



Facultad Ciencias de la Salud

Especialidad en Endodoncia

Tema:

**Evaluación de la resistencia de unión de materiales bioactivos
a composites, mediante pruebas de
microcizallamiento. Estudio *in vitro*.**

**Tesis para la obtención del Título de
“Especialista en Endodoncia”**

Presentada por:

Brilly Russoll Manjarrés Hernández

Tutor:

Dr. Cristian Fernando Sánchez Puetate

Quito, julio de 2025

Resumen

Este estudio evaluó la resistencia de unión en la interfaz adhesiva de dos materiales bioactivos, Biodentine (BIO) y Therabase (THE), combinados con sistemas adhesivos universales aplicados en estrategia autocondicionante, mediante prueba de microcizallamiento. Se prepararon 48 bloques de acrílico, los cuales fueron sometidos a limpieza ultrasónica y desinfección con alcohol al 70 %. Los especímenes se dividieron en seis grupos: dos grupos control en los que se empleó Clearfil SE Bond (CF), un sistema adhesivo autocondicionante de dos pasos; dos grupos con All Bond Universal (ABU) y dos grupos con Scotchbond Universal Plus (SBU).

Sobre las muestras se aplicó el composite de resina Filtek Bulk Fill Flowable, y la fotoactivación se realizó con una lámpara VALO Grand a una intensidad de 1200 mW/cm². Posteriormente, los especímenes se almacenaron a 37 °C durante 24 horas. La resistencia de unión se evaluó mediante ensayos de microcizallamiento utilizando una máquina universal de pruebas (OM150) a una velocidad de 1 mm/min. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y pruebas post-hoc de Tukey ($p < 0.05$). Las fallas se clasificaron como adhesivas, cohesivas o mixtas, y se analizaron muestras representativas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

Los resultados indicaron que los grupos con BIO mostraron valores medios entre 10.72 y 12.74 MPa, mientras que los grupos con THE presentaron valores entre 24.67 y 31.69 MPa. El desempeño del sistema adhesivo en sí mismo no mostró diferencias significativas, sino que su eficacia estuvo intrínsecamente ligada al material bioactivo con el que se combinó. El grupo THE-ABU mostró valores significativamente menores en comparación con THE-SBU y THE-CF ($p < 0.001$). La falla cohesiva en el material bioactivo predominó en todos los grupos.

Se concluye que TheraBase (THE) ofrece una resistencia de unión significativamente superior en comparación con Biodentine (BIO), esto lo posiciona como un material de base altamente efectivo desde una perspectiva adhesiva.

Palabras clave: Material bioactivo; Cementos a base silicato de calcio; Recubrimiento pulpar indirecto; Adhesivo universal.

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.

Nombre: Brilly Russoll Manjarrés Hernández

Cédula: 1757489412

Dedicatoria

Agradezco profundamente a Dios por permitirme transitar este camino y darme la fuerza necesaria en cada etapa. Dedico este logro a mis hijas y a mi esposo, quienes han sido mi mayor inspiración y sostén a lo largo de este proceso. Su amor, apoyo constante y fe inquebrantable me motivaron a continuar, incluso en los momentos más desafiantes. Aprecio con el corazón su paciencia, comprensión y los sacrificios realizados durante este tiempo.

A mi coordinadora de posgrado, gracias por su generosa entrega de conocimientos, experiencia y valores, que enriquecieron este trabajo y marcaron una guía invaluable en mi formación personal y académica.

A mi director de tesis, al equipo de investigación y a los asesores, les expreso mi más sincera gratitud por su compromiso, orientación y permanente disposición. Su acompañamiento fue clave para alcanzar con éxito los objetivos de esta investigación.

Finalmente, dedico este esfuerzo a mi familia, amigos y seres queridos, quienes, con sus palabras de aliento y confianza en mis capacidades, me recordaron que nunca estuve sola en este recorrido.

Índice

Índice	6
Índice de Figuras	7
Índice de Tablas	8
Resumen	9
Abstract	11
Introducción	13
Material y Métodos	17
Preparación de muestras	17
Grupos experimentales	17
Análisis de resistencia de unión	21
Análisis de la interfaz adhesiva	21
Análisis estadístico	22
Hallazgos	23
Discusión	27
Conclusión	32
Referencias	33

Índice de Figuras

Figura 1. Diseño metodológico para la preparación de las muestras experimentales.	20
Figura 2. Distribución de los tipos de fallas en los grupos evaluados	24
Figura 3. Imágenes de tipos de fallas fotografiadas.....	25
Figura 4. Imágenes MEB de fallas en Biodentine	26
Figura 5. Imágenes MEB de fallas en Therabase	27

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de grupos experimentales	17
Tabla 2. Información técnica de los materiales utilizados en la investigación.	18
Tabla 3. Media, desviación estándar e intervalos de confianza de los valores de resistencia de unión (MPa) según los grupos experimentales evaluados	24

Evaluación de la resistencia de unión de materiales bioactivos a composites, mediante pruebas de microcizallamiento. *Estudio in vitro.*

Brilly Russoll Manjarrés Hernández

Universidad De Los Hemisferios

brmanjarresh@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Este estudio evaluó la resistencia de unión en la interfaz adhesiva de dos materiales bioactivos, Biodentine (BIO) y Therabase (THE), combinados con sistemas adhesivos universales aplicados en estrategia autocondicionante, mediante prueba de microcizallamiento. Se prepararon 48 bloques de acrílico, los cuales fueron sometidos a limpieza ultrasónica y desinfección con alcohol al 70 %. Los especímenes se dividieron en seis grupos: dos grupos control en los que se empleó Clearfil SE Bond (CF), un sistema adhesivo autocondicionante de dos pasos; dos grupos con All Bond Universal (ABU) y dos grupos con Scotchbond Universal Plus (SBU).

Sobre las muestras se aplicó el composite de resina Filtek Bulk Fill Flowable, y la fotoactivación se realizó con una lámpara VALO Grand a una intensidad de 1200 mW/cm². Posteriormente, los especímenes se almacenaron a 37 °C durante 24 horas. La resistencia de unión se evaluó mediante ensayos de microcizallamiento utilizando una máquina universal de pruebas (OM150) a una velocidad de 1 mm/min. Los datos fueron analizados mediante ANOVA y pruebas post-hoc de Tukey ($p < 0.05$). Las fallas se clasificaron como adhesivas, cohesivas o mixtas, y se analizaron muestras representativas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB).

Los resultados indicaron que los grupos con BIO mostraron valores medios entre 10.72 y 12.74 MPa, mientras que los grupos con THE presentaron valores entre 24.67 y 31.69 MPa. El desempeño del sistema adhesivo en sí mismo no mostró diferencias significativas, sino que su eficacia estuvo intrínsecamente ligada al material bioactivo con el que se combinó. El grupo THE-ABU mostró valores significativamente menores en comparación con THE-SBU y THE-CF ($p < 0.001$). La falla cohesiva en el material bioactivo predominó en todos los grupos.

Se concluye que TheraBase (THE) ofrece una resistencia de unión significativamente superior en comparación con Biodentine (BIO), esto lo posiciona como un material de base altamente efectivo desde una perspectiva adhesiva.

Palabras clave: Material bioactivo; Cementos a base silicato de calcio; Recubrimiento pulpar indirecto; Adhesivo universal.

Abstract

This study evaluated the bond strength at the adhesive interface of two bioactive materials, Biodentine (BIO) and Therabase (THE), combined with universal adhesive systems applied using the self-etch strategy, through microshear testing. A total of 48 acrylic blocks were prepared, ultrasonically cleaned, and disinfected with 70% alcohol. The specimens were divided into six groups: two control groups using Clearfil SE Bond (CF), a two-step self-etch adhesive system; two groups with All Bond Universal (ABU); and two groups with Scotchbond Universal Plus (SBU).

Filtek Bulk Fill Flowable resin composite was applied to the samples and photoactivated using a VALO Grand curing light at an intensity of 1200 mW/cm². Subsequently, the specimens were stored at 37 °C for 24 hours. Bond strength was assessed through microshear tests using a universal testing machine (OM150) at a crosshead speed of 1 mm/min. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's post-hoc tests ($p < 0.05$). Failure modes were classified as adhesive, cohesive, or mixed, and representative samples were analyzed using scanning electron microscopy (SEM).

The results indicated that the groups using BIO exhibited mean bond strength values ranging from 10.72 to 12.74 MPa, whereas the groups using THE showed values between 24.67 and 31.69 MPa. The performance of the adhesive system itself did not show statistically significant differences; rather, its effectiveness was intrinsically related to the bioactive material with which it was combined. The THE-ABU group exhibited significantly lower values compared to THE-SBU and THE-CF ($p < 0.001$). Cohesive failure within the bioactive material predominated in all groups.

It is concluded that TheraBase (THE) provides significantly higher bond strength compared to Biodentine (BIO), positioning it as a highly effective base material from an adhesive standpoint.

Keywords: Bioactive material; Calcium silicate-based cements; Indirect pulp capping; Universal adhesive.

Introducción

Las lesiones cariosas y los traumatismos dentales son las principales causas de pulpitis, una respuesta inflamatoria que puede evolucionar hacia daños irreversibles en el tejido pulpar (Pohl et al., 2024). En el transcurso del proceso inflamatorio, la pulpa dental demuestra una respuesta defensiva frente al daño microbiano, preservando su capacidad regenerativa (Lin et al., 2020). La capacidad diagnóstica para determinar con precisión y objetividad el estado inflamatorio real de la pulpa continúa siendo limitada (Duncan, 2022). En este sentido, la terapia de pulpa vital (TPV) tiene como objetivo preservar la vitalidad pulpar, comprende procedimientos como el recubrimiento pulpar directo e indirecto, así como la pulpotomía, y se fundamenta en una adecuada selección de casos, condiciones asépticas rigurosas y el uso de cementos hidráulicos bioactivos (Kahler et al., 2023).

Los cementos a base de silicato de calcio (CSC) han demostrado eficacia en una amplia gama de procedimientos endodónticos, incluida la TPV (Torabinejad et al., 2018). Su biocompatibilidad, propiedades bioactivas y capacidad para favorecer la reparación tisular los convierten en materiales de elección en estos tratamientos. Estos cementos promueven la regeneración dentinaria y crean un entorno favorable para el tejido pulpar, mejorando la eficacia clínica del tratamiento (Küçükkaya Eren, 2023). Los materiales con estas características se denominan bioactivos, a pesar de presentar composiciones químicas variables (Parirokh et al., 2018). Su mecanismo de acción está relacionado con la difusión de iones calcio y sílice, que estimulan la respuesta biológica mediante la proliferación celular, la diferenciación y la mineralización tisular (Song et al., 2021).

Sin embargo, tras la aplicación de un material bioactivo, es indispensable recubrirlo con un material restaurador que garantice un sellado adecuado; por ello, la unión entre ambos materiales desempeña un papel fundamental (Hardan et al., 2022). El material más utilizado para este propósito es la resina compuesta junto con un sistema adhesivo. Por tanto, la

eficacia de la unión entre ambos materiales resulta crucial para la durabilidad del tratamiento. (Mutluay y Mutluay, 2022). Las propiedades de los materiales bioactivos y su capacidad para unirse a los materiales restauradores pueden ofrecer resultados predecibles y satisfactorios (Kunert y Lukomska-Szymanska, 2020). Además, una unión duradera entre los biomateriales dentales y la estructura dentaria es esencial para lograr buenas propiedades mecánicas, biológicas y estéticas (Ahmed et al., 2023).

A pesar de sus múltiples propiedades favorables, los CSC, presentan limitaciones clínicas relevantes, tales como susceptibilidad a la decoloración, complejidad en su manipulación, baja resistencia inicial a la compresión y flexión y una capacidad de adhesión limitada a la dentina, lo cual puede comprometer su desempeño como material de base (Camilleri et al., 2006). La adhesión de los CSC continúa siendo un reto, atribuido a sus propiedades químicas inherentes y a sus características superficiales, las cuales dificultan la interacción eficiente con materiales resinosos. La selección del sistema adhesivo incide de forma determinante en la resistencia de unión; además, variables como el grado de humedad y la composición del material pueden influir en las propiedades adhesivas y en el comportamiento clínico de las restauraciones. La obtención de una adhesión eficaz entre CSC y resinas compuestas representa un desafío persistente, por lo que se requiere definir protocolos adhesivos optimizados que favorezcan esta integración (Candan et al., 2023., Chaudhari et al., 2022).

La TPV emplea materiales bioactivos con la finalidad de estimular la regeneración del tejido pulpar, dado que estos compuestos son capaces de solubilizar moléculas bioactivas presentes en la dentina. Esta acción favorece la formación de dentina terciaria mediante la activación de rutas de señalización celular que inducen la diferenciación de odontoblastos y promueven la formación de un puente dentinario, lo cual contribuye al éxito clínico del procedimiento (Da Rosa et al., 2018; Rodrigues et al., 2021).

Entre los materiales con propiedades bioactivas más utilizados en TPV se encuentra Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Cedex, Francia), caracterizado por su adecuada adaptación marginal y un tiempo de fraguado reducido de aproximadamente 12 minutos, según el fabricante; en contraste con los cementos convencionales a base de MTA, cuyo fraguado puede prolongarse hasta cuatro horas (Kumar et al., 2023). Más recientemente, se ha incorporado al mercado Therabase (Bisco Inc., Schaumburg, Illinois, EE. UU.), un material bioactivo de recubrimiento con propiedades autoadhesivas, indicado como base en procedimientos de recubrimiento pulpar indirecto. Su formulación incorpora el monómero funcional 10-MDP (10-metacrililoixidecil dihidrogeno fosfato), que posibilita una unión directa con la dentina (Shin et al., 2023). Adicionalmente, este material libera iones de calcio y flúor, generando un ambiente alcalino que favorece la preservación de la vitalidad pulpar, mientras actúa simultáneamente como revestimiento autoadhesivo (Kayaci et al., 2024).

En este contexto, la resistencia adhesiva entre los biomateriales de revestimiento y la resina compuesta es un factor determinante para la longevidad de las restauraciones y la preservación de la estructura dentaria, ambos estrechamente relacionados con el éxito clínico (Altunsoy et al., 2015; Küçükkaya Eren, 2023). Esta resistencia está influenciada por el tipo de sistema adhesivo empleado, los cuales se clasifican, según su estrategia de adhesión, en sistemas de grabado total y de autograbado (Hardan et al., 2023). Se han desarrollado adhesivos denominados universales, que destacan por su versatilidad, ya que pueden utilizarse en ambas modalidades, lo que contribuye a simplificar los protocolos clínicos de adhesión (Ahmed et al., 2019; Cuevas- Suarez et al., 2019). Considerando la relevancia de la resistencia de unión en el éxito clínico a largo plazo y en respuesta a los recientes avances en el desarrollo de biomateriales dentales, el objetivo de esta investigación es evaluar la resistencia de unión de la interfaz adhesiva de dos cementos bioactivos (Biodentine y

Therabase) combinados con sistemas adhesivos universales aplicados en estrategia autocondicionante, mediante prueba de microcizallamiento.

Material y Métodos

Preparación de muestras

Se planteó una investigación experimental y comparativa in vitro, en la que se prepararon mediante un torno universal, 48 bloques de acrílico cilíndricos, de 14mm de altura y 12mm de diámetro con un agujero central de 3mm de diámetro y 2mm de profundidad. Luego, los bloques de acrílico fueron sometidos a una inmersión en cuba ultrasónica CD-4820 (Codyson Ultrasonic; Shenzhen, China) durante 60 segundos para eliminar residuos superficiales. Posteriormente, se realizó una desinfección con alcohol al 70%.

Grupos experimentales

Se realizó una asignación aleatoria de los bloques cilíndricos en seis grupos (n =8) según el material bioactivo Biodentine (BIO) y Therabase (THE); y el sistema adhesivo All Bond Universal (ABU), Scotchbond Universal Plus (SBU) y ClearFil SE (CF) utilizados. En la Tabla 1 se detalla la distribución de los grupos experimentales.

Tabla 1.

Distribución de grupos experimentales

Grupos	Material Bioactivo	Sistema Adhesivo
G1 (BIO-ABU)	Biodentine	All Bond Universal
G2 (BIO-SBU)	Biodentine	Scotchbond Universal Plus
G3 (BIO-CF)	Biodentine	Clearfil SE Bond
G4 (THE-ABU)	Therabase	All Bond Universal
G5 (THE-SBU)	Therabase	Scotchbond Universal Plus
G6 (THE-CF)	Therabase	Clearfil SE Bond

Los grupos G3 (BIO-CF) y G6 (THE-CF) fueron los grupos control. La activación fotopolimérica se efectuó durante 20 segundos mediante una unidad de fotocurado VALO Grand (Ultradent; South Jordan, Utah, EE. UU.), con una intensidad de irradiación establecida en 1200 mW/cm². Todas las muestras fueron conservadas a 37°C con 100% de humedad durante 24 horas tras la culminación de los protocolos adhesivos establecidos por el fabricante. La Tabla 2 muestra la información técnica sobre los materiales utilizados en la investigación.

Tabla 2.

Información técnica de los materiales utilizados en la investigación.

Material	Composición	Modo de aplicación
<p>Material Bioactivo: Biodentine (Septodont en Saint-Maur-des-Fossés, Cedex, Francia, #B33841)</p>	<p>Polvo: silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de circonio, carbonato de calcio, óxido de calcio y óxido de hierro.</p> <p>Líquido: cloruro de calcio, polímero hidrosoluble de policarboxilato y agua.</p>	<p>Verter cinco gotas de líquido dentro de la cápsula y mezclar durante 30 segundos a 4000rpm</p>
<p>Material Bioactivo: Therabase (Bisco Inc., Schaumburg, Illinois, Estados Unidos, #2500000374)</p>	<p>Base: iterbio con vidrio de bario, dimetacrilato de bisfenol A etoxilado, cemento Portland, fluoruro de iterbio, ácido bromobencenosulfínico, dihidrato de sodio, Bis-GMA, dióxido de titanio, acetil-2-tiourea</p> <p>Catalizador: 10-MDP, metacrilato de 2 hidroxietilo, perbenzoato de terc-butilo</p>	<p>Sujetar la punta mezcladora a la doble jeringa y cerrar. Apretar el embolo para proceder a la mezcla y aplicar a la superficie.</p> <p>Curado dual: Fotopolimerización: 20 segundos. Autopolimerización: 4 minutos.</p>

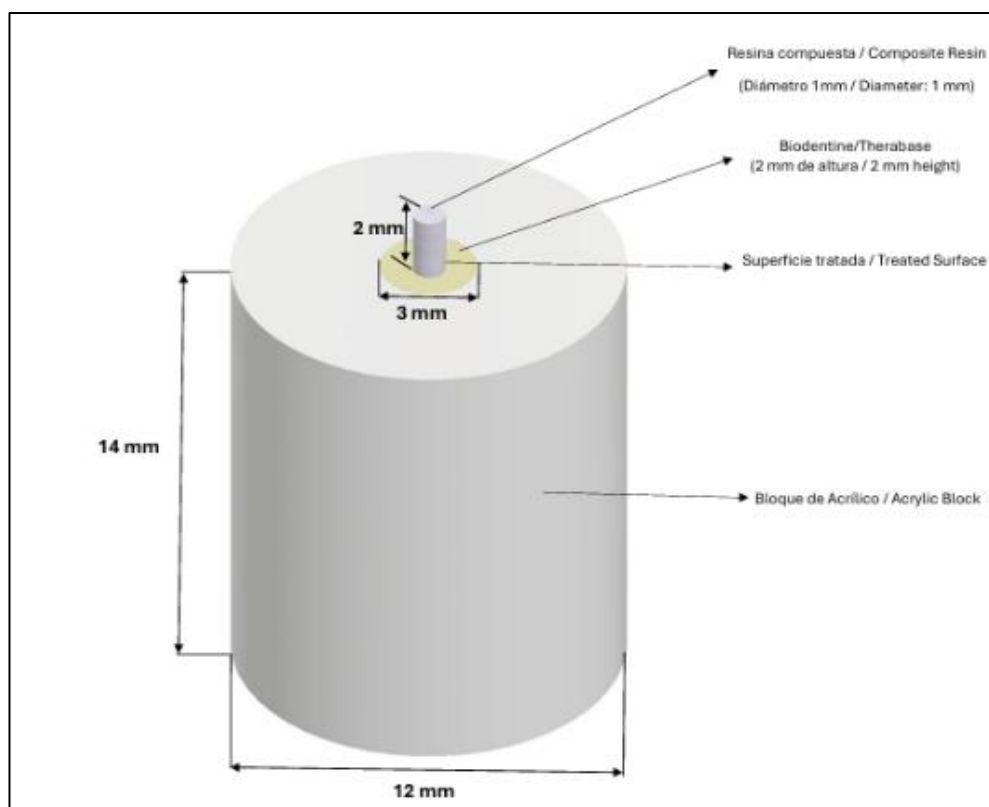
<p>Adhesivo universal: All Bond Universal (Bisco Inc., Schaumburg, Illinois, Estados Unidos, #2400014073)</p>	<p>2-HEMA, MDP, Bis-GMA, Metacrilato de diglicidilo de bisfenol A, metacrilato de 2-hidroxietilo, etanol, agua, iniciadores.</p>	<p>Aplicar una gota del adhesivo, frotando la superficie de los especímenes con un microaplicador durante 20 segundos. Aplicar aire con una jeringa durante 10 segundos para evaporar el exceso de solvente. Fotopolimerizar durante 20 segundos.</p>
<p>Adhesivo universal: Scotchbond Universal Plus (3M ESPE; Seefeld, Alemania, #11419155)</p>	<p>Ácido 2-propenoico, 2-metil-, diésteres con 4,6-dibromo-1,3-bencenodiol 2-(2 hidroxietoxi) etil 3-hidroxipropil diéteres. Metacrilato de 2-Hidroxietilo, productos de reacción con 1,10-decanodiol y óxido de fósforo (P2O5), etanol, fotoiniciador, rellenos, agua</p>	<p>Aplicar una gota de adhesivo sobre la superficie de los cuerpos con un microaplicador y frotando durante 20 segundos. Aplicar suavemente aire durante 10 segundos para evaporar el solvente. Fotopolimerizar durante 20 segundos.</p>
<p>Adhesivo autocondicionante de dos pasos: Clearfil SE Bond (Kuraray Noritake Dental Inc. Ocayama, Japan, #730460)</p>	<p>Matriz polimérica: Metacrilato de 4-metacriloxifenoiletanol (4-META), acrilato de bisfenol-A glicidilmetacrilato (Bis-GMA), 10-MDP, hidróxido de etilo, resinas alifáticas, agua, relleno inorgánico: Sílice.</p>	<p>Aplicar una capa de primer con microaplicador, frotar durante 20 segundos y aplicar suavemente aire con una jeringa durante 5 segundos. Posteriormente, aplicar el Bond creando una capa uniforme. Finalmente, fotopolimerizar durante 20 segundos.</p>
<p>Resina compuesta: Filtek Bulk Fill Flowable (3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU. #9712356)</p>	<p>BisGMA, UDMA, BisEMA, Resina de procrylat, trifluoruro de iterbio (YbF3), cargas cerámicas, iniciadores, estabilizadores.</p>	<p>Aplicar capas de hasta 4mm, fotopolimerizar durante 40 segundos.</p>

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se colocó un tubo de polímero flexible con un diámetro interior de 1 mm, un diámetro exterior de 1.7mm y una altura de 2 mm sobre la superficie tratada con el adhesivo de todos los especímenes, luego se llenaron completamente con la resina Filtek Bulk Fill Flowable siguiendo las recomendaciones del fabricante y se fotopolimerizó durante 20 segundos. Posteriormente, todas las muestras se almacenaron a 37 °C durante 24 h en condiciones de humedad. La Figura 1 muestra el diseño metodológico para la preparación de las muestras experimentales.

Figura 1.

Diseño metodológico para la preparación de las muestras experimentales.



Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resistencia de unión

Una vez completado el tiempo de conservación de las muestras, los tubos de polímero flexible se retiraron cuidadosamente con una hoja de bisturí N° 11 Biolife (Sterilance Medical; Suzhou, China) y se desecharon. A continuación, los especímenes fueron evaluados mediante un ensayo de microcizallamiento (μ SBS), utilizando una máquina de pruebas universal modelo OM150 (Odeme Dental Research; Luzerna, Brasil), para el ensayo se aplicó una carga de compresión paralela a la interfaz adhesiva a una velocidad constante de 1 mm/min, la carga fue aplicada hasta provocar la fractura del espécimen. La resistencia de unión fue determinada mediante el cociente entre la fuerza máxima registrada (en Newtons) y el área de adhesión (en mm²), expresándose en Megapascales (MPa) y obteniendo la media aritmética de cada grupo. $MPa = F(Newton) / (\pi R^2)$.

Análisis de la interfaz adhesiva

Posteriormente, las muestras fueron examinadas para clasificar el tipo de falla, mediante fotografía macro estandarizada. Para ello, se utilizó una cámara digital profesional (EOS Rebel T5i; Canon, Tokio, Japón) acoplada a un lente macro de 100 mm (EF 100mm f/2.8L Macro; Canon, Tokio, Japón) y un flash anular (Macro Ring Lite; Canon, Tokio, Japón). Todas las imágenes fueron capturadas con parámetros constantes de exposición: velocidad de obturación 1/125 s, apertura f/25 e ISO 100. La cámara se montó de forma perpendicular sobre un fondo blanco, donde los especímenes se colocaron de manera uniforme, garantizando la estandarización del encuadre y la iluminación en cada toma. Las imágenes obtenidas fueron analizadas con el software ImageJ, utilizando una escala previamente calibrada que permitió realizar mediciones precisas. Se realizó la clasificación de los tipos de falla en: adhesiva en la interfaz, cohesiva dentro del material bioactivo, cohesiva en la resina compuesta o mixta, siendo esta última una combinación de fracturas.

Se seleccionaron muestras representativas de cada tipo de falla, las cuales fueron montadas en portaobjetos metálicos y recubiertas con una capa de oro mediante pulverización catódica al vacío (120 s, ciclo único). Posteriormente, se analizaron utilizando un microscopio electrónico de barrido (EVO 10 MA; Carl Zeiss, Oberkochen, Alemania) a 20 kV y con un aumento de 95x. Todas las imágenes fueron capturadas por un único operador y evaluadas por dos examinadores previamente calibrados.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software estadístico Jamovi (versión 2.3.18.0). La normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas se comprobaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Al cumplirse ambos supuestos, se aplicó un ANOVA de un factor para comparar los valores medios de resistencia de unión entre los seis grupos experimentales, seguido de la prueba post hoc de Tukey con el propósito de evidenciar diferencias estadísticamente significativas entre ellos.

Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza de dos factores (ANOVA de dos vías) para evaluar los efectos principales del tipo de material bioactivo y del sistema adhesivo, así como su interacción sobre los valores de resistencia de unión. El nivel de significancia estadística se estableció en $\alpha = 0.05$.

Hallazgos

La Tabla 3 presenta los valores de resistencia de unión para los seis grupos experimentales, expresados como media, desviación estándar e intervalos de confianza. Los grupos con BIO mostraron valores medios entre 10.72 y 12.74 MPa, mientras que los grupos con THE presentaron valores entre 24.67 y 31.69 MPa. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos según el tipo de material bioactivo ($p < 0.001$).

El grupo THE-ABU mostró valores significativamente menores en comparación con THE-SBU y THE-CF ($p < 0.001$). En contraste, no se identificaron diferencias significativas entre los grupos con BIO ($p > 0.05$). El análisis de varianza de dos factores confirmó efectos significativos del tipo de material bioactivo ($p < 0.001$) y del sistema adhesivo ($p = 0.001$), así como una interacción significativa entre ambos factores ($p < 0.001$).

La Figura 2 muestra la proporción de fallas observadas tras las pruebas de resistencia de unión en los seis grupos experimentales, combinando dos materiales bioactivos (BIO y THE) con tres sistemas adhesivos. Se identificaron fallas cohesivas en los materiales bioactivos como las más frecuentes en todos los grupos, con menor presencia de fallas mixtas. La Figura 3 muestra las imágenes de fallas representativas fotografiadas. Las imágenes de microscopio electrónico de barrido (MEB) que representan los tipos de fallas en Biodentine se presentan en la Figura 4 y en la Figura 5 para Therabase.

Tabla 3.

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

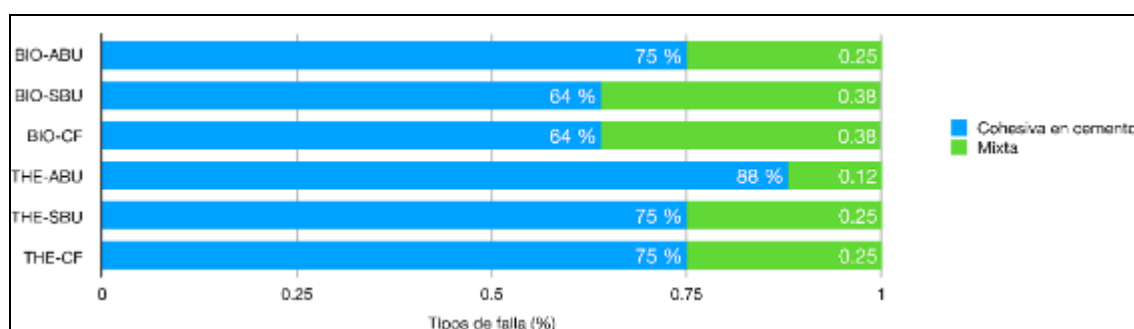
Grupos	BIO-ABU	BIO-SBU	BIO-CF	THE-ABU	THE-SBU	THE-CF
Media	12.74 ^c	12.24 ^c	10.72 ^c	24.67 ^b	30.78 ^a	31.69 ^a
DE	2.07	2.54	2.14	2.18	2.24	2.02
IC	11.46-	10.66-	9.39-	23.32-	29.39-	30.43-
	14.02	13.81	12.05	26.02	32.16	32.94

Nota: ^{ab} Letras minúsculas diferentes en una misma fila indican diferencias estadísticamente significativas (prueba de ANOVA, prueba post hoc de Tukey; $p < 0.05$). DE: desviación estándar; IC: intervalo de confianza. ABU: All-Bond Universal; SBU: Scotchbond Universal; CF: Clearfil SE Bond.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.

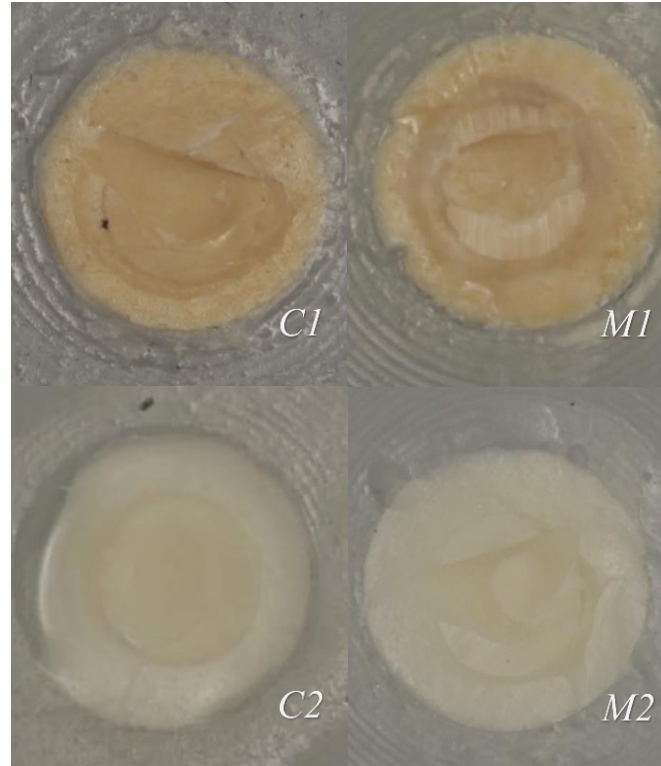
Distribución de los tipos de falla en los grupos evaluados.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.

Imágenes de tipos de fallas fotografiadas.

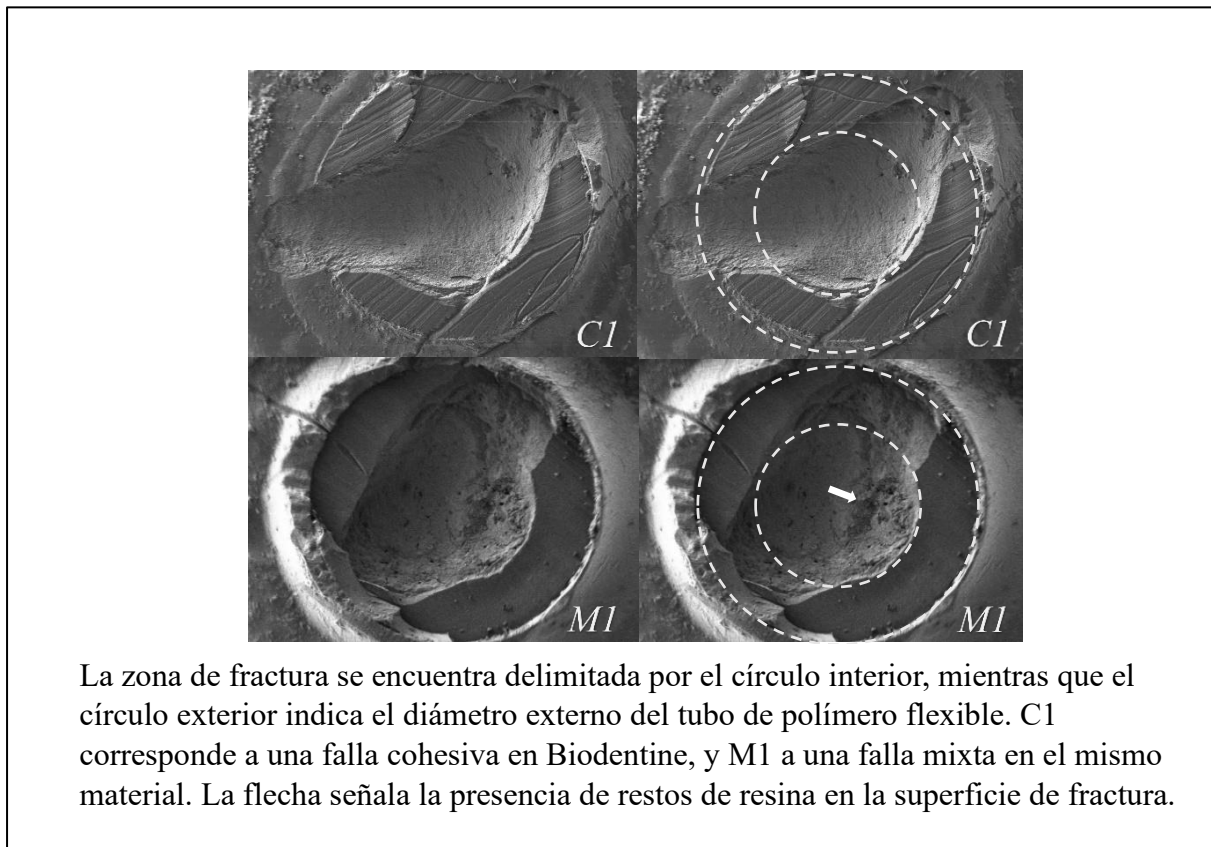


C1: falla cohesiva en Biodentine, C2: falla cohesiva en Therabase, M1: falla mixta en Biodentine y M2 falla mixta en Therabase.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.

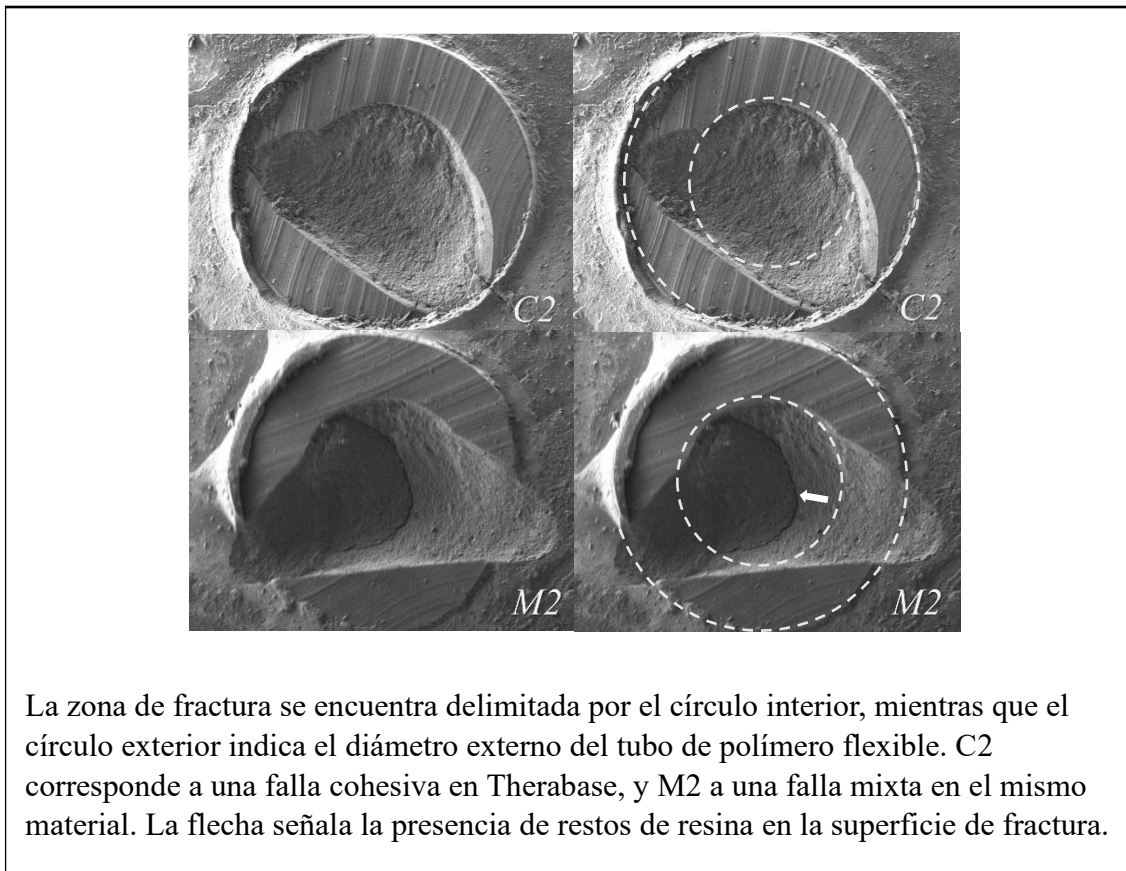
Imágenes MEB de fallas en Biodentine.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.

Imágenes MEB de fallas en Therabase.



La zona de fractura se encuentra delimitada por el círculo interior, mientras que el círculo exterior indica el diámetro externo del tubo de polímero flexible. C2 corresponde a una falla cohesiva en Therabase, y M2 a una falla mixta en el mismo material. La flecha señala la presencia de restos de resina en la superficie de fractura.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Nuestros resultados evidenciaron que los grupos con THE (THE-ABU, THE-SBU y THE-CF) alcanzaron valores considerablemente más altos de resistencia de unión en comparación con los grupos que utilizaron BIO (BIO-ABU, BIO-SBU y BIO-CF), lo cual respalda los hallazgos estadísticos y confirma el efecto positivo de este material bioactivo sobre la adhesión. Estos resultados evidencian que el rendimiento adhesivo depende principalmente del tipo de material bioactivo utilizado, siendo THE significativamente más eficaz que BIO en términos de resistencia de unión inmediata. La interacción observada sugiere que ciertas combinaciones de estos materiales y adhesivo pueden potenciarse mutuamente, lo que destaca la importancia de una elección clínica basada en la compatibilidad entre materiales y no únicamente en sus propiedades individuales.

Investigaciones previas han demostrado que THE presentó valores de resistencia de unión superiores respecto a otros materiales basados en silicato de calcio, lo que sugiere que es un material prometedor con buenas propiedades adhesivas (Shin et al., 2023). Sin embargo, a pesar de sus buenas propiedades mecánicas, se recomienda su uso únicamente como material base y no en la aplicación para procedimientos de protección pulpar directo, ya que los monómeros de resina polimerizados presentes en los materiales a base de silicato de calcio modificados con resina de curado dual, pueden dañar la pulpa dental y presentan una biocompatibilidad inferior a la de BIO (Kim et al., 2023).

Para el éxito clínico del recubrimiento pulpar indirecto, es indispensable una unión duradera entre el material de base y la restauración de composite suprayacente (Kunert y Lukomska-Szymanska, 2020). THE utilizado como material de base en este procedimiento, puede unirse directamente a la dentina gracias a su componente 10-metacrililoiloxidecil dihidrogenofosfato (10-MDP). En nuestro estudio, se evidencia que también logra una buena fuerza de unión a la resina, con valores entre 24.67 y 31.69 MPa. Estos valores se obtuvieron

empleando estrategias adhesivas autocondicionantes, lo que contrasta con los resultados de (Kumar et al., 2023), quienes sugieren que la resistencia de adhesión podría mejorar mediante la técnica de grabado total. No obstante, al ser grabado con ácido fosfórico al 37%, BIO evidenció alteraciones tanto estructurales como químicas, mostrando una disminución en la proporción calcio/silice (Camilleri, 2013).

Diversos estudios han evidenciado que se requiere entre 17 y 20 MPa de fuerza adhesiva entre la dentina y la resina compuesta para resistir el estrés generado por la contracción durante la polimerización (Triolo et al., 1995). En este sentido, en esta investigación THE supera dichos valores de resistencia adhesiva al composite, a diferencia de BIO, cuyos valores oscilaron entre 10.72 y 12.74 MPa según los resultados de esta investigación. Estudios anteriores han señalado igualmente que BIO presentó una menor resistencia de adhesión en comparación con otros recubrimientos basados en silicato de calcio (Manoj et al., 2022; Tohidkhah et al., 2022). La naturaleza hidrofílica de este material no favorece la adhesión a los materiales resinosos, los cuales contienen monómeros y grupos de naturaleza hidrofóbica, por lo que lograr una unión efectiva entre ambos se considera un desafío (Hardan et al., 2022).

Estudios previos sobre resistencia al cizallamiento en cementos a base de silicato de calcio, han sugerido que el monómero funcional 10-MDP posee la capacidad de unirse al calcio presente en estos materiales de manera similar a como lo hace con el calcio de la hidroxiapatita dental, lo que favorece tanto la adhesión química como la micromecánica (Hashem et al., 2014) Los adhesivos que incorporan esta molécula a su composición han mostrado un comportamiento clínicamente estable, asociado a una menor tendencia a la microfiltración cuando se aplican sobre Biodentine (Pradelle-Plasse et al., 2021). Por esta razón, en los grupos control (BIO-CF y THE-CF) se utilizó el adhesivo autocondicionante de dos pasos ClearFil SE Bond, el primer sistema en incorporar el monómero 10-MDP en su

composición. Este se comparó con All Bond Universal y Scotchbond Universal Plus, que también contienen dicho monómero (Takano et al., 2025; Tian et al., 2016). Los resultados obtenidos no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los adhesivos evaluados. Sin embargo, otra investigación ha reportado que los adhesivos universales que contienen 10-MDP pueden ofrecer una mayor resistencia de unión a CSC en comparación con los sistemas autocondicionantes de dos pasos (Xavier et al., 2021).

En otro estudio, la aplicación de un sistema adhesivo de grabado total sobre BIO proporcionó los valores de adhesión estadísticamente más altos (Mutluay y Mutluay, 2022). Sin embargo, un análisis adicional reportó que los valores de resistencia adhesiva entre resinas compuestas y BIO fueron similares al emplear adhesivos tanto de grabado total como autograbantes (Hardan et al., 2022). En los resultados de la presente investigación, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas adhesivos aplicados en los grupos con BIO ($p > 0.05$). En contraste, en los grupos con THE, el grupo THE-ABU presentó valores significativamente menores en comparación con THE-SBU y THE-CF ($p < 0.001$).

En cuanto al tipo de falla observado, predominaron las fallas cohesivas en el material bioactivo, seguida por las fallas mixtas, sin evidenciarse fallas adhesivas en ninguno de los grupos, tanto con BIO como con THE. Estudios previos han reportado hallazgos similares, donde los modos de falla fueron mayoritariamente cohesivos en este tipo de biomateriales tras la aplicación de un adhesivo universal (Mulgaonkar et al., 2021; Sarialioğlu Güngör y Uysal, 2021; Shin et al., 2023). Asimismo, otros estudios han documentado fallas cohesivas y mixtas, sin presencia de fallas adhesivas en ningún grupo (Altunsoy et al., 2015). No obstante, se ha señalado que las fallas adhesivas son más frecuentes al utilizar ClearFil SE como sistema adhesivo (Celiksoz y Irmak, 2024). Sin embargo, los grupos control BIO-CF y THE-CF, en los que se empleó este adhesivo, presentaron fallas cohesivas en el material

bioactivo, similares a las observadas en los grupos tratados con los adhesivos universales. Las fallas cohesivas en los materiales bioactivos podrían indicar que la fuerza de unión entre los materiales supera la resistencia interna de los propios biomateriales.

El análisis descriptivo de las muestras representativas obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido evidenció que las fallas cohesivas, tanto en THE como en BIO, provocaron un desgarro del material bioactivo que superó el diámetro de la superficie tratada con el adhesivo. En las fallas mixtas evaluadas, se observó una mayor cantidad de restos de resina compuesta en la muestra con THE en comparación con la muestra con BIO. Estos hallazgos respaldan una adhesión firme entre el material de base THE y la resina compuesta, como se ha descrito en un estudio previo con THE (Shin et al., 2023). Sin embargo, existen pocas investigaciones previas con este biomaterial por lo que se recomienda nuevos estudios que puedan corroborar estos hallazgos.

Conclusión

A pesar de las limitaciones inherentes a un estudio in vitro, nuestros hallazgos demuestran que TheraBase (THE) ofrece una resistencia de unión significativamente superior en comparación con Biodentine (BIO). Esto posiciona a TheraBase como un material de base altamente efectivo desde una perspectiva adhesiva. Notablemente, el desempeño del sistema adhesivo en sí mismo no mostró diferencias significativas, sino que su eficacia estuvo intrínsecamente ligada al material bioactivo con el que se combinó. Específicamente, el grupo THE-ABU presentó valores de unión significativamente menores que THE-SBU y THE-CF ($p < 0.001$), mientras que no se identificaron diferencias significativas entre los adhesivos para los grupos con BIO ($p > 0.05$). En consecuencia, es imperativo que los protocolos clínicos consideren cuidadosamente las combinaciones específicas de materiales bioactivos y sistemas adhesivos para optimizar la resistencia de unión en los procedimientos restauradores.

Referencias

- Ahmed, B., Hamama, H. H., & Mahmoud, S. H. (2023). Microshear Bond Strength of Bioactive Materials to Dentin and Resin Composite. *European Journal of Dentistry*, 17(3), 917–923.
- Ahmed, M. H., De Munck, J., Van Landuyt, K., Peumans, M., Yoshihara, K., & Van Meerbeek, B. (2019). Do Universal Adhesives Benefit from an Extra Bonding Layer? *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(2), 117–132.
- Altunsoy, M., Tanriver, M., Ok, E., & Kucukyilmaz, E. (2015). Shear Bond Strength of a Self-adhering Flowable Composite and a Flowable Base Composite to Mineral Trioxide Aggregate, Calcium-enriched Mixture Cement, and Biodentine. *Journal of Endodontics*, 41(10), 1691–1695.
- Camilleri, J. (2013). Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *Journal of Dentistry*, 41(7), 600–610.
- Camilleri, J., Montesin, F. E., Curtis, R. V., & Ford, T. R. P. (2006). Characterization of Portland cement for use as a dental restorative material. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 22(6), 569–575.
- Candan, M., Altınay Karaca, F. K., & Öznurhan, F. (2023). Evaluation of the Shear Bond Strength of Immediate and Delayed Restorations of Various Calcium Silicate-Based Materials with Fiber-Reinforced Composite Resin Materials. *Polymers*, 15(19).
<https://doi.org/10.3390/polym15193971>
- Celiksoz, O., & Irmak, O. (2024). Delayed vs. immediate placement of restorative materials over Biodentine and RetroMTA: a micro-shear bond strength study. *BMC Oral Health*, 24(1), 130.

- Chaudhari, P. S., Chandak, M. G., Jaiswal, A. A., Mankar, N. P., & Paul, P. (2022). A Breakthrough in the Era of Calcium Silicate-Based Cements: A Critical Review. *Cureus, 14*(8), e28562. <https://doi.org/10.7759/cureus.28562>
- Cuevas-Suárez, C. E., da Rosa, W. L. O., Lund, R. G., da Silva, A. F., & Piva, E. (2019). Bonding Performance of Universal Adhesives: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis. *The journal of adhesive dentistry, 21*(1), 7–26.
- Da Rosa, W. L. O., Piva, E., & da Silva, A. F. (2018). Disclosing the physiology of pulp tissue for vital pulp therapy. *International endodontic journal, 51*(8), 829–846.
- Duncan, H. F. (2022). Present status and future directions-Vital pulp treatment and pulp preservation strategies. *International Endodontic Journal, 55* Suppl 3(Suppl 3), 497–511.
- Hardan, L., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Devoto, W., Zarow, M., Monteiro, P., Jakubowicz, N., Zoghbi, A. E., Skaba, D., Mancino, D., Kharouf, N., Haïkel, Y., & Lukomska-Szymanska, M. (2023). Effect of different application modalities on the bonding performance of adhesive systems to dentin: A systematic review and meta-analysis. *Cells (Basel, Switzerland), 12*(1), 190.
- Hardan, L., Mancino, D., Bourgi, R., Alvarado-Orozco, A., Rodríguez-Vilchis, L. E., Flores-Ledesma, A., Cuevas-Suárez, C. E., Lukomska-Szymanska, M., Eid, A., Danhache, M.-L., Minoux, M., Haïkel, Y., & Kharouf, N. (2022). Bond Strength of Adhesive Systems to Calcium Silicate-Based Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis of In Vitro Studies. *Gels (Basel, Switzerland), 8*(5). <https://doi.org/10.3390/gels8050311>
- Hashem, D. F., Foxton, R., Manoharan, A., Watson, T. F., & Banerjee, A. (2014). The

physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 30(3), 343–349.

Kahler, B., Taha, N. A., Lu, J., & Saoud, T. M. (2023). Vital pulp therapy for permanent teeth with diagnosis of irreversible pulpitis: biological basis and outcome. *Australian Dental Journal*, 68 Suppl 1, S110–S122.

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.

Kim, M., Lee, S.-H., & Shin, D.-H. (2023). In Vitro Study of the Biological and Physical Properties of Dual-Cure Resin-Modified Calcium Silicate-Based Cement. *Dentistry Journal*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/dj11050120>

Küçükkaya Eren, S. (2023). Clinical applications of calcium silicate-based materials: a narrative review. *Australian Dental Journal*, 68 Suppl 1, S96–S109.

Kumar, V., Showkat, I., Manuja, N., Chaudhary, S., Sinha, A. A., & Telgi, C. R. (2023). Comparative Evaluation of Shear Bond Strength of Tricalcium Silicate-based Materials to Composite Resin with Two Different Adhesive Systems: An Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 16(Suppl 3), 272–277.

Kunert, M., & Lukomska-Szymanska, M. (2020). Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping-A Review Article. *Materials (Basel, Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/ma13051204>

Lin, L. M., Ricucci, D., Saoud, T. M., Sigurdsson, A., & Kahler, B. (2020). Vital pulp therapy

of mature permanent teeth with irreversible pulpitis from the perspective of pulp biology. *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endontology Inc*, 46(1), 154–166.

Manoj, A., Kavitha, R., Karuveetil, V., Singh, V. P. P., Haridas, K., & Venugopal, K. (2022). Comparative evaluation of shear bond strength of calcium silicate-based liners to resin-modified glass ionomer cement in resin composite restorations - a systematic review and meta-analysis. *Evidence-Based Dentistry*. <https://doi.org/10.1038/s41432-022-0825-y>

Mulgaonkar, A., de Ataide, I. de N., Fernandes, M., & Lambor, R. (2021). Shear bond strength evaluation of an alkasite restorative material to three different liners with and without using adhesive system: An study. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 24(3), 278–282.

Mutluay, A. T., & Mutluay, M. (2022). Characterisation of the calcium silicate-based cement-composite interface and the bonding strength with total-etch or single/two-stage self-etch adhesive systems. *Australian Endodontic Journal: The Journal of the Australian Society of Endontology Inc*, 48(3), 501–509.

Parirokh, M., Torabinejad, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part I: vital pulp therapy. *International Endodontic Journal*, 51(2), 177–205.

Pohl, S., Akamp, T., Smeda, M., Uderhardt, S., Besold, D., Krastl, G., Galler, K. M., Buchalla, W., & Widbiller, M. (2024). Understanding dental pulp inflammation: from signaling to structure. *Frontiers in Immunology*, 15, 1474466.

Pradelle-Plasse, N., Mocquot, C., Semennikova, K., Colon, P., & Grosogeat, B. (2021).

Interface between calcium silicate cement and adhesive systems according to adhesive families and cement maturation. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(1), e3.

Rodrigues, N. S., França, C. M., Tahayeri, A., Ren, Z., Saboia, V. P. A., Smith, A. J., Ferracane, J. L., Koo, H., & Bertassoni, L. E. (2021). Biomaterial and Biofilm Interactions with the Pulp-Dentin Complex-on-a-Chip. *Journal of dental research*, 100(10), 1136–1143. <https://doi.org/10.1177/00220345211016429>

Sarialioğlu Güngör, A., & Uysal, B. A. (2021). Influence of etching mode and composite type on bond strength to biodentine using a “no-wait” universal adhesive. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 354–365.

Shin, W., Kim, H., Song, J.-S., Shin, T. J., 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. *The Journal of The Korean Academy of Pediatric Dentistry*, 50(4), 443–451.

Song, W., Li, S., Tang, Q., Chen, L., & Yuan, Z. (2021). biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics (Review). *International Journal of Molecular Medicine*, 48(1).

Takano, S., Takahashi, R., Tabata, T., Zeng, C., Ikeda, M., & Shimada, Y. (2025). Bonding performance of universal adhesive systems with dual-polymerising resin cements to various dental substrates: in vitro study. *BMC Oral Health*, 25(1), 101.

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.

- Tohidkhah, S., Ahmadi, E., Abbasi, M., Morvaridi Farimani, R., & Ranjbar Omrani, L. (2022). Effect of Bioinductive Cavity Liners on Shear Bond Strength of Dental Composite to Dentin. *BioMed Research International*, 2022, 3283211.
- Torabinejad, M., Parirokh, M., & Dummer, P. M. H. (2018). Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *International Endodontic Journal*, 51(3), 284–317.
- Triolo, P. T., Jr, Swift, E. J., Jr, & Barkmeier, W. W. (1995). Shear bond strengths of composite to dentin using six dental adhesive systems. *Operative Dentistry*, 20(2), 46–50.
- Xavier, M. T., Costa, A. L., Caramelo, F. J., Palma, P. J., & Ramos, J. C. (2021). Evaluation of the Interfaces between Restorative and Regenerative Biomaterials Used in Vital Pulp Therapy. *Materials (Basel, Switzerland)*, 14(17).
<https://doi.org/10.3390/ma14175055>