



Facultad de Ciencias de la Salud

Especialidad de Operatoria Dental y Estética

Tema:

Influencia de la composición de los microaplicadores en la resistencia a la unión de sistemas adhesivos universales.

Tesis para la obtención del título de especialista en Operatoria Dental y Estética.

Presentada por:

Ana Patricia Ludeña Montaña

Tutor:

Camilo Andrés Pulido Mora

Quito marzo, 2026

Resumen

Objetivo: Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales sobre la resistencia adhesiva dentina - resina a 24 horas y después de 10 000 ciclos. **Métodos:** Se seleccionaron 56 molares humanos sanos, preparados para obtener superficies planas de dentina. Las muestras se dividieron aleatoriamente en siete grupos según el tipo de microaplicador empleado. Luego se aplicó el adhesivo bajo un protocolo estandarizado de autograbado, seguido de la restauración con resina compuesta. Tras 24 h de almacenamiento o 10.000 ciclos de termociclado, se prepararon varillas de resina - dentina ($\sim 0,8 \text{ mm}^2$) que fueron sometidas a ensayos de microtracción (μTBS). Los modos de fallo se clasificaron en adhesivos, cohesivos y mixtos bajo estereomicroscopía. Posteriormente, se aplicó un ANOVA de dos vías para evaluar la influencia del tipo de microaplicador y el envejecimiento artificial sobre la resistencia adhesiva, complementado con pruebas post hoc para determinar las diferencias entre los grupos ($\alpha = 0,05$). Los resultados mostraron diferencias significativas en la resistencia adhesiva según el tipo de microaplicador y el envejecimiento ($p < 0,001$). Los microaplicadores Vivapen, Cavibrush y Zeroflox presentaron los valores más altos de resistencia a la microtracción, mientras que Kerr, Kuraray y Dental Pi mostraron los más bajos. Aunque el envejecimiento disminuyó la resistencia en todos los grupos, los microaplicadores que mostraron mejores resultados al inicio mantuvieron su buen desempeño incluso después de los 10.000 ciclos. **Conclusiones:** El tipo de microaplicador influyó significativamente en la resistencia de unión dentina - resina tanto a corto plazo como tras el envejecimiento. Los microaplicadores que permitieron una dispensación controlada y una distribución uniforme del adhesivo mostraron valores superiores de resistencia, manteniéndose este comportamiento de forma consistente después del envejecimiento.

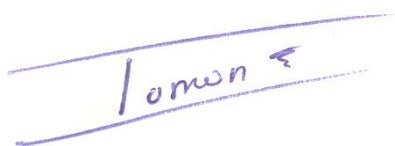
Palabras Clave: microaplicador, adhesión dental, microtracción, adhesivo universal.

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 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.



Ana Patricia Ludeña Montaña

CI. 1103906432

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mí misma, en reconocimiento a la constancia, disciplina y esfuerzo que me han permitido alcanzar este logro académico. Cada desafío enfrentado y cada hora de dedicación se reflejan en estas páginas, que simbolizan no solo el cumplimiento de una meta, sino también mi crecimiento personal, profesional y emocional. Este logro es un testimonio de mi capacidad de perseverar, mantenerme firme en mis objetivos y avanzar con determinación hacia mis sueños.

De manera especial, dedico también este trabajo a mi esposo, cuyo apoyo constante, comprensión y compañía han sido un pilar fundamental en este proceso. Su presencia ha hecho que los momentos difíciles fueran más llevaderos y que cada logro adquiriera un significado más profundo.

Que esta tesis refleje tanto el valor del esfuerzo personal como la importancia de quienes nos acompañan en nuestro camino, celebrando la unión entre la dedicación propia y el respaldo de quienes nos inspiran a seguir adelante.

Índice

Índice.....	5
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas	7
Resumen.....	8
Abstract	10
Introducción	11
Análisis estadístico.....	20
Hallazgos.....	21
Discusión.....	26
Conclusiones	30
Referencias.....	31

Índice de figuras

Figura 1. Esquema ilustrado del procedimiento experimental.	15
Figura 2. Representación gráfica de la resistencia adhesiva (MPa) de los microaplicadores a 24 h y 10.000 ciclos.	23

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los microaplicadores evaluados.	16
Tabla 2. Valores medios (\pm DE) de resistencia adhesiva (mpa) para cada microaplicador en los dos tiempos de evaluación (n=8).....	22
Tabla 3. Registro fotográfico del estado de los microaplicadores antes, con adhesivo y después de la aplicación del sistema adhesivo.....	23

Influencia de la composición de los microaplicadores en la resistencia a la unión de sistemas adhesivos universales. *Estudio in vitro*

Ana Patricia Ludeña Montaña

Universidad Hemisferios

apludenam@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Objetivo: Este estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales sobre la resistencia adhesiva dentina - resina a 24 horas y después de 10 000 ciclos. **Métodos:** Se seleccionaron 56 molares humanos sanos, preparados para obtener superficies planas de dentina. Las muestras se dividieron aleatoriamente en siete grupos según el tipo de microaplicador empleado. Luego se aplicó el adhesivo bajo un protocolo estandarizado de autograbado, seguido de la restauración con resina compuesta. Tras 24 h de almacenamiento o 10.000 ciclos de termociclado, se prepararon varillas de resina - dentina (~0,8 mm²) que fueron sometidas a ensayos de microtracción (μ TBS). Los modos de fallo se clasificaron en adhesivos, cohesivos y mixtos bajo estereomicroscopía. Posteriormente, se aplicó un ANOVA de dos vías para evaluar la influencia del tipo de microaplicador y el envejecimiento artificial sobre la resistencia adhesiva, complementado con pruebas post hoc para determinar las diferencias entre los grupos ($\alpha = 0,05$). Los resultados mostraron diferencias significativas en la resistencia adhesiva según el tipo de microaplicador y el envejecimiento ($p < 0,001$). Los microaplicadores Vivapen, Cavibrush y Zeroflox presentaron los valores más altos de resistencia a la microtracción, mientras que Kerr, Kuraray y Dental Pi mostraron los más bajos. Aunque el envejecimiento disminuyó la resistencia en todos los grupos, los microaplicadores que mostraron mejores resultados al inicio mantuvieron su buen desempeño incluso después de los 10.000 ciclos. **Conclusiones:**

El tipo de microaplicador influyó significativamente en la resistencia de unión dentina - resina tanto a corto plazo como tras el envejecimiento. Los microaplicadores que permitieron una dispensación controlada y una distribución uniforme del adhesivo mostraron valores superiores de resistencia, manteniéndose este comportamiento de forma consistente después del envejecimiento.

Palabras Clave: microaplicador, adhesión dental, microtracción, adhesivo universal.

Abstract

Objective: This study aimed to evaluate the influence of seven commercial microapplicators on dentin–resin bond strength at 24 hours and after 10,000 aging cycles.

Methods: Fifty-six sound human molars were selected and prepared to obtain flat dentin surfaces. The specimens were randomly assigned to seven groups according to the type of microapplicator used. An adhesive system was applied using a standardized self-etch protocol, followed by restoration with resin composite. After 24 hours of water storage or 10,000 thermocycling cycles, resin–dentin sticks (~0.8 mm²) were prepared and subjected to microtensile bond strength (μ TBS) testing. Failure modes were classified as adhesive, cohesive, or mixed under stereomicroscopic analysis. A two-way ANOVA was performed to evaluate the effects of microapplicator type and artificial aging on bond strength, followed by post hoc tests to identify differences among groups ($\alpha = 0.05$). **Results:** Significant differences in bond strength were observed according to both microapplicator type and aging condition ($p < 0.001$). Vivapen, Cavibrush, and Zeroflox microapplicators exhibited the highest μ TBS values, whereas Kerr, Kuraray, and Dental Pi showed the lowest. Although aging reduced bond strength in all groups, microapplicators that demonstrated superior initial performance maintained higher bond strength values after 10,000 cycles. **Conclusions:** Microapplicator type significantly influenced dentin–resin bond strength at both short-term and aged conditions. Microapplicators that enabled controlled dispensing and uniform adhesive distribution yielded higher bond strength values, and this performance remained consistent after artificial aging.

Keywords: microapplicator, dental adhesion, microtensile bond strength, universal adhesive.

Introducción

En los últimos años, la odontología adhesiva ha experimentado un notable progreso, impulsado por el desarrollo de materiales restauradores y sistemas adhesivos con propiedades mejoradas, lo cual ha favorecido de manera significativa la práctica clínica de la odontología restauradora contemporánea (Alomran et al., 2025; Cadenaro et al., 2023; Van Meerbeek et al., 2020). En este contexto, la unión adhesiva establecida entre el material restaurador y los tejidos dentales en restauraciones directas e indirectas se encuentra influenciada por diversos factores, entre los que se incluyen aquellos dependientes del operador (Arhun et al., 2020; Demarco et al., 2023).

La adhesión al esmalte dental es clínicamente confiable y permite obtener valores de adhesión estables y predecibles a lo largo del tiempo; en cambio, la adhesión a dentina continúa siendo más compleja, debido a su estructura heterogénea y a la presencia de humedad. Estas características influyen directamente en la respuesta de la dentina frente a los distintos protocolos adhesivos y pueden comprometer la efectividad de la unión (Bourgi et al., 2024; Wiegand et al., 2021). En consecuencia, la técnica de aplicación y las características de los instrumentos utilizados en el procedimiento adhesivo resultan determinantes en el desempeño de la interfaz dentina - resina (Hardan et al., 2023).

Uno de los objetivos principales de la adhesión dentinaria es garantizar una infiltración óptima de monómeros adhesivos en la red de colágeno expuesta tras el acondicionamiento del sustrato, lo que permite la formación de una capa híbrida estructuralmente estable. Sin embargo, una infiltración incompleta o irregular de monómeros conduce a la formación de una capa híbrida discontinua que favorece la nanofiltración y acelera la degradación hidrolítica, comprometiendo la resistencia de la unión y su estabilidad a largo plazo (Breschi et al., 2025; Jäggi et al., 2024; Mokeem et al., 2023).

Hasta la actualidad, numerosas investigaciones se han centrado en las mejoras de los sistemas adhesivos, principalmente desde el enfoque de su composición, mecanismos de acción y protocolos generales de uso (Delgado et al., 2025; Dressano et al., 2020; Perdigão, 2020). No obstante, la literatura sobre la influencia de la técnica de aplicación y el control del adhesivo durante su dispensación y distribución sobre la dentina es aún limitada, lo que representa una brecha importante considerando su posible impacto en la formación de la capa híbrida y la estabilidad de la unión adhesiva. Este vacío justifica la necesidad de estudios que evalúen el efecto de los microaplicadores en la práctica clínica.

La aplicación clínica de los sistemas adhesivos se puede realizar mediante diferentes técnicas. Diversos autores señalan que la técnica activa mejora la resistencia de adhesión a la dentina, dando resultados más fiables y duraderos; esta técnica se basa en la aplicación con movimiento, presión controlada y renovación del material. Sin embargo, la correcta ejecución de esta técnica depende en gran medida de los instrumentos utilizados durante su aplicación, los cuales actúan como intermediarios entre el operador y el sustrato (Atalay & Meral, 2021; Carvalho et al., 2025).

En este sentido, diferentes dispositivos, entre ellos microaplicadores han sido ampliamente incorporados en la práctica clínica como instrumentos de dispensación y distribución de los sistemas adhesivos, debido a su facilidad de manejo y accesibilidad. Las características físicas de estos dispositivos, como firmeza y flexibilidad, pueden influir directamente en la posibilidad de ejercer una presión controlada y en el contacto uniforme del adhesivo con el sustrato durante su distribución. De igual manera, la capacidad de retención y liberación del adhesivo por parte del microaplicador determina una distribución uniforme y una adecuada renovación del sistema adhesivo sobre la estructura dental. Estos parámetros pueden condicionar el procedimiento adhesivo y la estabilidad de la unión formada. (Bourgi et al., 2023, 2025). De manera complementaria, es posible que exista la pérdida de fibras

residuales de los microaplicadores durante la aplicación del adhesivo, lo cual puede generar discontinuidades en la capa híbrida, afectando el desempeño adhesivo (Berton et al., 2022).

La industria odontológica desarrolla y comercializa de forma constante una amplia variedad de sistemas adhesivos, con el objetivo de simplificar los pasos clínicos y reducir el trabajo del operador; como resultado de esta evolución han surgido los adhesivos universales, ampliamente usados en la práctica clínica (Perdigão et al., 2021). Paralelamente, las distintas presentaciones de los microaplicadores, disponibles en el mercado, no siempre están respaldadas por evidencia científica que sustente su impacto en el desempeño clínico. Por ello, resulta pertinente evaluar de manera comparativa cómo las características físicas de los microaplicadores pueden influir en la resistencia adhesiva, particularmente cuando se emplean sistemas adhesivos universales.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales sobre la resistencia adhesiva dentina-resina a 24 horas y después de 10.000 ciclos. Con base en ello, se plantea la siguiente hipótesis nula: no habrá diferencias en la resistencia adhesiva entre los siete microaplicadores evaluados, independiente del tiempo de evaluación.

Metodología

Diseño De Estudio

El presente estudio es de tipo experimental, in vitro y comparativo, cuyo objetivo fue evaluar la influencia de siete microaplicadores dentales comerciales sobre la resistencia adhesiva dentina-resina a 24 horas y después de 10.000 ciclos de envejecimiento. Para controlar las variables experimentales, se utilizó un único sistema adhesivo universal (Tetric N-Bond Universal, Ivoclar), aplicado mediante una estrategia adhesiva constante.

El diente constituyó la unidad experimental, mientras que las varillas obtenidas de cada diente se consideraron unidades de medición. Con el fin de evitar la pseudorreplicación, los valores de resistencia de unión a microtracción (μ TBS) correspondientes a un mismo diente fueron promediados, obteniéndose un único valor representativo por diente para el análisis estadístico.

Cálculo y tamaño de la muestra

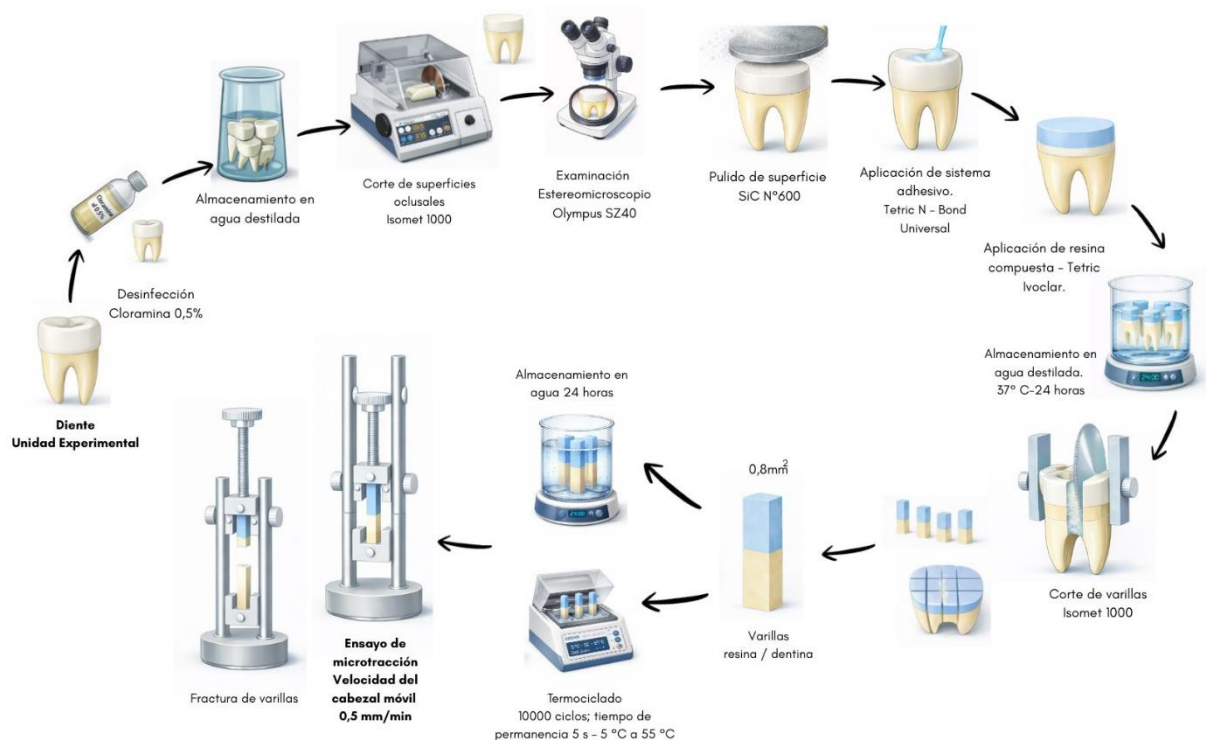
El tamaño de la muestra se calculó en línea a través de www.sealedenvelope.com (consultado en junio de 2025). Se basó en datos publicados sobre la resistencia de adhesión a la microtracción (μ TBS) para dentina sana, que reportaron una media de 33,8 MPa con una desviación estándar de 5,3 MPa. Para identificar una diferencia de 8 MPa entre los grupos con un nivel de significancia del 5 % y un poder del 80 %, se requirieron al menos ocho dientes por grupo ($n = 8$), siguiendo las directrices para la prueba de resistencia de adhesión a la microtracción de la adhesión de composites dentales.

Selección y preparación de los dientes

Cincuenta y seis dientes humanos fueron seleccionados y preparados por un clínico experimentado. Los dientes fueron recolectados con la aprobación del Comité de Ética de la Universidad Hemisferios, extraídas bajo indicación terapéutica, siendo evaluados clínicamente para descartar la presencia de caries, fisuras, restos de materiales restauradores u otras alteraciones estructurales, los cuales constituyeron criterios de exclusión.

Como se muestra en el **Figura 1**, el procedimiento experimental siguió los siguientes pasos:

Figura 1
Esquema ilustrado del procedimiento experimental.



Se desinfectaron en cloramina al 0,5% y se almacenaron en agua destilada hasta su uso. El tercio oclusal de cada corona se retiró con un disco de diamante en una máquina refrigerada por agua (Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, EE. UU.), creando una superficie

de dentina plana. Las superficies se examinaron cuidadosamente bajo un estereomicroscopio (Olympus SZ40, Tokio, Japón) con un aumento de 30X para verificar la ausencia de esmalte.

Para estandarizar la capa de barrillo dentinario, la dentina expuesta se pulió con lijas abrasivas húmedo de carburo de silicio (SiC) de grano n.º 600 durante 30 segundos.

Microaplicadores evaluados

En este estudio se emplearon siete microaplicadores dentales comerciales, los cuales difieren en su fabricante y en la composición de sus puntas y filamentos. Estas características físicas podrían influir en la manipulación, estabilidad estructural, capacidad de retención y liberación del sistema adhesivo durante su aplicación clínica. Las características de los microaplicadores evaluados se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1

Características de los microaplicadores evaluados.

Microaplicador	Fabricante / Marca	Composición / Material
Zeroflox	Medmix	Cerdas de elastómero / mango plástico
Vivapen	Ivoclar Vivadent	Cánula de diseño mixto plástico – metal “snap-on”
Kuraray	Kuraray Noritake Dental Inc.	Fibras de nylon / mango plástico
Cavibrush	FMG	Microfibra sintética / mango plástico
Dental Pi	Dental Pi	Cerdas de silicona / mango plástico.
KG Regular Brush	KG Dental Sorensen	Fibras de nylon / mango plástico
Kerr	Kerr Dental	Fibras sintéticas / mango plástico

Fuente: Elaboración propia.

Diseño experimental

Siete grupos experimentales, resultado de la combinación de los factores principales “microaplicador” (7 niveles): **Zeroflox, Vivapen, Kuraray, Cavibrush, Dental Pi, Cepillo**

KG regular brush, Kerr, y “Envejecimiento” (dos niveles): **Tras 24 h** de almacenamiento en agua y **10000 ciclos** de envejecimiento térmico.

Procedimientos restaurativos

Las muestras se dividieron aleatoriamente en 7 grupos experimentales ($n = 8$) de acuerdo con el tipo de microaplicador asignado. Un solo operador procedió a restaurar las muestras, bajo magnificación de 5X (Admetec ergo loupes 5x). La superficie dentinaria fue secada suavemente con papel absorbente estéril y acondicionada en modo de autograbado mediante un sistema adhesivo (Tetric N - Bond Universal, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein). En cada grupo experimental, el adhesivo fue aplicado exclusivamente con el microaplicador correspondiente al grupo asignado (Zeroflox, Vivapen, Kuraray, Cavibrush, Dental Pi, KG Regular Brush o Kerr).

La aplicación del adhesivo fue realizado mediante una primera capa frotada activamente por 15 segundos, seguida de la evaporación del solvente con aire por 10 segundos. Posteriormente, se aplicó una segunda capa de adhesivo siguiendo el mismo protocolo. Se realizó la fotopolimerización por 20 segundos a una irradiancia de 1200 mW/cm², utilizando una unidad de fotopolimerización LED (Bluephase NG4, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein).

Posterior a esto se procedió a restaurar la superficie utilizando resina compuesta (Tetric, A2, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) con 2 incrementos de 2 mm de espesor, fotopolimerizados individualmente durante 40 segundos a 1200 mW/cm² (Bluephase NG4, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein). Los valores de irradiancia de esta unidad de fotopolimerización se midieron constantemente utilizando un radiómetro (Bluephase meter II, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein).

Todas las muestras recibieron el mismo protocolo restaurativo descrito, variando únicamente el tipo de microaplicador utilizado para la aplicación del sistema adhesivo. Tras la restauración, los dientes se almacenaron en agua destilada a 37 °C durante 24 h

Preparación de varillas

Las muestras se cortaron longitudinalmente utilizando una máquina de corte (Isomet 1000, Buehler, Lake Bluff, IL, EE. UU.) y se rotaron 90° para producir varillas de resina-dentina con un área de sección transversal de aproximadamente $1,00 \pm 0,2 \text{ mm}^2$, medida con calibradores digitales (Digimatic Caliper, Mitutoyo, Tokio, Japón). Las varillas se asignaron de la siguiente manera: mitad de las varillas unidas a resina-dentina de cada grupo experimental se examinaron después de 24 horas de almacenamiento en agua y la otra mitad fue sometida a termociclado (10000 ciclos; tiempo de permanencia 5 s – 5 °C a 55 °C; OMC 300TS, Odeme Dental Research, Brasil) para la prueba de μ TBS.

Prueba de resistencia de unión a microtracción (μ TBS)

Tras 24 horas o 10.000 ciclos de envejecimiento, las muestras de resina-dentina se fijaron en un dispositivo de ensayo de microtracción Geraldeli con gel de cianoacrilato. Posteriormente, se sometieron a un ensayo de microtracción utilizando una máquina universal de ensayos (AG-I, Shimadzu Autograph, Tokio, Japón), a una velocidad de 0,5 mm/min hasta la fractura. La resistencia de unión a microtracción (μ TBS) se expresó en megapascals (MPa), calculada como la relación entre fuerza máxima requerida para la fractura (N) y el área de la sección transversal de la varilla (mm^2).

Los modos de fractura de las varillas de resina-dentina se clasificaron como adhesivos (A) fallos en la interfaz resina-dentina; cohesivos (C) fallos que ocurren únicamente en la dentina o la resina compuesta; y mixtos (M) fallos en la interfaz resina-dentina, con algún fallo cohesivo de los sustratos adyacentes. Esta clasificación se realizó con un

estereomicroscopio (Olympus SZ40; Tokio, Japón) a 100 aumentos. Las varillas que presentaron fallos prematuros (PF) fueron asignadas un valor de resistencia de unión de 4,0 MPa y se incluyeron en el cálculo del promedio correspondiente a cada diente. Para cada diente, los valores individuales de μ TBS obtenidos a partir de las varillas válidas fueron promediados, obteniéndose un único valor medio por diente, el cual fue utilizado como unidad de análisis estadístico.

Análisis estadístico

Los valores medios de resistencia de unión (MPa), calculados por diente, fueron analizados estadísticamente. La normalidad y la homocedasticidad se evaluaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Los datos de resistencia de unión (MPa) se sometieron a una prueba ANOVA de medidas repetidas de dos vías considerando las siguientes variables: aplicador (Microaplicador) y envejecimiento artificial (Tiempo). Se utilizó la prueba post hoc de Tukey HSD para diferencias entre microaplicadores (efecto entre sujetos) y t pareado con corrección de Bonferroni para comparar tiempo (efecto dentro del sujeto) ($\alpha = 0,05$). Los datos se analizaron con un programa estadístico (IBM SPSS Statistics para Mac, v25.0; IBM Corp).

Hallazgos

En la tabla 2 se presentan los valores promedio y desviación estándar (MPa) de la resistencia de unión a microtracción correspondientes a los diferentes grupos evaluados. Se realizó un análisis de varianza mixto de dos factores para evaluar la resistencia adhesiva (MPa) en función del tipo de microaplicador (factor entre sujetos: Zeroflox, Vivapen, Kuraray, Cavibrush, Dental Pi, KG Regular Brush y Kerr), y del tiempo de envejecimiento (factor intra sujeto, 24 horas y 10.000 ciclos). El modelo mostró un efecto principal significativo para el tipo de microaplicador ($p < 0.001$) y para el tiempo de envejecimiento ($p < 0.001$), mientras que la interacción Microaplicador \times Tiempo no fue significativa ($p = 0.919$). Esto indica que la disminución en los valores de resistencia después del envejecimiento fue consistente para todos los microaplicadores.

El análisis post-hoc de Tukey HSD mostró que los grupos Vivapen, Cavibrush y Zeroflox presentaron los valores de resistencia a la microtracción más altos, y se agruparon estadísticamente dentro de la misma categoría (letra A). En contraste, los grupos Kerr, Kuraray y Dental Pi exhibieron los valores medios más bajos conformando un grupo estadísticamente distinto (letra B). El microaplicador KG Regular Brush mostró valores intermedios, estadísticamente similares a Cavibrush y Zeroflox, pero superiores a los de Kerr y Dental Pi.

En términos prácticos, esto sugiere que los microaplicador Vivapen, Cavibrush y Zeroflox favorecen una mayor resistencia adhesiva del sistema evaluado, mientras que Kerr, Kuraray y Dental Pi se asociaron con menores valores de unión. La ausencia de interacción indica que la tendencia de comportamiento entre los microaplicadores se mantuvo tanto a las 24 horas como después del envejecimiento termomecánico, por lo que los grupos con mejor desempeño inicial conservaron también los valores más altos después de 10.000 ciclos.

Tabla 2

Valores medios (\pm DE) de resistencia adhesiva (MPa) para cada microaplicador en los dos tiempos de evaluación ($n=8$).

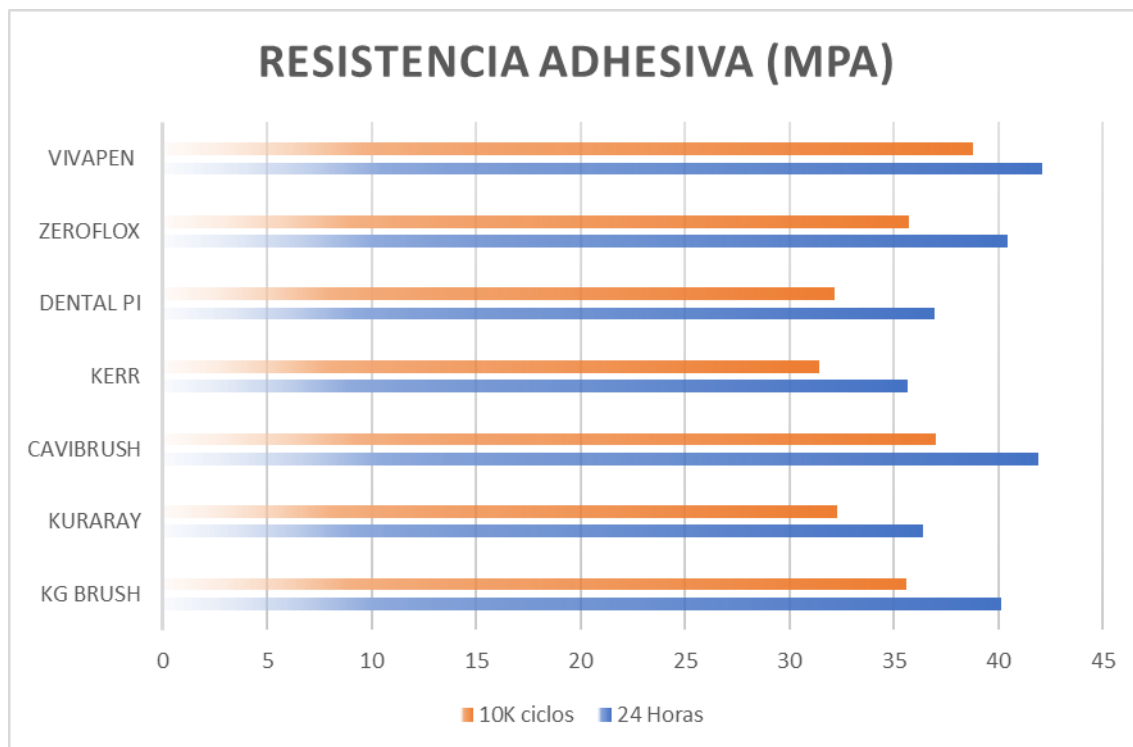
Factor principal	Tiempo	
Microaplicador	24 horas	10K ciclos
Cavibrush	41.91 \pm 3.93 A	36.99 \pm 2.89 A
Dental Pi	36.95 \pm 3.48 B	32.15 \pm 3.39 B
KG Regular Brush	40.14 \pm 3.85 A	35.62 \pm 3.27 A
Kerr	35.65 \pm 3.52 B	31.43 \pm 3.29 B
Kuraray	36.39 \pm 3.61 B	32.29 \pm 3.32 B
Vivapen	42.11 \pm 3.40 A	38.79 \pm 2.47 A
Zeroflox	40.44 \pm 3.72 A	35.74 \pm 3.27 A

Fuente: Elaboración propia.

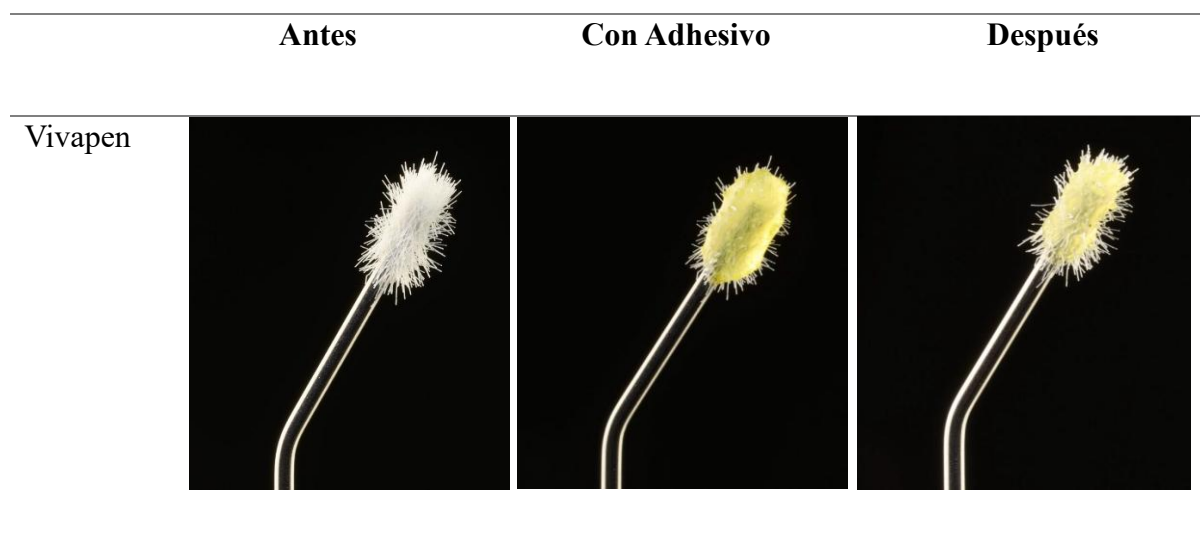
*Letras mayúsculas indican diferencias significativas entre microaplicador dentro de la misma columna (Tukey HSD, $\alpha = 0.05$). Letras minúsculas comparan los tiempos dentro del mismo microaplicador (t pareada, $\alpha = 0.05$). No se encontró interacción relevante entre los factores ($p = 0.919$).

Figura 2

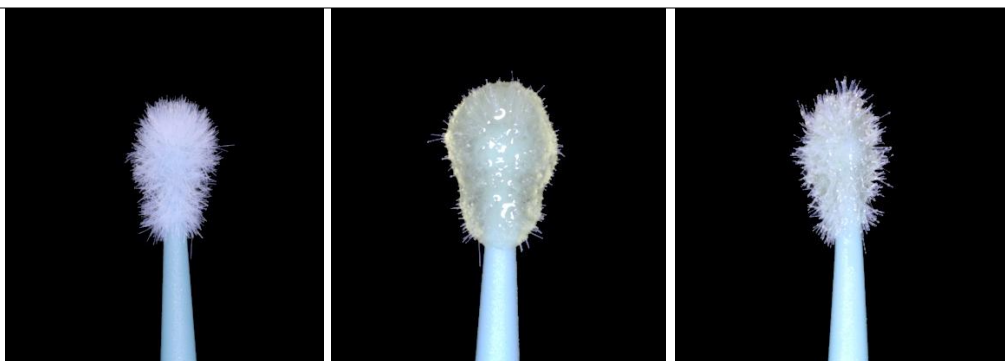
Representación gráfica de la resistencia adhesiva (MPa) de los microaplicadores a 24 h y 10.000 ciclos.

**Tabla 3**

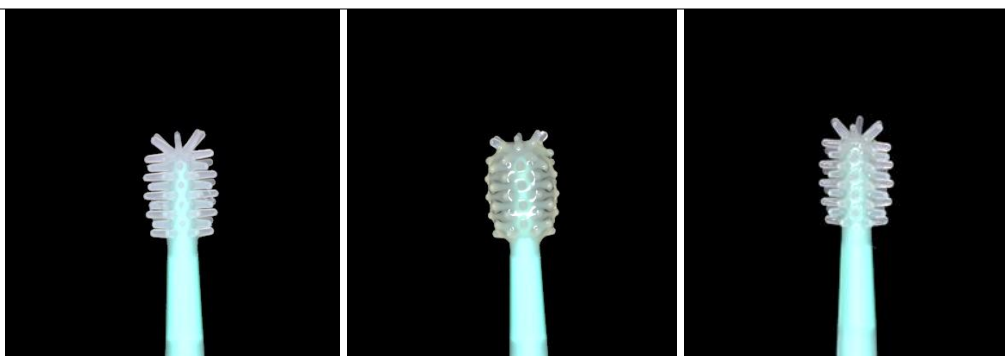
Registro fotográfico del estado de los microaplicadores antes, con adhesivo y después de la aplicación del sistema adhesivo.



Cavibrush



Zeroflox



KG

Regular

Brush



Kerr



Kuraray



Dental Pi



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

El principal hallazgo de este estudio fue que el tipo de microaplicador influye directamente sobre la resistencia adhesiva dentina–resina, evidenciándose diferencias significativas entre los siete microaplicadores evaluados, lo que rechaza la hipótesis nula planteada.

El análisis cuantitativo se complementó con la evaluación fotográfica (tabla 3) de los microaplicadores del antes y después de la aplicación del adhesivo, lo que permitió correlacionar las características de cada microaplicador con su desempeño. Por lo consiguiente, Vivapen mostró una punta metálica semirrígida y estable, con filamentos sintéticos cortos, compactos y no absorbentes, lo que favoreció a la aplicación activa del sistema adhesivo logrando así una distribución homogénea y controlada del adhesivo, y una impregnación más eficiente de la dentina. Este comportamiento se reflejó en los valores superiores de resistencia observados para este microaplicador, lo cual concuerda con lo reportado por Carvalho et. al, quienes reportan que una impregnación eficiente del adhesivo en la dentina favorece la formación de una interfase adhesiva estable y valores superiores de resistencia de unión (Carvalho et al., 2025).

Contrariamente, microaplicadores como Kerr, Kuraray y Dental Pi presentaron deformaciones en la punta y filamentos desordenados tras la aplicación. Esto supone una liberación irregular del adhesivo, la cual puede provocar una distribución desigual sobre la superficie dentinaria, dando lugar a áreas con espesores excesivos o insuficientes de la película adhesiva, lo que se asocia con una disminución de la resistencia de unión. Estos hallazgos coinciden con estudios previos que indican que variaciones en el espesor de la película adhesiva afectan negativamente la resistencia adhesiva (Alam et al., 2022; Tang et al., 2024).

El envejecimiento provocó una disminución de la resistencia adhesiva de todos los grupos, independientemente del tipo del microaplicador, indicando que la manera de aplicar el adhesivo influye tanto en la resistencia inicial como en la durabilidad de la unión. Los microaplicadores que tuvieron mejor desempeño al inicio mantuvieron su mejoría tanto a las 24 horas y después de los 10.000 ciclos de envejecimiento demostrándonos que su rendimiento se mantiene inalterable. Estos resultados muestran relación con los resultados de estudios previos como, el de Kitahara et al. donde observaron efectos negativos del envejecimiento por termociclado sobre la adhesión. (Kitahara et al., 2024), así como con Takano et al. que confirma la disminución de la resistencia adhesiva en varios sustratos después de ser sometidos a envejecimiento (10.000 ciclos térmicos). (Takano et al., 2025). En conjunto estos hallazgos sugieren que el envejecimiento es un factor que influye directamente en la degradación de los adhesivos, sin embargo, en nuestro estudio también se demostró que la capacidad inicial de microaplicador para lograr una buena interfaz adhesiva, puede ofrecer una resistencia extra para atenuar la degradación por envejecimiento, aunque no la elimina.

Los resultados del presente estudio adquieren relevancia considerando que la mayoría de investigaciones previas se han enfocado en la composición del adhesivo y las técnicas de aplicación (Dressano et al., 2020; Perdigão, 2020), mientras que variables operativas asociadas al proceso de dispensación del material han recibido escasa atención. En particular, la mayoría de los estudios no especifica el tipo de microaplicador utilizado ni considera sus características físicas como un factor potencialmente influyente. Este estudio aborda este vacío al analizar determinadas propiedades físicas de los microaplicadores como variable independiente, demostrando que estas pueden influir de manera mensurable en la resistencia de la unión adhesiva. La ausencia de diferencias concluyentes reportada en parte de la literatura podría estar relacionada con la estandarización implícita del microaplicador entre los grupos experimentales, lo que limita la identificación del efecto de variables como la

estabilidad estructural o la capacidad de retención del adhesivo. En este sentido, nuestros hallazgos sugieren que el microaplicador, aunque tradicionalmente considerado un elemento secundario, puede desempeñar un papel relevante en la formación de la interfase adhesiva y en el desempeño del sistema restaurador.

Adicionalmente, la literatura ha reportado que algunos microaplicadores pueden desprender fibras durante su uso, dichas fibras podrían incorporarse a la interfaz adhesiva y actuar como defectos estructurales. La presencia de estos residuos pueden interferir con la continuidad de la película y favorecer la formación de zonas de debilidad, comprometiendo la resistencia de unión y la durabilidad de las restauraciones (Berton et al., 2022; Padwal et al., 2025). Esta evidencia previa descrita en la literatura respalda la importancia de los resultados del presente estudio, al relacionar el diseño de los microaplicadores con posibles alteraciones en la integridad de la interfaz adhesiva.

Finalmente, reconocemos las limitaciones de nuestro estudio, al ser *in vitro*, no se consideran factores biológicos presentes en la cavidad oral, como la humedad, fuerzas oclusales y presencia de fluidos. Además, el estudio se centró en un número limitado de microaplicadores comerciales, lo que limita la posibilidad de generalizar los resultados para todas las marcas disponibles en el mercado. Por esto recomendamos que en el futuro se puedan realizar investigaciones con una variedad de marcas comerciales, así como diferentes tipos de sistemas adhesivos y condiciones de envejecimiento. También sería importante realizar investigaciones clínicas a largo plazo que permitan confirmar si las tendencias observadas *in vitro* se mantienen.

En cuanto a las implicaciones clínicas, los resultados sugieren que la elección de un microaplicador es una fundamental consideración por parte del odontólogo, es sustancial usar microaplicadores con punta y filamentos diseñados para aplicación activa y controlada del

adhesivo, ya que puede mejorar la resistencia y durabilidad de la unión dentina - resina. Sin embargo, se recomienda interpretar estos hallazgos con prudencia, considerando que el comportamiento en condiciones clínicas puede variar.

Conclusiones

El tipo de microaplicador utilizado durante la aplicación del sistema adhesivo influye significativamente en la resistencia de unión dentina - resina, tanto a corto plazo como después del envejecimiento termomecánico. Los microaplicadores que permiten una dispensación más controlada y una distribución uniforme del adhesivo presentaron valores superiores de resistencia adhesiva, mientras que aquellos que proporcionan una liberación irregular del material mostraron un desempeño inferior. Aunque el envejecimiento redujo la resistencia de unión en todos los grupos, el rango de desempeño entre los microaplicadores se mantuvo constante, lo que apunta que una aplicación inicial más eficiente del adhesivo puede contribuir a una mayor estabilidad relativa de la unión a lo largo del tiempo. Estos resultados obtenidos indican que las características físicas del microaplicador influyen en el procedimiento adhesivo, por lo que su consideración resulta oportuna tanto en la investigación experimental como en la práctica clínica, reconociendo las limitaciones por ser un estudio *in vitro*.

Referencias

- Alam, A., Chowdhury, A. F. M. A., Yamauti, M., Saikaew, P., Hoshika, S., Carvalho, R. M., Sano, H., & Sidhu, S. K. (2022). Cause-Effect Relationship of Varying Bonding Thicknesses in Dentin Adhesion of Universal Adhesives. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 24, Article b3240695. <https://doi.org/10.3290/j.jad.b3240695>
- Alomran, W. K., Nizami, M. Z. I., Xu, H. H. K., & Sun, J. (2025). Evolution of Dental Resin Adhesives—A Comprehensive Review. *Journal of Functional Biomaterials*, 16(3), 104. <https://doi.org/10.3390/jfb16030104>
- Arhun, N., Kalender, B., Tuncer, D., Berkmen, B., & Celik, C. (2020). Influence of operator experience on bond strength of different adhesives to dentin. *Journal of Conservative Dentistry*, 23(1), 32-35. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_47_19
- Atalay, C., & Meral, E. (2021). Does Rubbing of Universal Adhesive Reduce the Negative Effect of Saliva on Adhesion? *The Journal of Adhesive Dentistry*, 23(1), 57–65. <https://doi.org/10.3290/j.jad.b916859>
- Berton, F., Rapani, A., Zotti, M., Stacchi, C., Berton, T., & Porrelli, D. (2022). Presence of microbrush remnants on the adhesion surface: A microscopical analysis. *Journal of Dentistry*, 127, 104320. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104320>
- Bourgi, R., Hardan, L., Cuevas-Suárez, C. E., Devoto, W., Kassis, C., Kharma, K., Harouny, R., Ashi, T., Mancino, D., Kharouf, N., & Haikel, Y. (2023). Effectiveness of Different Application Modalities on the Bond Performance of Four Polymeric Adhesive Systems to Dentin. *Polymers*, 15(19), 3924. <https://doi.org/10.3390/polym15193924>
- Bourgi, R., Kharouf, N., Cuevas-Suárez, C. E., Lukomska-Szymanska, M., Haikel, Y., & Hardan, L. (2024). A Literature Review of Adhesive Systems in Dentistry: Key

Components and Their Clinical Applications. *Applied Sciences*, 14(18), 8111.

<https://doi.org/10.3390/app14188111>

Bourgi, R., Klein Junior, C. A., Rebelo Allram, L., Gonçalves Heck, L., Hardan, L., Cuevas-Suárez, C. E., Mesquita, C., Coelho-de-Souza, F. H., Kharouf, N., & Haikel, Y.

(2025). Bioengineering perspectives on adhesive delivery: Performance analysis of dental microapplicators. *Frontiers in Dental Medicine*, 6, 1698820.

<https://doi.org/10.3389/fdmed.2025.1698820>

Breschi, L., Maravic, T., Mazzitelli, C., Josic, U., Mancuso, E., Cadenaro, M., Pfeifer, C. S.,

& Mazzoni, A. (2025). The evolution of adhesive dentistry: From etch-and-rinse to universal bonding systems. *Dental Materials*, 41(2), 141-158.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2024.11.011>

Cadenaro, M., Josic, U., Maravić, T., Mazzitelli, C., Marchesi, G., Mancuso, E., Breschi, L.,

& Mazzoni, A. (2023). Progress in Dental Adhesive Materials. *Journal of Dental Research*, 102(3), 254-262. <https://doi.org/10.1177/00220345221145673>

Carvalho, G. L. M., Moreira, P. M., Carneiro, B. T., Suzuki, T. Y. U., Lanza, M. D. S., Alvim,

H. H., Giannini, M., & Andre, C. B. (2025). Impact of active vs. passive application of dental adhesives on bond strength to dentin and enamel: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Japanese Dental Science Review*, 61, 90-102.

<https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2025.04.001>

Delgado, A. H. S., Ahmed, M. H., Nunes Ferreira, M., Mano Azul, A., Polido, M., Yoshihara,

K., & Van Meerbeek, B. (2025). Physico-Chemical Properties and Performance of Functional Monomers Used in Contemporary Dental Adhesive Technology. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 27, 175-193. https://doi.org/10.3290/j.jad.c_2297

Demarco, F. F., Cenci, M. S., Montagner, A. F., de Lima, V. P., Correa, M. B., Moraes, R. R.,

& Opdam, N. J. M. (2023). Longevity of composite restorations is definitely not only

about materials. *Dental Materials*, 39(1), 1-12.

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.11.009>

Dressano, D., Salvador, M. V., Oliveira, M. T., Marchi, G. M., Fronza, B. M., Hadis, M., Palin, W. M., & Lima, A. F. (2020). Chemistry of novel and contemporary resin-based dental adhesives. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 110, 103875. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103875>

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., Haikel, 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*, 12(1), 190. <https://doi.org/10.3390/cells12010190>

Jäggi, M., Karlin, S., Zitzmann, N. U., & Rohr, N. (2024). Shear bond strength of universal adhesives to human enamel and dentin. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 36(5), 804-812. <https://doi.org/10.1111/jerd.13204>

Kitahara, S., Shimizu, S., Takagaki, T., Inokoshi, M., Abdou, A., Burrow, M. F., & Nikaido, T. (2024). Dentin Bonding Durability of Four Different Recently Introduced Self-Etch Adhesives. *Materials*, 17(17), 4296. <https://doi.org/10.3390/ma17174296>

Mokeem, L. S., Garcia, I. M., & Melo, M. A. (2023). Degradation and Failure Phenomena at the Dentin Bonding Interface. *Biomedicines*, 11(5), 1256. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11051256>

Padwal, S., Shetty, P., Dudulwar, D., Keswani, K., Lokhande, V., & Raje, M. (2025). Microbrush bristle remnants on the bonding surface using different adhesive systems by scanning electron microscope: An in vitro study. *Dental Research Journal*, 22(9), 36. https://doi.org/10.4103/drj.drj_112_24

- Perdigão, J. (2020). Current perspectives on dental adhesion: (1) Dentin adhesion – not there yet. *The Japanese Dental Science Review*, 56(1), 190-207.
<https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2020.08.004>
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R., Gomes, J., & Pizzolotto, L. (2021). Adhesive dentistry: Current concepts and clinical considerations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 51–68. <https://doi.org/10.1111/jerd.12692>
- 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.
<https://doi.org/10.1186/s12903-025-05438-z>
- Tang, C., Mercelis, B., Yoshihara, K., Peumans, M., & Van Meerbeek, B. (2024). Does the universal adhesive's film thickness affect dentin-bonding effectiveness? *Clinical Oral Investigations*, 28(2), 150. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05523-7>
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Van Landuyt, K., Yoshida, Y., & Peumans, M. (2020). From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), 7-34. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43994>
- Wiegand, A., Lechte, C., & Kanzow, P. (2021). Adhesion to eroded enamel and dentin: Systematic review and meta-analysis. *Dental Materials*, 37(12), 1845-1853.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.09.014>