



Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

Efecto de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural, módulo flexural y microdureza de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización

Trabajo de Titulación para la obtención del título de especialista en Operatoria Dental y Estética

Presentada por:

Margarita Elizabeth Alvarez Míguez

Tutor:

Camilo Andrés Pulido Mora

Quito, mayo del 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 documento 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.

Margarita Elizabeth Alvarez Míguez

C.I. 1716824485

Dedicatoria

Este logro, lo dedico a mi hija Valentina, mi motor e inspiración de cada día; gracias por hacerme crecer. A mi esposo, Raúl, por no soltar mi mano y ser mi compañero fiel en cada proyecto; gracias por soñar conmigo y construir un camino juntos. A mi madre, Margarita, mi admiración infinita, gracias por tu apoyo incondicional. Te dedico cada paso; gracias por enseñarme a volar. Tu amor y fortaleza, es el cimiento de este proyecto.

Guardo un lugar especial para mi ángel, mi abuela. Aunque ya no está en plano físico, su legado de amor y su recuerdo fueron la brújula en mis horas más arduas de estudio. Sé que hoy sonrías y celebras conmigo.

Agradezco profundamente a mis mentores por su sabiduría y por exigirme siempre la excelencia; sus consejos afianzaron el amor por mi profesión.

A mi familia y seres queridos, gracias por ser el aliento constante en este desafío. A la Universidad Hemisferios, por haber sido mi hogar de crecimiento y el espacio para transformarme en la profesional que soy hoy.

Finalmente, elevo mi gratitud a Dios y a la vida por ser la maestra más paciente y permitirme florecer en medio de las adversidades. Hoy no solo recibo un título; me llevo conmigo la certeza de que cada esfuerzo se ha transformado en victoria, la convicción profunda de servir a los demás y el orgullo inmenso de haber honrado mis propios sueños. ¡Lo logramos!

Índice

Índice.....	4
Índice de Figuras.....	6
Índice de tablas	7
Efecto de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural, módulo flexural y microdureza de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización. <i>Estudio in vitro</i>	8
Resumen.....	8
Abstract.....	9
Introducción	10
Metodología	13
Diseño del Estudio	13
Cálculo y tamaño de la muestra.	13
Preparación de los especímenes.....	13
Grupos experimentales.....	14
Muestras para los ensayos de resistencia flexural y módulo de flexión: Tetric N- PowerFlow 2	14
Fill-Up!	14
Stela Automix.....	16

	5
Preparación del sistema de moldeo.....	17
Inserción del material restaurador.....	17
Aplicación de presión con sistema de prensado	17
Nivelación y eliminación de excedentes superficiales.....	17
Almacenamiento en agua (condición previa)	17
Acabado superficial del espécimen.....	18
Almacenamiento previo al ensayo mecánico.....	18
Almacenamiento	18
Ensayo de resistencia flexural y módulo flexural	18
Preparación de las muestras para las pruebas de microdureza de Vickers.....	19
Análisis estadístico.....	21
Hallazgos.....	21
Discusión.....	26
Conclusiones	29
Referencias.....	31

Índice de Figuras

Figura 1 Representación gráfica de la resistencia flexural (MPa) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.	24
Figura 2 Representación gráfica del módulo flexural (GPa) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.	25
Figura 3 Representación gráfica de la microdureza Vickers (VHN) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.	26

Índice de tablas

Tabla 1 Descripción del protocolo experimental para la preparación de especímenes de resina acrílica.....	15
Tabla 2 Protocolo experimental de elaboración de especímenes del Grupo S.....	17
<i>Tabla 3.</i> Materiales evaluados en el estudio.	21
<i>Tabla 4.</i> Promedios \pm desviación estándar (MPa) para resistencia flexural (FS) de todos los materiales evaluados.	23
<i>Tabla 5.</i> Promedios \pm desviación estándar (GPa) para Módulo flexural (E) de todos los materiales evaluados.....	24
Tabla 6 Promedios \pm desviación estándar de microdureza Vickers (VHN) de todos los materiales evaluados.....	25

Efecto de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural, módulo flexural y microdureza de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización. *Estudio in vitro*

Margarita Elizabeth Alvarez Míguez

mealvarezm@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Objetivo: Evaluar el efecto del tipo de material y de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural (FS), el módulo flexural (E) y la microdureza Vickers (VHN) de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización.

Materiales y métodos: Se evaluaron tres resinas bulk-fill fluidas: una fotopolimerizable, una de curado dual y una autopolimerizable. Se confeccionaron especímenes para ensayos de flexión en tres puntos y de microdureza, conforme a la norma ISO 4049. Los especímenes se dividieron en grupos control y envejecidos mediante inmersión en ácido gástrico simulado. Los datos se analizaron mediante ANOVA de dos vías (material \times condición) y la prueba post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$). **Hallazgos:** El tipo de material y la condición de almacenamiento influyeron significativamente en todas las propiedades evaluadas ($p < 0,05$). El material fotopolimerizable presentó los valores más altos de FS, E y VHN, mientras que el material autopolimerizable mostró la mayor reducción tras el envejecimiento. La exposición al ácido gástrico produjo una disminución significativa de todas las propiedades, con una magnitud de degradación que dependió del material. **Conclusiones:** El comportamiento mecánico de las resinas bulk-fill fluidas está influido por su mecanismo de polimerización y su composición. La exposición a

ácido gástrico compromete significativamente sus propiedades, especialmente en materiales más susceptibles a la degradación química.

Palabras Clave: Resinas Bulk-fill, Resistencia flexural, módulo flexural, microdureza, ácido gástrico.

Abstract

Objective: To evaluate the effect of material type and simulated gastric acid exposure on the flexural strength (FS), flexural modulus (E), and Vickers microhardness (VHN) of flowable bulk-fill resin composites with different polymerization mechanisms. **Methods:** Three flowable bulk-fill resin composites were evaluated: one light-cured, one dual-cured, and one self-cured. Specimens for three-point bending and microhardness testing were prepared according to ISO 4049. Specimens were divided into control and aged groups through immersion in simulated gastric acid. Data were analyzed using two-way ANOVA (material \times condition) followed by Tukey's post hoc test ($\alpha = 0.05$). **Results:** Both material type and storage condition significantly influenced all evaluated properties ($p < 0.05$). The light-cured material exhibited the highest FS, E, and VHN values, whereas the self-cured material showed the greatest reduction after aging. Simulated gastric acid exposure significantly decreased all mechanical properties, with a material-dependent pattern of degradation. **Conclusions:** The mechanical behavior of flowable bulk-fill resin composites is influenced by their polymerization mechanism and composition. Exposure to acidic environments significantly compromises their properties, particularly in materials more susceptible to chemical degradation.

Keywords: Bulk-fill, Flexural strength, modulus, Vickers Microhardness, acid gastric.

Introducción

Las resinas compuestas (RBC) constituyen uno de los materiales más utilizados en la odontología restauradora contemporánea debido a su adecuada estética, capacidad adhesiva y a las mejoras continuas en sus propiedades mecánicas (Da Rosa Rodolpho et al., 2022). En las últimas décadas, el desarrollo de nuevas formulaciones ha permitido optimizar su comportamiento clínico, ampliar sus indicaciones y mejorar su desempeño ante las exigencias funcionales del medio oral (Caracas-de-Araújo et al., 2026; Soares et al., 2017).

En este contexto, las resinas bulk-fill fueron introducidas con el objetivo de simplificar los procedimientos restauradores mediante la colocación de incrementos de mayor espesor, reduciendo el tiempo clínico y la sensibilidad técnica asociados a la técnica incremental convencional. Inicialmente, los materiales bulk-fill fluidos fueron indicados principalmente como bases o liners debido a sus limitaciones mecánicas, especialmente en cuanto a resistencia y rigidez (Tomaszewska et al., 2015). Sin embargo, avances recientes en la tecnología de rellenos, sistemas iniciadores y matrices orgánicas han permitido desarrollar resinas fluidas altamente cargadas, diseñadas para su uso como materiales restauradores definitivos (Ajaj et al., 2021; Meereis et al., 2018; Soares et al., 2017; Vandewalker et al., 2016).

Un aspecto fundamental del desempeño de estos materiales es su mecanismo de polimerización. Los sistemas fotopolimerizables dependen exclusivamente de la activación por luz, lo que puede limitar la conversión en zonas profundas o de difícil acceso (Kelch et al., 2022; Roulet et al., 2020). En contraste, los materiales de curado dual y autopolimerizables incorporan mecanismos químicos adicionales que permiten una polimerización más independiente de la luz, lo que, teóricamente, podría mejorar la conversión monomérica en condiciones clínicas adversas

(Bardocz-Veres et al., 2024; Burrer et al., 2023). No obstante, estas diferencias en la cinética de polimerización y en la formación de la red polimérica pueden influir en la estabilidad mecánica y en la resistencia a la degradación del material a lo largo del tiempo (de Mendonça et al., 2021; Elawsya et al., 2022; Ferreira de Souza et al., 2025; Mendoza et al., 2024; Pires et al., 2026).

En el entorno oral, las restauraciones están sometidas a una combinación compleja de factores físicos, químicos y biológicos que pueden comprometer su integridad estructural (Da Rosa Rodolpho et al., 2022; Josic et al., 2023; Morresi et al., 2014). Entre estos factores, la exposición a medios ácidos representa un desafío particularmente relevante, especialmente en pacientes con reflujo gastroesofágico o trastornos alimentarios (Mahajan et al., 2022; Maret-Ouda et al., 2020). En estas condiciones, el pH intraoral puede descender a niveles extremadamente bajos⁹, lo que genera un ambiente químicamente agresivo capaz de inducir procesos de degradación en los materiales restauradores (da Cruz et al., 2022; Kulkarni et al., 2020; Picolo et al., 2023).

La exposición a ácido gástrico puede provocar fenómenos como la lixiviación de componentes de la matriz resinosa (Rodrigues et al., 2025; Yang et al., 2023), la degradación de la interfaz matriz-relleno y la alteración de la integridad superficial (da Cruz et al., 2022; Kulkarni et al., 2020; Picolo et al., 2023). Estos procesos pueden traducirse en una disminución de propiedades mecánicas como la resistencia flexural y el módulo elástico, así como en una reducción de la dureza superficial (Alhotan et al., 2024; Hjerppe et al., 2023; Oliveira Junior et al., 2022), lo que compromete la resistencia al desgaste y la longevidad clínica de las restauraciones (Oliveira Junior et al., 2022; Picolo et al., 2023). La magnitud de estos efectos depende de múltiples factores, entre ellos la composición del material, el tipo y la cantidad de

relleno, la calidad de la silanización y la estructura de la red polimérica (Cruz et al., 2020; Kulkarni et al., 2020; Omara et al., 2024).

A pesar del creciente uso clínico de las resinas bulk-fill fluidas como materiales restauradores definitivos, la evidencia disponible sobre su comportamiento ante desafíos químicos severos sigue siendo limitada (Laporte et al., 2025; Thadathil Varghese et al., 2024). Esta falta de información es particularmente relevante cuando se consideran materiales con diferentes mecanismos de polimerización, ya que estos podrían responder de manera distinta a procesos de degradación química.

En este contexto, resulta necesario evaluar comparativamente el comportamiento mecánico de estos materiales en condiciones que simulen ambientes clínicamente relevantes. Por lo tanto, el objetivo de este estudio in vitro fue analizar el efecto del tipo de material y de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural, el módulo flexural y la microdureza de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización.

Las hipótesis nulas planteadas fueron: (1) el tipo de material no influiría en las propiedades mecánicas evaluadas y (2) la exposición al ácido gástrico no produciría cambios significativos en dichas propiedades.

Metodología

Diseño del Estudio

El presente estudio es de tipo experimental, in vitro y comparativo, cuyo objetivo fue evaluar el efecto del tipo de material y de la exposición a ácido gástrico simulado sobre la resistencia flexural, el módulo flexural y la microdureza de resinas compuestas bulk-fill fluidas con diferentes mecanismos de polimerización. Se realizó conforme a los lineamientos generales de la norma ISO 4049 para la preparación, el almacenamiento y la evaluación mecánica de materiales restauradores a base de resina.

Cálculo y tamaño de la muestra

El tamaño de muestra se determinó mediante un software (G*Power v3.1.3; Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf) para detectar un tamaño de efecto medio con una potencia del 90% ($\alpha=0.05$). Así, el tamaño muestral para resistencia flexural y módulo fue de 10 especímenes por grupo, mientras que para microdureza fue de 5 especímenes por grupo.

Preparación de los especímenes

Se fabricaron 30 especímenes rectangulares de resinas fluidas Bulk-Fill, distribuidos en tres grupos experimentales de diez muestras cada uno. Cada grupo corresponde a un tipo diferente de resina Bulk-Fill. La producción se realizó usando un molde metálico de acero inoxidable con dimensiones estándar de 25 mm \times 2 mm \times 2 mm, de acuerdo con la norma ISO 4049.

Para la polimerización de cada tipo de resina, se utilizaron los parámetros de la norma ISO 4049, según la clasificación de cada grupo. Luego, cada espécimen fue inspeccionado con

lupa para descartar muestras defectuosas o con burbujas, y se fabricaron nuevas hasta completar el tamaño muestral con las características requeridas.

Grupos experimentales

Muestras para los ensayos de resistencia flexural y módulo de flexión: Tetric N-PowerFlow

2

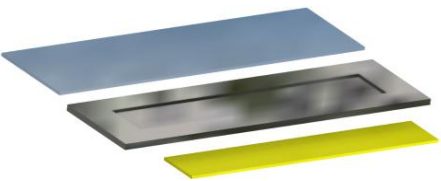
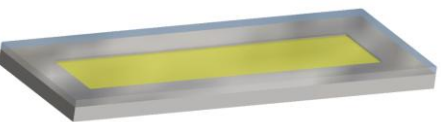
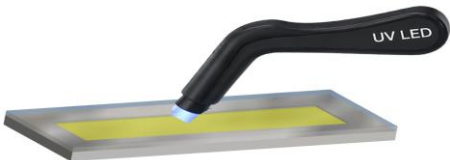
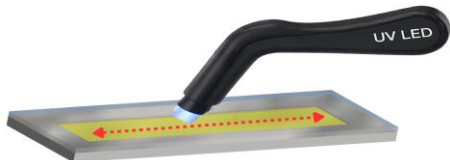


En este grupo experimental, el material fue colocado entre dos portaobjetos de vidrio cubiertos con tiras de poliéster. La fotopolimerización se llevó a cabo utilizando una lámpara LED Grand Valo (Ultradent), posicionada a una distancia de 1 cm. Se realizaron tres ciclos de fotopolimerización de 40 segundos en la superficie superior y tres en la inferior, desplazando la fuente de luz de manera uniforme a lo largo de la muestra. Posteriormente, los especímenes fueron retirados del molde y los excesos se eliminaron con una hoja de bisturí No. 11 y papel abrasivo de grano fino.



Fill-Up!

Las muestras se prepararon siguiendo el mismo procedimiento descrito para el Grupo I, como se detalla en la Tabla 1. Sin embargo, previo a la fotopolimerización, los especímenes se mantuvieron en reposo durante 3 minutos para permitir la autopolimerización interna completa, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Tabla 1

Descripción del protocolo experimental para la preparación de especímenes de resina

Proceso	Representación esquemática del protocolo experimental	Descripción
1		<p>Colocación inicial del sistema de moldeado</p> <p>Se coloca una tira de poliéster sobre la base del molde metálico de acero inoxidable con dimensiones estandarizadas (25 × 2 × 2 mm), seguida de la inserción del material restaurador, con el fin de evitar la adhesión del material al molde y obtener una superficie lisa libre de irregularidades.</p>
2		<p>Conformación del espécimen con lámina de vidrio</p> <p>Tras el llenado del molde, se reemplaza la lamina metálica por una lámina de vidrio cubierta con tira transparente, permitiendo la eliminación del exceso de material y la obtención de superficies paralelas y homogéneas, conforme a los lineamientos de la norma ISO 4049.</p>
3		<p>Inicio de la fotopolimerización</p> <p>Se posiciona la lámpara LED de fotopolimerización a aproximadamente 1 cm de distancia sobre la superficie del espécimen, iniciando la activación del material en la zona central para garantizar una adecuada conversión monomérica.</p>
4		<p>Fotopolimerización progresiva</p> <p>La fuente de luz se desplaza de manera uniforme a lo largo de la muestra, asegurando una irradiación homogénea en toda su extensión y evitando zonas con polimerización incompleta.</p>
5		<p>Fotopolimerización en superficie inferior</p> <p>El conjunto se invierte cuidadosamente y se repite el proceso de fotopolimerización en la cara inferior del espécimen, con el objetivo de lograr una polimerización completa y uniforme en todo el volumen del material.</p>
6		<p>Almacenamiento inicial en agua</p> <p>Los especímenes son sumergidos en un baño de agua destilada a 37 ± 1 °C durante 24 horas, simulando condiciones intraorales y permitiendo la estabilización de la red polimérica.</p>

7		Acabado y eliminación de excesos Posterior al almacenamiento inicial, los especímenes son retirados del molde y se eliminan las rebabas e irregularidades mediante bisturí y lijado con abrasivo de grano fino, obteniendo dimensiones y superficies estandarizadas.
8		Almacenamiento previo al ensayo Finalmente, los especímenes se mantienen en agua a 37 ± 1 °C hasta la realización de los ensayos mecánicos, garantizando condiciones controladas y reproducibles para la evaluación de propiedades como resistencia flexural, módulo elástico y microdureza.

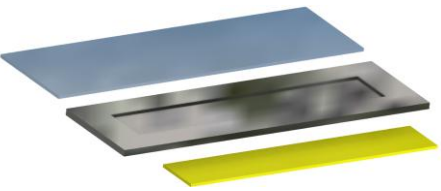


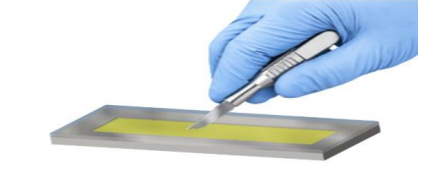

Fuente: Elaboración propia.



Stela Automix

Las muestras se prepararon conforme al procedimiento descrito en la Tabla 2. En este grupo no se utilizó lámpara de fotopolimerización; una vez completado el llenado del molde, se permitió la polimerización química durante 4 minutos, de acuerdo con las indicaciones del fabricante. Posteriormente, el conjunto fue desmontado y los excesos se eliminaron mediante una hoja de bisturí N.º 11 y papel abrasivo de grano fino.

Tabla 2

Protocolo experimental de elaboración de especímenes del Grupo S

Proceso	Representación esquemática del protocolo experimental	Descripción
1		<p>Preparación del sistema de moldeo</p> <p>Se coloca una tira de poliéster sobre la base del molde metálico de acero inoxidable con dimensiones estandarizadas ($25 \times 2 \times 2$ mm), con el fin de evitar la adhesión del material y garantizar una superficie lisa del espécimen.</p>
2		<p>Inserción del material restaurador</p> <p>El material restaurador es colocado cuidadosamente dentro del molde mediante un instrumento de inserción, procurando un llenado homogéneo y evitando la formación de burbujas o vacíos internos que puedan comprometer las propiedades mecánicas.</p>
3		<p>Aplicación de presión con sistema de prensado</p> <p>Se coloca la lámina superior (vidrio o placa metálica según protocolo) y se aplica presión mediante un sistema de prensado, con el objetivo de eliminar excesos de material y obtener superficies planas, paralelas y de espesor uniforme.</p>
4		<p>Nivelación y eliminación de excedentes superficiales</p> <p>Se retiran los excesos de material mediante instrumento manual, asegurando una correcta conformación del espécimen dentro del molde y manteniendo las dimensiones estandarizadas requeridas.</p>
5		<p>Almacenamiento en agua (condición previa)</p> <p>Los especímenes son colocados en un baño de agua destilada a temperatura controlada (37 ± 1 °C), con el fin de simular condiciones intraorales y favorecer la estabilización inicial del material.</p>

6		<p>Acabado superficial del espécimen</p> <p>Posteriormente, los especímenes son retirados del molde y se realiza el acabado superficial mediante lijado con abrasivo de grano fino, eliminando irregularidades y obteniendo superficies homogéneas.</p>
7		<p>Almacenamiento previo al ensayo mecánico</p> <p>Finalmente, los especímenes se mantienen en agua a temperatura controlada hasta la realización de los ensayos mecánicos, garantizando condiciones estandarizadas para la evaluación de sus propiedades físicas y mecánicas.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Almacenamiento

Todas las muestras fueron almacenadas, teniendo como parámetro la norma ISO anteriormente descrita, en agua destilada a 37 ± 1 °C durante 24 horas.

Ensayo de resistencia flexural y módulo flexural

El ensayo de resistencia flexural se realizó con la técnica de flexión de tres puntos en una máquina de ensayos universales OMC 1000 (Odeme Research). Cada muestra fue colocada sobre dos soportes separados entre sí por 20 mm. Se aplicó una carga en el centro del espécimen a una velocidad de 0,5 mm/min hasta la fractura.

El valor en MPa, de resistencia flexural (FS) se calculó con la fórmula:

$$FS = 3F_{max}.L/2bh^2$$

Por otro lado, el módulo de flexión fue calculado según los valores de resistencia flexural, con la fórmula:

$$\sigma = 3Fl/2bh^2$$

Preparación de las muestras para las pruebas de microdureza de Vickers

La preparación de las muestras destinadas al ensayo de microdureza Vickers se realizó siguiendo estrictamente los lineamientos establecidos en la norma ISO 4049, con las adaptaciones necesarias según las condiciones experimentales del presente estudio. Para la evaluación de la microdureza, se confeccionaron discos de resina mediante un molde metálico de acero inoxidable con dimensiones de 10 mm de diámetro y 3 mm de espesor. Los especímenes se distribuyeron en tres grupos experimentales (n = 10), de acuerdo con el mecanismo de polimerización de cada material.

Para Stela Automix, se colocó inicialmente una tira de poliéster sobre una base metálica, sobre la cual se posicionó el molde. El material fue insertado cuidadosamente siguiendo las instrucciones del fabricante, procurando evitar la formación de burbujas. Posteriormente, se colocó una segunda tira de poliéster junto con una placa metálica superior para eliminar el exceso de material y obtener superficies uniformes. La polimerización se produjo de manera química durante 4 minutos a temperatura ambiente, conforme a las especificaciones del fabricante. Tras este periodo, el espécimen fue retirado del molde y los excesos periféricos fueron eliminados mediante una hoja de bisturí N.º 11 y papel abrasivo de grano fino.

Para Tetric N-PowerFlow 2, el procedimiento inicial de llenado del molde fue equivalente al descrito previamente. Una vez removido el exceso de material, la placa metálica superior fue sustituida por un portaobjetos de vidrio cubierto con una tira de poliéster. La fotopolimerización se llevó a cabo utilizando una lámpara LED Grand Valo (Ultradent), posicionada a 1 cm de distancia, mediante una exposición de 40 segundos sobre la superficie superior. Posteriormente,

el molde fue invertido y se repitió el mismo protocolo en la superficie opuesta, con el fin de asegurar una polimerización homogénea. Finalizado este proceso, los discos fueron retirados y los excesos eliminados con bisturí y abrasivo fino.

Para Fill-Up!, los especímenes se prepararon siguiendo el mismo protocolo descrito para Tetric. Sin embargo, previo a la fotopolimerización, las muestras se mantuvieron en reposo durante 3 minutos para permitir el inicio de la autopolimerización química, conforme a las recomendaciones del fabricante. Posteriormente, se realizó la fotopolimerización en ambas superficies siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, y se procedió a la eliminación de excesos e irregularidades.

Una vez confeccionados, todos los especímenes fueron almacenados en agua destilada a 37 ± 1 °C durante un periodo de 24 horas antes de la evaluación de microdureza.

La microdureza se evaluó mediante un microdurómetro Vickers, aplicando una carga de 100 g durante 10 segundos. En cada espécimen se efectuaron tres indentaciones, y el valor final se obtuvo como el promedio de dichas mediciones.

Tabla 3.
Materiales evaluados en el estudio.

Nombre del Material	Composición	Polimerización	Fabricante
Tetric N-PowerFlow 2	Bis-EMA, Bis-GMA, trifluoruro de DCP, relleno (71-72 wt%).	Fotopolimerización	Ivoclar
Fill-Up!	Bis- GMA, TMPTMA, UDMA, TEGDMA, relleno (≈ 65 wt%)	Polimerización Dual	Coltene
Stela Automix	DUDMA, GDMA, 10-MDP, relleno (61.2 wt%)	Autopolimerización	SDI

Fuente: Elaboración propia.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, los datos se analizaron mediante el programa SPSS (v 0.25 para Mac). Los parámetros de normalidad se evaluaron con la prueba de Shapiro-Wilk. Posteriormente se usó un análisis de varianza ANOVA de un factor con postest de Tukey, con un nivel de significancia pre-establecido de $p < 0.05$.

Hallazgos

Para la resistencia flexural, el ANOVA de dos vías reveló un efecto significativo del material ($p < 0.001$) y de la condición de almacenamiento ($p = 0.032$), mientras que la interacción entre los factores no fue significativa ($p = 0.349$). TPF mostró la mayor resistencia flexural tanto en condiciones de control como en condiciones de ácido gástrico. En la condición de control, TPF (131.1 ± 10.9 MPa) fue significativamente mayor que FUP (114.9 ± 7.0 MPa) y STE (115.3 ± 9.5 MPa), mientras que no se observó diferencia significativa entre FUP y STE. Después de la inmersión en ácido gástrico, TPF (123.6 ± 8.7 MPa) permaneció

significativamente mayor que FUP (106.2 ± 7.8 MPa) y STE (100.2 ± 8.5 MPa), sin diferencias significativas entre FUP y STE. Las comparaciones dentro de cada material mostraron que la inmersión en ácido gástrico redujo significativamente la resistencia flexural solo para STE, mientras que no se detectó reducción significativa para TPF ni FUP.

Para el módulo flexural, se detectaron efectos significativos para el material ($p < 0.001$), la condición de almacenamiento ($p < 0.001$) y la interacción entre factores ($p = 0.035$). En la condición control, TPF (7.89 ± 0.35 GPa) y FUP (7.58 ± 0.28 GPa) mostraron valores similares, y ambos fueron significativamente mayores que STE (7.07 ± 0.20 GPa). Después de la inmersión en ácido gástrico, todos los materiales difirieron significativamente entre sí, con TPF mostrando el mayor módulo flexural (7.35 ± 0.24 GPa), seguido de FUP (6.92 ± 0.22 GPa) y STE (6.10 ± 0.25 GPa). La inmersión en ácido gástrico redujo significativamente el módulo flexural en todos los materiales evaluados.

Para la dureza Vickers, el ANOVA de dos vías también mostró efectos significativos del material ($p < 0.001$), la condición de almacenamiento ($p < 0.001$) y su interacción ($p = 0.037$). En la condición control, TPF presentó los valores de dureza más altos (62.8 ± 1.7 VHN), seguido de FUP (54.9 ± 2.1 VHN) y STE (48.2 ± 2.7 VHN), siendo todas las comparaciones por pares estadísticamente significativas.

El mismo orden se mantuvo después de la inmersión en ácido gástrico, con TPF (57.8 ± 2.1 VHN) mostrando valores significativamente mayores que FUP (45.6 ± 2.4 VHN), y FUP a su vez, significativamente mayor que STE (37.8 ± 2.7 VHN). Las comparaciones dentro de cada material demostraron que la inmersión en ácido gástrico redujo significativamente la dureza Vickers en todos los materiales.

En general, TPF mostró el mejor desempeño mecánico en ambas condiciones. La inmersión en ácido gástrico afectó negativamente las propiedades evaluadas, aunque la magnitud de esta reducción fue dependiente del material, particularmente para el módulo flexural y la dureza Vickers.

Tabla 4.

Promedios \pm desviación estándar (MPa) para resistencia flexural (FS) de todos los materiales evaluados.

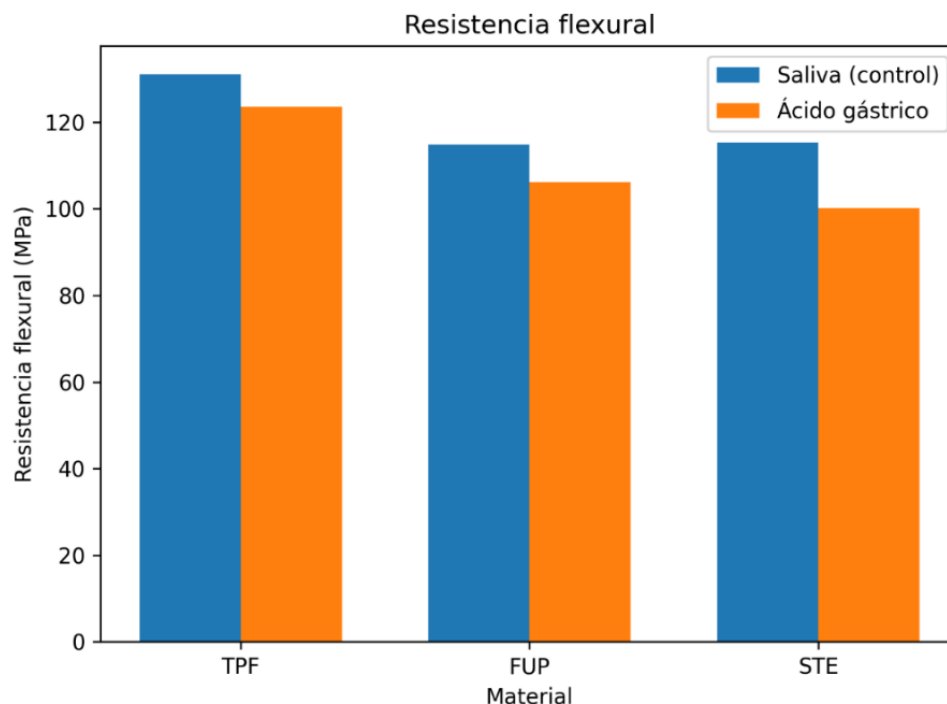
MATERIAL	SALIVA	ACIDO GASTRICO	TOTAL
TPF	131.1 \pm 10.9	123.6 \pm 8.7	127.4 \pm 10.2 A
FUP	114.9 \pm 7.0	106.2 \pm 7.8	110.6 \pm 8.0 B
STE	115.3 \pm 9.5	100.2 \pm 8.5	107.7 \pm 11.1 B
TOTAL	120.4 \pm 11.8 a	110.0 \pm 12.6 b	

Fuente: Elaboración propia.

*Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre microaplicador dentro de la misma columna (Tukey HSD, $\alpha = 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos dentro del mismo microaplicador (t pareada, $\alpha = 0.05$). No se encontró interacción relevante entre los factores ($p = 0.919$).

Figura 1

Representación gráfica de la resistencia flexural (MPa) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.

Promedios \pm desviación estándar (GPa) para Módulo flexural (E) de todos los materiales evaluados.

MATERIAL	SALIVA	ACIDO GASTRICO
TPF	7.89 \pm 0.35 Aa	7.35 \pm 0.24 Ab
FUP	7.58 \pm 0.28 Aa	6.92 \pm 0.22 Bb
STE	7.07 \pm 0.20 Ba	6.10 \pm 0.25 Cb

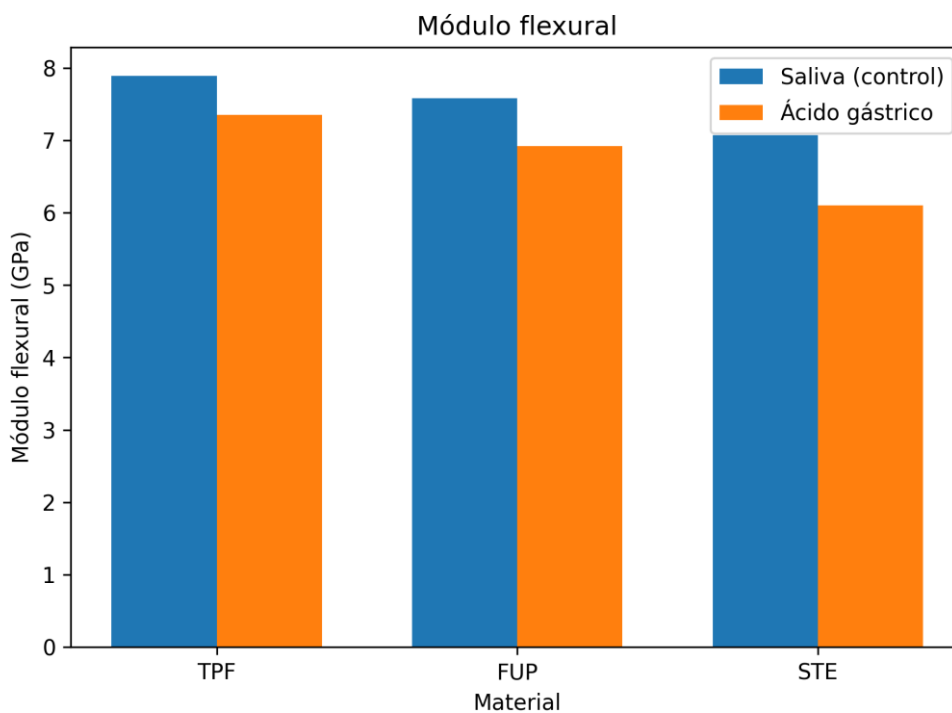
Fuente: Elaboración propia.

*Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre microaplicador dentro de la misma columna (Tukey HSD, $\alpha = 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos dentro del

mismo microaplicador (t pareada, $\alpha = 0.05$). No se encontró interacción relevante entre los factores ($p = 0.919$).

Figura 2

Representación gráfica del módulo flexural (GPa) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

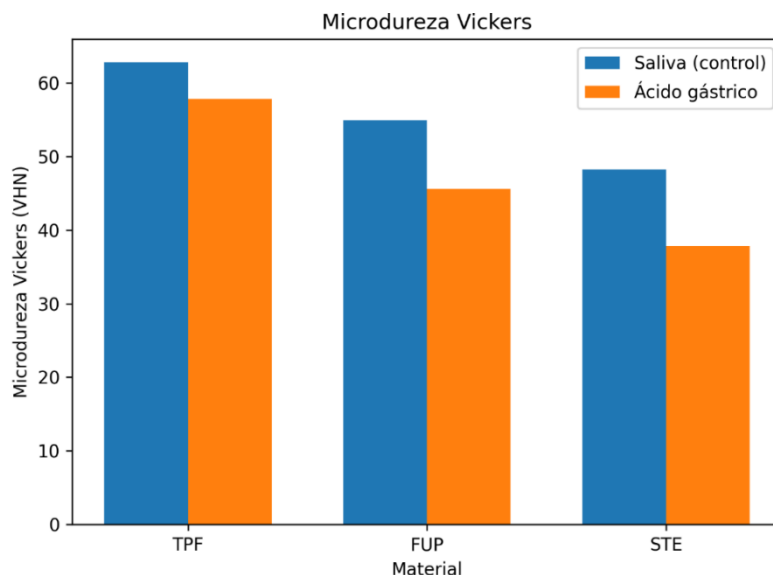
Promedios \pm desviación estándar de microdureza Vickers (VHN) de todos los materiales evaluados.

MATERIAL	SALIVA	ACIDO GASTRICO
TPF	62.8 \pm 1.7 Aa	57.8 \pm 2.1 Ab
FUP	54.9 \pm 2.1 Ba	45.6 \pm 2.4 Bb
STE	48.2 \pm 2.7 Ca	37.8 \pm 2.7 Cb

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3

Representación gráfica de la microdureza Vickers (VHN) de los grupos en saliva artificial y en ácido gástrico.



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los resultados del presente estudio demuestran que tanto el tipo de material como la exposición a ácido gástrico simulado influyen significativamente en las propiedades mecánicas evaluadas, lo que conduce al rechazo de ambas hipótesis nulas. Sin embargo, más allá de la significancia estadística, el hallazgo más relevante es que la magnitud y el patrón de degradación no fueron uniformes entre los materiales, lo que evidencia un comportamiento claramente dependiente de la composición y del mecanismo de polimerización.

En términos generales, el material fotopolimerizable mostró el mejor desempeño mecánico en todas las propiedades evaluadas, tanto en el control como tras el envejecimiento ácido. Este comportamiento sugiere la formación de una red polimérica más homogénea y con una mayor densidad de reticulación en condiciones de polimerización controladas. La

fotoactivación directa, con irradiancia adecuada y sin interferencias, favorece una cinética de polimerización más eficiente, lo que se traduce en una estructura más resistente a la deformación y a la propagación de fisuras (Bardocz-Veres et al., 2024; Burrer et al., 2023).

Por el contrario, los materiales de curado dual y, especialmente, el autopolimerizable, presentaron valores inferiores y una mayor susceptibilidad a la degradación. Aunque estos sistemas están diseñados para garantizar la conversión monomérica en condiciones clínicas desfavorables, su mecanismo de polimerización implica rutas químicas adicionales que pueden generar redes poliméricas menos uniformes o con menor densidad de reticulación (de Mendonça et al., 2021; Elawsya et al., 2022; Ferreira de Souza et al., 2025; Mendoza et al., 2024; Pires et al., 2026). Esto no implica necesariamente una polimerización incompleta, sino diferencias estructurales intrínsecas que condicionan su comportamiento mecánico y su estabilidad frente a agentes degradativos (Caracas-de-Araújo et al., 2026; Da Rosa Rodolpho et al., 2022; Josic et al., 2023; Morresi et al., 2014; Soares et al., 2017).

La reducción observada en la resistencia flexural tras la exposición al ácido gástrico puede explicarse por procesos de degradación química que afectan tanto a la matriz resinosa como a la interfaz matriz-relleno. En ambientes de pH bajo, los protones pueden penetrar en la red polimérica y favorecer la hidrólisis de enlaces, así como la disolución parcial de componentes inorgánicos o de la capa de silano. Este deterioro interfacial facilita la formación y propagación de microfisuras bajo carga, lo que se traduce en una disminución de la resistencia flexural (da Cruz et al., 2022; Kulkarni et al., 2020; Picolo et al., 2023). El hecho de que el material autopolimerizable presentara la mayor reducción sugiere una mayor vulnerabilidad de su estructura frente a estos mecanismos. Un comportamiento similar se observó en el módulo flexural, donde todos los materiales experimentaron una disminución tras el envejecimiento,

aunque con magnitudes distintas. Dado que el módulo elástico está fuertemente influenciado por el contenido y la distribución del relleno inorgánico, las variaciones observadas indican que la degradación no se limita a la matriz orgánica, sino que también compromete la eficiencia de transferencia de carga entre la matriz y el relleno (Cruz et al., 2020). La alteración de esta interfaz reduce la rigidez global del material, incluso cuando los cambios en la composición no son evidentes a nivel macroscópico.

En el caso de la microdureza, la reducción observada en todos los materiales confirma que las propiedades superficiales son particularmente sensibles a los desafíos químicos. A diferencia de las propiedades flexurales, que reflejan el comportamiento volumétrico del material, la microdureza está directamente relacionada con la integridad superficial. La exposición al ácido puede inducir procesos de plastificación de la matriz resinosa, lixiviación de monómeros no reaccionados y pérdida de partículas de relleno superficiales, lo que reduce la resistencia a la indentación. La consistencia en la disminución de la dureza entre los materiales sugiere que este fenómeno es generalizado, aunque su magnitud depende de la composición específica (Oliveira Junior et al., 2022; Picolo et al., 2023).

Desde una perspectiva mecánica, los resultados indican que la estabilidad frente a ambientes ácidos está estrechamente relacionada con la calidad de la red polimérica y la eficiencia de la unión matriz-relleno. Materiales con mayor grado de conversión efectivo, mejor silanización y mayor contenido de relleno tienden a mostrar mayor resistencia a la degradación. En este sentido, el mejor desempeño del material fotopolimerizable no debe interpretarse únicamente como una ventaja del mecanismo de curado, sino como una combinación de factores estructurales y composicionales.

Estos hallazgos tienen implicaciones clínicas relevantes. En pacientes con exposición frecuente a medios ácidos, como los con reflujo gastroesofágico, la selección del material restaurador adquiere especial importancia. Los materiales más susceptibles a la degradación pueden experimentar una pérdida progresiva de propiedades mecánicas, lo que podría comprometer la integridad marginal, incrementar el desgaste y reducir la longevidad de la restauración (Laporte et al., 2025; Thadathil Varghese et al., 2024). Por tanto, la elección del material no debe basarse exclusivamente en sus propiedades iniciales, sino también en su estabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

No obstante, este estudio presenta limitaciones que deben considerarse. Al tratarse de un estudio in vitro, las condiciones experimentales no reproducen completamente la complejidad del entorno oral, donde factores como la carga cíclica, la biofilm y las variaciones dinámicas de pH pueden modificar el comportamiento de los materiales. Además, se evaluó un número limitado de materiales, lo que limita la generalización de los resultados. Estudios futuros deberían incluir un mayor número de sistemas restauradores y condiciones de envejecimiento más complejas para validar estos hallazgos.

Conclusiones

Dentro de las limitaciones de este estudio in vitro, se puede concluir que el comportamiento mecánico de las resinas compuestas bulk-fill fluidas está significativamente influenciado tanto por el tipo de material como por la exposición al ácido gástrico simulado. El material fotopolimerizable mostró un desempeño superior en términos de resistencia flexural, módulo flexural y microdureza, tanto en el control como tras el envejecimiento, mientras que el material autopolimerizable presentó la mayor susceptibilidad a la degradación. La exposición al

medio ácido produjo una reducción significativa de todas las propiedades evaluadas, lo que evidencia que la estabilidad de estos materiales frente a condiciones químicamente agresivas depende de su composición y de su mecanismo de polimerización. Estos hallazgos sugieren que la selección del material restaurador debe considerar no solo sus propiedades iniciales, sino también su comportamiento ante desafíos ambientales que puedan comprometer su desempeño a largo plazo.

Referencias

- Ajaj, R., Farsi, N., Alzain, L., Nuwaylati, N., Ghurab, R., & Nassar, H. (2021). Dental Bulk-Fill Resin Composites Polymerization Efficiency: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Composites Science*, 5(6), 149. <https://doi.org/10.3390/jcs5060149>
- Alhotan, A., Alaqueely, R., Al-Johani, H., Alrobaish, S., & Albaiz, S. (2024). Effect of simulated gastric acid exposure on the hardness, topographic, and colorimetric properties of machinable and pressable zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramics. *J Prosthet Dent*, 132(3), 625.e621-625.e627. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.06.021>
- Bardocz-Veres, Z., Miklós, M. L., Biró, E. K., Kántor É, A., Kántor, J., Dudás, C., & Kerekes-Máthé, B. (2024). New Perspectives in Overcoming Bulk-Fill Composite Polymerization Shrinkage: The Impact of Curing Mode and Layering. *Dent J (Basel)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/dj12060171>
- Burrer, P., Par, M., Furer, L., Stübi, M., Marovic, D., Tarle, Z., Attin, T., & Tauböck, T. T. (2023). Effect of polymerization mode on shrinkage kinetics and degree of conversion of dual-curing bulk-fill resin composites. *Clin Oral Investig*, 27(6), 3169-3180. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-04928-0>
- Caracas-de-Araújo, A. P., da Silva-Filho, J. E., Cardoso-Oliveira, A. B., Godeiro, M. V., de Oliveira-Alves, L. G., & de-Moraes, M. D. R. (2026). Clinical effectiveness of bulk-fill composite resins in restorative dentistry: a scoping review and thematic analysis. *J Dent*, 167, 106557. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2026.106557>
- Cruz, M. E. M., Simões, R., Martins, S. B., Trindade, F. Z., Dovigo, L. N., & Fonseca, R. G. (2020). Influence of simulated gastric juice on surface characteristics of CAD-CAM monolithic materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 123(3), 483-490. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.04.018>
- da Cruz, M. E. M., Oliveira, J. J. R., Dovigo, L. N., & Fonseca, R. G. (2022). Long-term effect of gastric juice alternating with brushing on the surface roughness, topography, and

- staining susceptibility of CAD-CAM monolithic materials. *J Prosthet Dent*, 127(4), 659.e651-659.e611. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.016>
- Da Rosa Rodolpho, P. A., Rodolfo, B., Collares, K., Correa, M. B., Demarco, F. F., Opdam, N. J. M., Cenci, M. S., & Moraes, R. R. (2022). Clinical performance of posterior resin composite restorations after up to 33 years. *Dent Mater*, 38(4), 680-688. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.02.009>
- de Mendonça, B. C., Soto-Montero, J. R., de Castro, E. F., Pecorari, V. G. A., Rueggeberg, F. A., & Giannini, M. (2021). Flexural strength and microhardness of bulk-fill restorative materials. *J Esthet Restor Dent*, 33(4), 628-635. <https://doi.org/10.1111/jerd.12727>
- Elawsya, M. E., Montaser, M. A., El-Wassefy, N. A., & Zaghloul, N. M. (2022). Depth of cure of dual- and light-cure bulk-fill resin composites. *Am J Dent*, 35(4), 185-190.
- Ferreira de Souza, M. G., Mendonça Vasconcelos, E. E., Haur, C. T., de Oliveira, N. G., de Melo Monteiro, G. Q., Guimarães, R. P., & Espíndola-Castro, L. F. (2025). Evaluation of physical, chemical, and mechanical properties of a self-curing bulk-fill resin composite: An in vitro comparative study. *J Clin Exp Dent*, 17(12), e1463-e1470. <https://doi.org/10.4317/jced.63434>
- Hjerppe, J., Shahramian, K., Rosqvist, E., Lassila, L. V. J., Peltonen, J., & Närhi, T. O. (2023). Gastric acid challenge of lithium disilicate-reinforced glass-ceramics and zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramic after polishing and glazing-impact on surface properties. *Clin Oral Investig*, 27(11), 6865-6877. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05301-x>
- Josic, U., D'Alessandro, C., Miletic, V., Maravic, T., Mazzitelli, C., Jacimovic, J., Sorrentino, R., Zarone, F., Mancuso, E., Delgado, A. H., Breschi, L., & Mazzoni, A. (2023). Clinical longevity of direct and indirect posterior resin composite restorations: An updated systematic review and meta-analysis. *Dent Mater*, 39(12), 1085-1094. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2023.10.009>

- Kelch, M., Stawarczyk, B., & Mayinger, F. (2022). Chemical and mechanical properties of dual-polymerizing core build-up materials. *Clin Oral Investig*, 26(7), 4885-4896.
<https://doi.org/10.1007/s00784-022-04455-4>
- Kulkarni, A., Rothrock, J., & Thompson, J. (2020). Impact of Gastric Acid Induced Surface Changes on Mechanical Behavior and Optical Characteristics of Dental Ceramics. *Journal of Prosthodontics*, 29(3), 207-218.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jopr.12716>
- Laporte, C., Bourgi, R., Jmal, H., Ben Ammar, T., Hazko, S., Addiego, F., Sauro, S., Haïkel, Y., & Kharouf, N. (2025). Mechanical, Antibacterial, and Physico-Chemical Properties of Three Different Polymer-Based Direct Restorative Materials: An In Vitro Study. *Polymers (Basel)*, 17(9). <https://doi.org/10.3390/polym17091272>
- Mahajan, R., Kulkarni, R., & Stoopler, E. T. (2022). Gastroesophageal reflux disease and oral health: A narrative review. *Spec Care Dentist*, 42(6), 555-564.
<https://doi.org/10.1111/scd.12726>
- Maret-Ouda, J., Markar, S. R., & Lagergren, J. (2020). Gastroesophageal Reflux Disease: A Review. *Jama*, 324(24), 2536-2547. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.21360>
- Meereis, C. T. W., Münchow, E. A., De Oliveira Da Rosa, W. L., Da Silva, A. F., & Piva, E. (2018). Polymerization shrinkage stress of resin-based dental materials: A systematic review and meta-analyses of composition strategies. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 82, 268-281. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.03.019>
- Mendoza, L. C. L., Peres, T. S., Estevão, I. D. G., Ribeiro, M. T. H., de Melo, C., Carlos, H. L., & Soares, C. J. (2024). Mechanical properties of dual-polymerizing resin-core material, dual-polymerizing resin cement, and bulk-fill composite resin used for restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent*, 132(6), 1326.e1321-1326.e1329.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.08.007>
- Morresi, A. L., D'Amario, M., Capogreco, M., Gatto, R., Marzo, G., D'Arcangelo, C., & Monaco, A. (2014). Thermal cycling for restorative materials: does a standardized

- protocol exist in laboratory testing? A literature review. *J Mech Behav Biomed Mater*, 29, 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2013.09.013>
- Oliveira Junior, J. R., Cruz, M., Dovigo, L. N., & Fonseca, R. G. (2022). Long-term effects of simulated gastric juice alternated with brushing on hardness, substance loss, flexural strength and reliability of CAD-CAM monolithic materials. *J Appl Oral Sci*, 30, e20210536. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2021-0536>
- Omara, A. A., Othman, H. I., Aldamaty, M. F., & Metwally, M. F. (2024). Effect of acidic environment on color and translucency of different indirect restorative materials. *BMC Oral Health*, 24(1), 472. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04218-5>
- Piccolo, M. Z. D., Kury, M., Romário-Silva, D., Rosalen, P. L., Pecorari, V. G. A., Gianinni, M., & Cavalli, V. (2023). Effects of gastric acid and mechanical toothbrushing in CAD-CAM restorative materials: Mechanical properties, surface topography, and biofilm adhesion. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 138, 105606. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105606>
- Pires, P. M., Almeida Neves, A., Farrar, P., Ferrando Cascales, Á., Banerjee, A., Pinheiro Feitosa, V., & Sauro, S. (2026). Bonding Performance and Interfacial Ultra-Morphology/Nanoleakage of a Modern Self-Curing Bulk-Fill Restorative System: An In Vitro Study. *Eur J Dent*, 20(1), 96-104. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1804886>
- Rodrigues, G. F., Nogueira, I. A. D., de Meneses, N. E., Fontenele, A. L. D., Silvestre, F. A., Moreira, A. C. L., Fiamengui, L., Pontes, K. M. F., & Peixoto, R. F. (2025). Effects of gastric acid on surface roughness, microhardness, fracture strength, and color change of dental ceramics: A systematic review of in vitro studies. *J Prosthodont*. <https://doi.org/10.1111/jopr.70057>
- Roulet, J. F., Gummadi, S., Hussein, H. S., Abdulhameed, N., & Shen, C. (2020). In vitro wear of dual-cured bulkfill composites and flowable bulkfill composites. *J Esthet Restor Dent*, 32(5), 512-520. <https://doi.org/10.1111/jerd.12616>
- Soares, C. J., Faria-E-Silva, A. L., Rodrigues, M. D. P., Vilela, A. B. F., Pfeifer, C. S., Tantbirojn, D., & Versluis, A. (2017). Polymerization shrinkage stress of composite resins and resin

cements – What do we need to know? *Brazilian Oral Research*, 31(suppl 1).

<https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0062>

Thadathil Varghese, J., Raju, R., Farrar, P., Prentice, L., & Prusty, B. G. (2024). Comparative analysis of self-cure and dual cure-dental composites on their physico-mechanical behaviour. *Aust Dent J*, 69(2), 124-138. <https://doi.org/10.1111/adj.13004>

Tomaszewska, I. M., Kearns, J. O., Ilie, N., & Fleming, G. J. (2015). Bulk fill restoratives: to cap or not to cap--that is the question? *J Dent*, 43(3), 309-316.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2015.01.010>

Vandewalker, J. P., Casey, J. A., Lincoln, T. A., & Vandewalle, K. S. (2016). Properties of dual-cure, bulk-fill composite resin restorative materials. *General Dentistry*, 64(2), 68-73.

Yang, H., Yang, S., Attin, T., & Yu, H. (2023). Effect of Acidic Solutions on the Surface Roughness and Microhardness of Indirect Restorative Materials: A Systematic Review and Meta-analysis. *Int J Prosthodont*, 36(1), 81–90. <https://doi.org/10.11607/ijp.7463>