bonding Performance of Universal Adhesives: The Effect of HEMA Content and Bioactive Resin Composite. *Journal of Functional Biomaterials* 2024, Vol. 15, Page 379, 15(12), 379. <https://doi.org/10.3390/JFB15120379>

Wu, Z., Sun, K., Wang, W., Xue, Q., Tonin, B. S. H., Watts, D. C., Fu, J., & Wang, H. (2024). Characterization of dental light-curing resin composites incorporating multiple modified low-shrink monomers. *Dental Materials : Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 40(8), 1244–1251. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2024.05.031>

Ye, S., Chuang, S. F., Hou, S. S., Lin, J. C., Kang, L. L., & Chen, Y. C. (2022). Interaction of silane with 10-MDP on affecting surface chemistry and resin bonding of zirconia. *Dental Materials*, 38(4), 715–724. <https://doi.org/10.1016/J.DENTAL.2022.02.014>

Yollar, M., Karaoğlanoğlu, S., Altıparmak, E. T., Oktay, E. A., Aydın, N., & Ersöz, B. (n.d.). The effects of dental adhesives total etch; self-etch and selective etch application procedures on microleakage in class II composite restorations. ORCID.

<https://doi.org/10.26650/eor.20231197657>