



**Facultad de Ciencias de la Salud**

**Especialidad de Operatoria Dental y Estética**

**Tema:**

**Influencia de la composición de los microaplicadores en la presencia de residuos durante el  
proceso adhesivo, un análisis al MEB**

**Tesis para la obtención del Título de Especialista en “Operatoria Dental y Estética”**

**Presentado por:**

Kevin Francisco Luna Tobar

**Tutor:**

Camilo Andrés Pulido Mora

**Quito, marzo de 2026**

## Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales en la nanoinfiltración y características de la interfaz adhesiva de un sistema adhesivo universal aplicado sobre dentina mediante análisis en microscopía electrónica de barrido antes y después del envejecimiento por termociclado. Se realizó un estudio experimental, *in vitro* y de carácter comparativo, enfocado en evaluar la estabilidad adhesiva en la superficie dentinaria mediante MEB y nanoinfiltración utilizando un sistema adhesivo universal (Tetric N-Bond Universal, Ivoclar) y evidenciando la desorganización de los filamentos del microaplicador mediante fotografía. Se seleccionaron cincuenta y seis molares humanos completamente libres de caries, los cuales se prepararon obteniendo una superficie plana de dentina. Se formaron siete grupos de ocho muestras aleatorizadas en función de la marca de microaplicador usado. El adhesivo se aplicó bajo un protocolo estandarizado en modo “autograbador” y posteriormente se llevó a cabo la restauración con resina compuesta obteniendo varillas de resina-dentina ( $\pm 1,00 \text{ mm}^2$ ). Luego de 24 horas de almacenamiento o de 10.000 ciclos de envejecimiento térmico fueron sometidas a ensayos de nanoinfiltración y posterior análisis en MEB. Las comparaciones pareadas entre tiempos dentro de cada marca de microaplicador mostraron que todos los grupos presentaron incrementos significativos en nanoinfiltración, después de 10.000 ciclos los mayores aumentos se observaron en Kerr y Dental Pi, mientras que los menores incrementos correspondieron a Zeroflox y Vivapen. El estudio demuestra que la marca del microaplicador influye significativamente en la liberación de residuos, la nanoinfiltración y la estabilidad adhesiva.

**Palabras clave:** Microscopía electrónica, Nanoinfiltración, Adhesivos universales, Microaplicadores.

### **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.

Kevin Francisco Luna Tobar

C.I: 0604355313

## **Dedicatoria**

Con profundo cariño y gratitud, dedico este trabajo a las personas más importantes de mi vida: a mis padres y a mí mismo.

A mis queridos padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y ejemplo han sido el pilar fundamental de mi formación como ser humano y como profesional. Ustedes me enseñaron desde pequeño la importancia de la honestidad, el esfuerzo y la perseverancia, valores que han guiado cada paso de mi camino académico. Han estado presentes en cada etapa, alentándome en los momentos de incertidumbre, brindándome fortaleza en los días difíciles y compartiendo conmigo la alegría de cada logro alcanzado. Este triunfo no me pertenece solo a mí, sino que es también el resultado de su ardua labor de padres. Sin su apoyo constante, nada de esto habría sido posible.

Y me dedico este logro a mí mismo. Porque sé cuánto esfuerzo, constancia y sacrificio me ha costado llegar hasta aquí. Porque hubo noches de cansancio, momentos de frustración y ocasiones en las que las dudas parecían más fuertes que la esperanza, pero, aun así, seguí adelante. Hoy reconozco con humildad el valor de mi propio trabajo, de mi disciplina y de la capacidad de mantenerme firme frente a los retos. Esta dedicatoria es un recordatorio de que la perseverancia tiene recompensas y que el esfuerzo genuino nunca es en vano.

**Tabla de contenido**

Índice de Tablas .....	8
Índice de Figuras.....	9
Abstract.....	10
Introducción .....	13
Metodología .....	16
Diseño de estudio .....	16
Cálculo y tamaño de la muestra. ....	16
Selección y preparación de los dientes. ....	16
Diseño experimental. ....	17
Procedimiento adhesivo.....	17
Preparación de las muestras.....	18
Preparación de las muestras para test Nanoinfiltración y MEB. ....	19
Análisis estadístico.....	19
Hallazgos.....	21
Discusión.....	27

Conclusiones..... 30

Referencias..... 32

## Índice de Tablas

Tabla 1. Valores medios ( $\pm$ DE) de Nanoinfiltración (%) para cada microaplicador en los dos tiempos de evaluación (n=8).....	23
--	----

## Índice de Figuras

Figura 1. Imagen representativa de la preparación de las muestras y posterior análisis. ....	20
Figura 2. Valores promedio % de nanoinfiltración obtenidos después de 24 horas de almacenamiento o 10.000 ciclos de termociclado. ....	24
Figura 3. Imágenes representativas de nanoinfiltración observadas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en la interfaz adhesiva dentina–resina para los diferentes microaplicadores evaluados tras 24 horas y tras 10.000 ciclos. ....	25
Figura 4. Estado de los microaplicadores inicialmente, con una gota de adhesivo y después de haber aplicado el adhesivo en la superficie dentinaria.....	26

## **“Influencia de la composición de los microaplicadores en la presencia de residuos durante el proceso adhesivo, un análisis al MEB”**

Kevin Francisco Luna Tobar

Universidad Hemisferios

kevinfranciscoluna@gmail.com

### **Resumen**

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales en la nanoinfiltración y en las características de la interfaz adhesiva de un sistema adhesivo universal aplicado sobre dentina, mediante análisis en microscopía electrónica de barrido antes y después del envejecimiento por termociclado. Se realizó un estudio experimental, *in vitro* y de carácter comparativo, enfocado en evaluar la estabilidad adhesiva en la superficie dentinaria mediante MEB y nanoinfiltración utilizando un sistema adhesivo universal (Tetric N-Bond Universal, Ivoclar) y evidenciando la desorganización de los filamentos del microaplicador mediante fotografía. Se seleccionaron cincuenta y seis molares humanos completamente libres de caries, los cuales se prepararon obteniendo una superficie plana de dentina. Se formaron siete grupos de ocho muestras aleatorizadas en función de la marca de microaplicador usado. El adhesivo se aplicó bajo un protocolo estandarizado en modo “autograbador” y posteriormente se llevó a cabo la restauración con resina compuesta obteniendo varillas de resina-dentina ( $\pm 1,00 \text{ mm}^2$ ). Luego de 24 horas de almacenamiento o de 10.000 ciclos de envejecimiento térmico fueron sometidas a ensayos de nanoinfiltración y posterior análisis en MEB. Las comparaciones pareadas entre tiempos dentro de cada marca de microaplicador mostraron que todos los grupos

presentaron incrementos significativos en nanoinfiltración después de 10.000 ciclos, los mayores aumentos se observaron en Kerr y Dental Pi, mientras que los menores incrementos correspondieron a Zeroflox y Vivapen. El estudio demostró que la marca del microaplicador influye significativamente en la liberación de residuos, la nanoinfiltración y la estabilidad adhesiva.

**Palabras clave:** Microscopía electrónica, Nanoinfiltración, Adhesivos universales, Microaplicadores.

### Abstract

The present study aimed to evaluate the influence of seven commercial microbrushes on nanoleakage and adhesive interface characteristics of a universal adhesive system applied to dentin, using scanning electron microscopy (SEM) analysis before and after thermocycling aging. An *in vitro*, experimental, and comparative study was conducted to evaluate adhesive stability on dentin through nanoleakage assessment and SEM analysis using a universal adhesive system (Tetric N-Bond Universal, Ivoclar). Additionally, filament disorganization of the microbrushes after adhesive application was qualitatively assessed by photographic analysis. Fifty-six caries-free human molars were selected and prepared to obtain flat dentin surfaces. Seven groups ( $n = 8$ ) were randomly assigned according to the microbrush brand used. The adhesive was applied following a standardized self-etch protocol, followed by restoration with composite resin to obtain resin–dentin sticks ( $\pm 1,00 \text{ mm}^2$ ). After 24 hours of storage or 10,000 thermocycling aging cycles, specimens were subjected to nanoleakage evaluation and subsequent SEM analysis. Paired comparisons between times within each microbrush group revealed statistically significant increases in nanoleakage after thermocycling in all groups; however, the magnitude of the increase varied according to the microbrush brand. The greatest increases were observed for Kerr and Dental Pi, whereas Zeroflox and Vivapen showed the lowest initial and final nanoleakage values. The results demonstrated that the microbrush brand significantly influences residue release, nanoleakage, and adhesive interface stability when using a universal adhesive system.

**Keywords:** Scanning electron microscopy, Nanoleakage, Universal adhesives, Microbrushes.

## Introducción

En la actualidad, la odontología adhesiva ha adquirido una relevancia notable dentro de la práctica clínica contemporánea (Perdigão et al., 2021), impulsando un cambio de paradigma hacia protocolos mínimamente invasivos (Singer et al., 2023) orientados a la preservación máxima de la estructura dentaria y a la biomimética (de Carvalho et al., 2021). Este enfoque se fundamenta en la interacción adhesiva con los tejidos dentarios, particularmente en la capacidad de unión al sustrato y en la estabilidad clínica de dicha unión a largo plazo, aspectos determinantes para el éxito restaurador (Wiegand et al., 2021). En este contexto, el desempeño de los sistemas adhesivos no depende únicamente de su formulación química (Hirokane et al., 2021), sino también de su correcta interacción con el sustrato y de la ejecución técnica durante el procedimiento clínico (Cadenaro et al., 2023).

Dentro de este escenario, los adhesivos universales han sido ampliamente incorporados en la práctica clínica debido a su versatilidad (Brkanović et al., 2023), simplificación de los pasos operatorios y posibilidad de ser empleados tanto bajo la técnica de grabado total como en modalidad de autograbado (Siqueira et al., 2023). Estos sistemas se caracterizan por la presencia de monómeros funcionales con afinidad química por la hidroxiapatita, lo que favorece la formación de una interfaz adhesiva estable a través del tiempo (Fehrenbach et al., 2021). Diversos reportes han evidenciado que los adhesivos universales pueden generar interfaces adhesivas clínicamente predecibles (Galo et al., 2021), con valores adecuados de resistencia de unión y comportamiento satisfactorio frente al envejecimiento artificial, lo que ha contribuido a su aceptación y uso generalizado (Hardan et al., 2021).

A pesar de los avances significativos en el desarrollo y optimización de los sistemas adhesivos, la obtención de una interfaz adhesiva estable y duradera continúa representando un desafío clínico, especialmente cuando el procedimiento se realiza sobre dentina (Maia et al., 2025). Este sustrato presenta una naturaleza heterogénea y dinámicamente variable (Anastasiadis et al., 2021), donde múltiples factores biológicos y operatorios pueden influir de manera directa en el comportamiento adhesivo (Alkattan et al., 2022). Entre estos factores se incluyen variaciones inherentes al tejido dentinario, como modificaciones estructurales derivadas de tratamientos previos (Samartzi et al., 2022), presencia de humedad, orientación y densidad tubular, así como características histológicas diferentes (Sanon et al., 2022). Estas variables, aun cuando se aplican protocolos clínicos estandarizados y sistemas adhesivos de última generación, continúan condicionando la calidad, continuidad y durabilidad de la adhesión en dentina (Breschi et al., 2025).

Un elemento que ha ocupado un papel relevante durante décadas dentro de la técnica adhesiva es el microaplicador, utilizado como medio estándar para transportar, distribuir y frotar la solución adhesiva sobre la superficie dentinaria (Padwal et al., 2025), favoreciendo la infiltración del adhesivo y el establecimiento de una interfaz relativamente uniforme (Hassan Elnadif et al., 2025). Debido a su carácter desechable y a su contacto directo con el sustrato dentinario, se recomienda su recambio permanente durante el procedimiento clínico, con el objetivo de evitar la contaminación cruzada, la acumulación de residuos o la redistribución de partículas sobre la superficie tratada (Sebold et al., 2021). Sin embargo, a pesar de su uso rutinario y generalizado, la evidencia científica disponible respecto a su influencia directa sobre la calidad de la interfaz adhesiva y el comportamiento del sellado sigue siendo limitada (Yoshihara et al., 2021; Berton et al., 2022).

El empleo de microaplicadores de fibras desechables se ha extendido ampliamente en la práctica clínica diaria (Tsujiimoto et al., 2022). Estudios previos que emplean microscopía electrónica de barrido (MEB) han permitido evaluar la longevidad y la integridad de la interfaz adhesiva obtenida con adhesivos universales, demostrando su eficacia para establecer interfaces adhesivas continuas y estructuralmente estables (Maciel Pires et al., 2022), no obstante la literatura continúa siendo escasa en cuanto al análisis específico de residuos procedentes de los microaplicadores que puedan permanecer adheridos a la superficie dentinaria o incorporarse dentro de la capa adhesiva, así como su posible relación con la permeabilidad y la nanoinfiltración (Berton et al., 2022). Considerando que la presencia de irregularidades, discontinuidades o incluso residuos en la interfaz podría comprometer el sellado marginal (Takamizawa et al., 2025), favorecer la formación de microespacios y aumentar la nanoinfiltración, resulta clínicamente relevante analizar de manera específica el papel que la marca de microaplicador podría desempeñar dentro del procedimiento adhesivo (Turkistani et al., 2024).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia de siete microaplicadores comerciales en la nanoinfiltración y en las características de la interfaz adhesiva de un sistema adhesivo universal aplicado sobre dentina, mediante análisis en microscopía electrónica de barrido antes y después del envejecimiento por termociclado. Con base en lo anterior, se planteó la siguiente hipótesis nula: el tipo de microaplicador no influye en la presencia de microespacios ni en la magnitud de la nanoinfiltración en la interfaz adhesiva independientemente del tiempo evaluado.

## **Metodología**

### **Diseño de estudio**

Se planteó un estudio experimental, in vitro y de carácter comparativo, enfocado en evaluar los residuos de los microaplicadores en la superficie dentinaria mediante MEB, test de nanoinfiltración y análisis fotográfico utilizando un adhesivo universal Tetric N-Bond Universal (IVOCLAR, SCHAAN, LIECHTENSTEIN), en modo autograbadador, pero variando en el tipo de microaplicador dental empleado. Esta metodología permite controlar variables y analizar de manera directa cómo la composición de los distintos microaplicadores influye en la distribución del adhesivo.

### **Cálculo y tamaño de la muestra**

En el presente estudio, el cálculo del tamaño muestral se realizó en línea mediante la plataforma [www.sealedenvelope.com](http://www.sealedenvelope.com) (consultada en junio de 2025). El cálculo se fundamentó en datos previamente publicados sobre la nanoinfiltración de adhesivos universales, teniendo como resultado 8 dientes por grupo.

### **Selección y preparación de los dientes**

Se seleccionaron cincuenta y seis dientes humanos, bajo aprobación del Comité de Ética de la Universidad Hemisferios y extraídos por indicación terapéutica. Los dientes fueron evaluados clínicamente para descartar caries, fisuras, materiales restauradores remanentes u otras alteraciones, siendo desinfectados en cloramina al 0,5% y almacenados en agua destilada hasta su uso. El tercio oclusal de cada corona se eliminó con un disco de diamante en máquina

refrigerada por agua (ISOMET 1000, BUEHLER, EE. UU.), generando superficies planas de dentina. Estas se verificaron bajo estereomicroscopio (OLYMPUS SZ40, JAPÓN) a 30X para confirmar la ausencia de esmalte y se estandarizó la capa de barrillo dentinario mediante pulido con lijas de carburo de silicio (SiC) grano 600 durante 30 segundos.

### **Diseño experimental**

Se formaron siete grupos experimentales a partir de la combinación de dos factores principales:

1. Tipo de aplicador (siete marcas: ZEROFLOX, KERR, DENTAL PI, VIVAPEN, KG BRUSH, CAVIBRUSH, KURARAY)
2. Condición de envejecimiento (después de 24 horas de almacenamiento o tras 10.000 ciclos de termociclado).

### **Procedimiento adhesivo**

Las muestras se dividieron aleatoriamente en 7 grupos de 8 ejemplares.

G1 (N:8): Las restauraciones fueron realizadas por un único operador bajo lupas de magnificación 5x (ADMETEC SOLUTIONS LTD., HAIFA, ISRAEL). La superficie se secó utilizando papel absorbente estéril y se llevó a cabo el acondicionamiento dentinario mediante la técnica de autograbado con el adhesivo universal Tetric N-Bond Universal (IVOCLAR, SCHAAN, LIECHTENSTEIN), aplicado con un microaplicador desechable de la marca (ZEROFLOX). El protocolo consistió en una primera aplicación con frotado durante 15 segundos, seguida de la evaporación del solvente con aire durante 10 segundos, y posteriormente

se colocó una segunda aplicación repitiendo el mismo procedimiento. La fotopolimerización se efectuó durante 20 segundos con una intensidad de 1200 mW/cm<sup>2</sup>, empleando la lámpara Bluephase NG4 (IVOCLAR, SCHAAN, LIECHTENSTEIN).

Seguidamente, se procedió a la restauración con resina compuesta Tetric, tono A2 (IVOCLAR, SCHAAN, LIECHTENSTEIN), aplicando dos capas de 2 mm de espesor cada una, las cuales fueron fotopolimerizadas individualmente durante 40 segundos a 1200 mW/cm<sup>2</sup> con la misma lámpara. Los valores de irradiancia de la unidad de fotopolimerización fueron monitorizados de manera continua mediante un radiómetro Bluephase meter II, (IVOCLAR, SCHAAN, LIECHTENSTEIN). Se realizó el mismo procedimiento cambiando la marca de microaplicador en cada grupo, obteniendo así siete grupos. Los dientes restaurados se mantuvieron en agua destilada a 37°.

### **Preparación de las muestras**

Después de 24 horas de almacenamiento en agua destilada a 37 °C, cada diente fue seccionado longitudinalmente mediante una máquina de corte de precisión (ISOMET 1000, BUEHLER, LAKE BLUFF, IL, USA) y posteriormente rotado a 90°, con el objetivo de obtener varillas unidas a resina-dentina con un área de sección transversal aproximada de  $\pm 1,00 \text{ mm}^2$  determinada mediante calibradores digitales.

El diente fue considerado como la unidad experimental. Aunque de cada diente se obtuvieron múltiples varillas resina–dentina, los valores correspondientes a las varillas provenientes de un mismo diente se promediaron, y el valor medio por diente fue utilizado para

el análisis estadístico, con el fin de evitar pseudorreplicación y asegurar la independencia de las observaciones.

### **Preparación de las muestras para test Nanoinfiltración y MEB**

De cada diente se obtuvieron múltiples varillas resina–dentina, las cuales fueron distribuidas equitativamente para ser evaluadas tras 24 h o después de ser sometidas a termociclado (10 000 ciclos; tiempo de permanencia de 5 s, entre 5 °C y 55 °C). Las muestras se sumergieron en una solución acuosa de nitrato de plata amoniacal al 50% durante 24h, protegiéndolas de la luz, con el objetivo de que el nitrato de plata penetre los microespacios no sellados por el adhesivo. Posteriormente cada una de las muestras se limpió con agua destilada y se colocaron bajo un haz de luz fluorescente por 8 horas, a continuación, las muestras se metalizaron con oro por pulverización catódica para mejorar la conductividad superficial utilizando una pulverizadora (LEICA EM ACE200). Las imágenes se adquirieron con un microscopio electrónico de barrido (ZEISS SUPRA 40 CISMIM, UNIVPM) a 3000x de aumento. Los datos se recolectaron en una tabla en Excel y posteriormente se analizaron estadísticamente mediante el programa SPSS a través de la prueba ANOVA y chi-cuadrado.

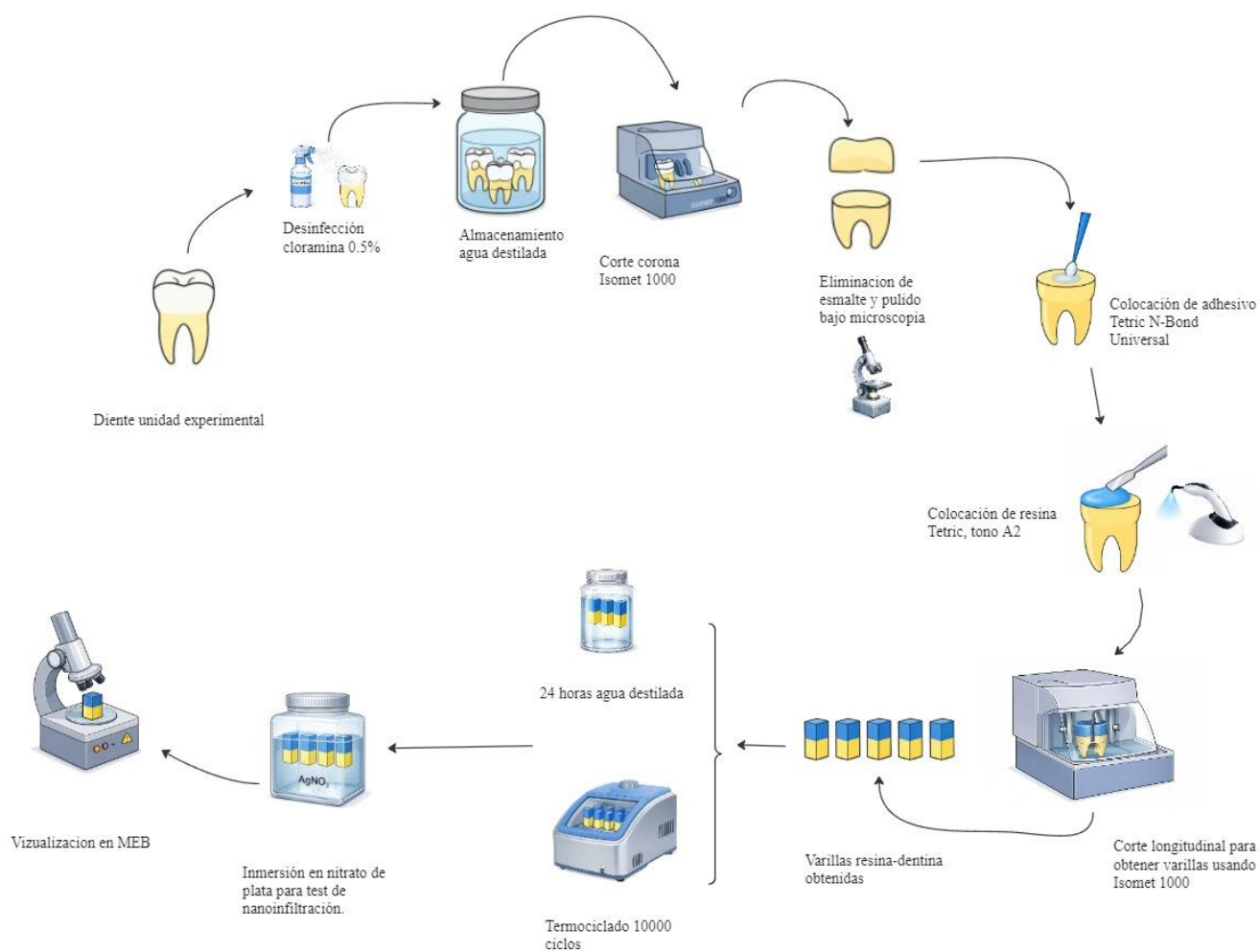
### **Análisis estadístico**

La normalidad y la homocedasticidad se evaluaron mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, respectivamente. Los datos de nanoinfiltración (%) se sometieron a una prueba ANOVA de medidas repetidas de dos vías considerando las siguientes variables: marca del microaplicador («Microaplicadores») 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).

### Figura 1

*Imagen representativa de la preparación de las muestras y posterior análisis.*



## Hallazgos

En la tabla 1, se presentan los valores promedio y desviación estándar (%) de los diferentes grupos evaluados. El análisis de varianza mixto de dos factores reveló una interacción significativa entre los factores Microaplicadores y Tiempo ( $p < 0.001$ ), indicando que el efecto del envejecimiento termomecánico sobre la nanoinfiltración varió de manera dependiente del tipo de microaplicadores utilizado. Por este motivo, los efectos principales no se interpretaron de forma aislada y se procedió al análisis de comparaciones simples dentro de cada nivel del factor tiempo.

A las 24 horas, el ANOVA de un factor mostró diferencias estadísticamente significativas entre los microaplicadores ( $p < 0.001$ ). El análisis post-hoc de Tukey HSD agrupó a Cavibrush, Zeroflox y Vivapen con los valores más bajos de nanoinfiltración, conformando el grupo con mejor sellado marginal (letra A). En contraste, los microaplicadores Kerr y Dental Pi presentaron los valores más altos de nanoinfiltración, significativamente mayores que los anteriores (letra B). KG Brush y Kuraray se situaron en una posición intermedia, sin diferencias significativas respecto a Cavibrush o Zeroflox, pero sí superiores a Vivapen, lo que sugiere un comportamiento variable entre los grupos.

Tras 10.000 ciclos, el patrón de comportamiento cambió de manera importante. Se mantuvieron diferencias estadísticamente significativas entre microaplicadores ( $p < 0.001$ ), pero el orden relativo varió: Kerr, Dental Pi y Kuraray continuaron mostrando los valores de nanoinfiltración más altos (letra B), mientras que Zeroflox y Vivapen conservaron valores significativamente más bajos (letra A), evidenciando una mayor estabilidad frente al envejecimiento. En este punto, KG Brush mostró un incremento marcado de la nanoinfiltración,

alcanzando valores estadísticamente equivalentes a los de Kerr y Dental Pi, lo que indica una pérdida de integridad marginal más pronunciada en este grupo tras el envejecimiento.

Las comparaciones pareadas entre tiempos dentro de cada microaplicador (t de Student pareada con corrección de Holm,  $\alpha = 0.05$ ) mostraron que todos los grupos presentaron incrementos significativos en nanoinfiltración después de 10.000 ciclos, aunque la magnitud del cambio fue diferente según el microaplicador. Los mayores aumentos se observaron en KG Brush, Kerr y Dental Pi, mientras que los menores incrementos correspondieron a Zeroflox y Vivapen, cuyos valores iniciales y finales permanecieron dentro del rango más bajo observado.

En conjunto, los resultados indican que la resistencia al envejecimiento y la capacidad de sellado marginal varían sustancialmente según el microaplicador empleado. Los microaplicadores Zeroflox y Vivapen mostraron un desempeño más estable y una menor susceptibilidad a la nanoinfiltración, tanto antes como después del envejecimiento, mientras que Kerr, Dental Pi y KG Brush evidenciaron un deterioro más pronunciado de la interfaz adhesiva.

La evaluación fotográfica comparativa de los microaplicadores antes y después de la aplicación del adhesivo mostró cambios morfológicos en el extremo activo según la marca evaluada. En Kerr y KG Brush se observó una reducción del número de filamentos y una modificación de la morfología del extremo aplicador en las imágenes posteriores al uso.

En Vivapen, Zeroflox y Dental Pi, las imágenes obtenidas después de la aplicación del adhesivo mostraron una morfología del extremo activo similar a la observada antes del uso, con continuidad de los filamentos. Cavibrush presentó una leve alteración en la disposición de los

filamentos en la evaluación posterior. Kuraray mostró pérdida parcial de filamentos y cambios en la forma del extremo activo tras la aplicación del adhesivo.

**Tabla 1**

*Valores medios ( $\pm$ DE) de Nanoinfiltración (%) para cada microaplicador en los dos tiempos de evaluación. (n=8).*

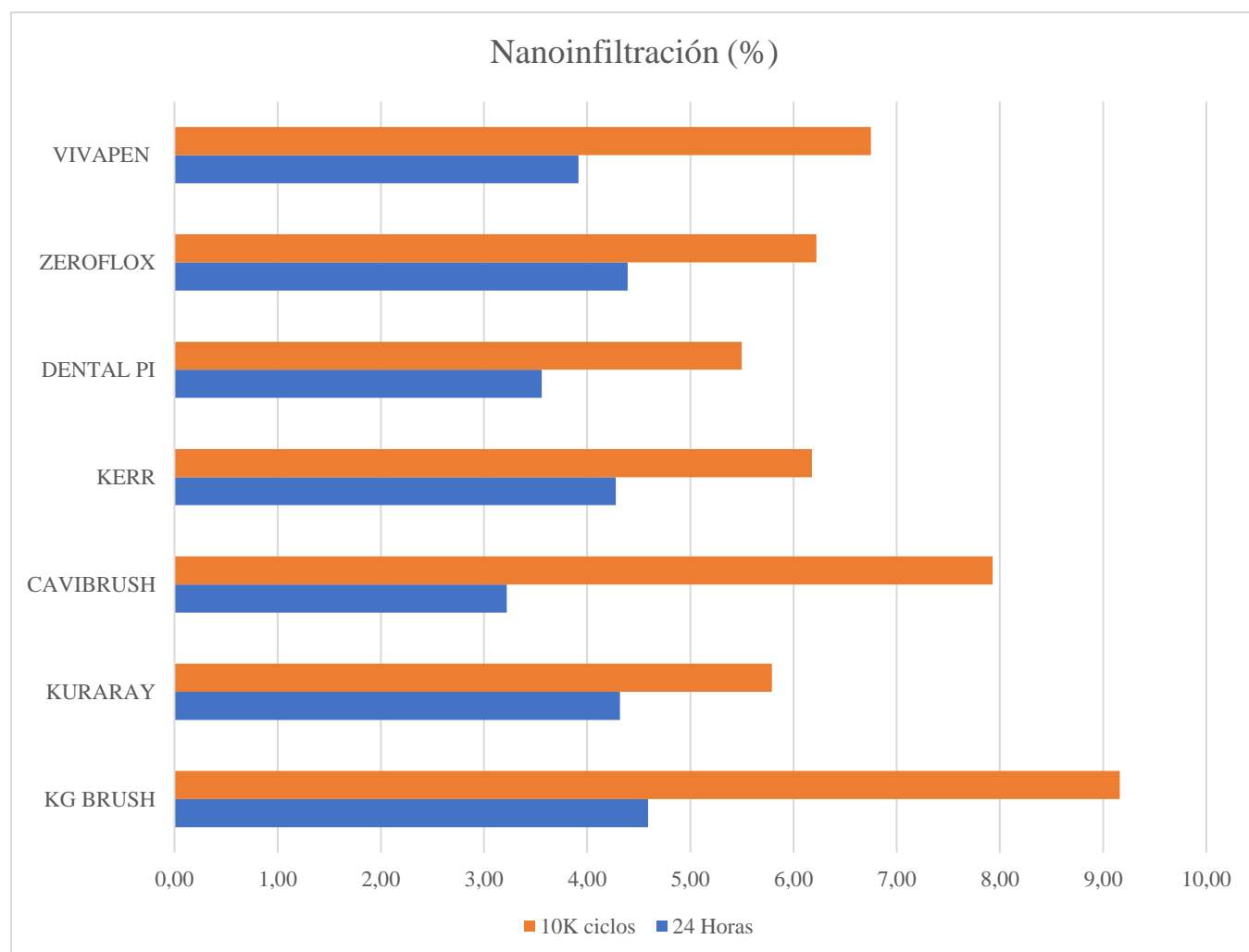
<b>Microaplicadores</b>	<b>24 horas</b>	<b>10.000 ciclos</b>
<b>Cavibrush</b>	3.22 $\pm$ 0.87 A <sup>a</sup>	7.93 $\pm$ 1.39 A <sup>b</sup>
<b>Dental Pi</b>	3.56 $\pm$ 1.30 A <sup>a</sup>	5.50 $\pm$ 1.79 B <sup>b</sup>
<b>KG Brush</b>	4.59 $\pm$ 1.54 B <sup>a</sup>	9.16 $\pm$ 1.08 A <sup>b</sup>
<b>Kerr</b>	4.28 $\pm$ 1.58 A <sup>a</sup>	6.18 $\pm$ 1.87 B <sup>b</sup>
<b>Kuraray</b>	4.32 $\pm$ 1.47 A <sup>a</sup>	5.79 $\pm$ 1.63 B <sup>b</sup>
<b>Vivapen</b>	3.92 $\pm$ 1.37 A <sup>a</sup>	6.75 $\pm$ 2.54 B <sup>b</sup>
<b>Zeroflox</b>	4.39 $\pm$ 1.58 B <sup>a</sup>	6.22 $\pm$ 1.77 B <sup>b</sup>

*Letras mayúsculas: diferencias entre microaplicadores dentro de cada tiempo (Tukey HSD,  $\alpha = 0.05$ ).*

*Letras minúsculas: diferencias entre tiempos dentro del mismo microaplicador (t pareada,  $\alpha = 0.05$ ).*

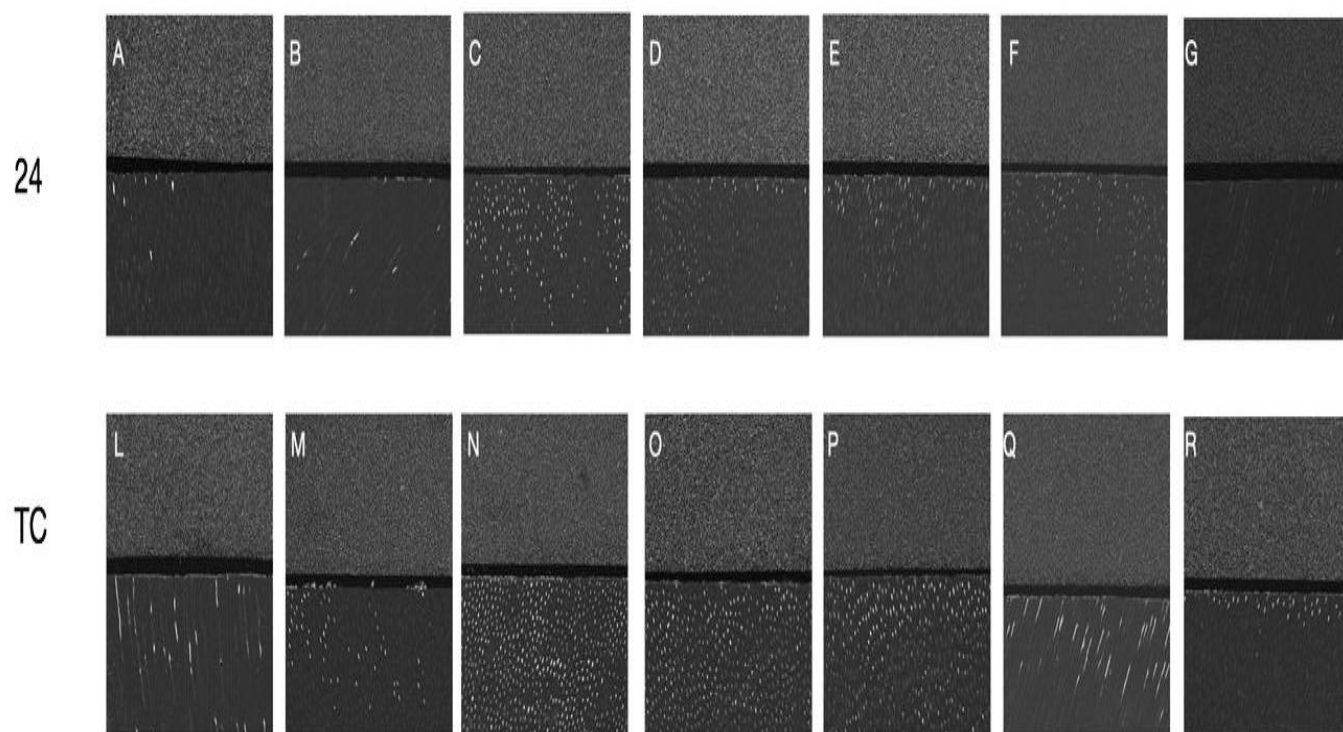
**Figura 2**

*Valores promedio de nanoinfiltración (%) obtenidos después de 24 horas de almacenamiento o 10.000 ciclos de termociclado.*



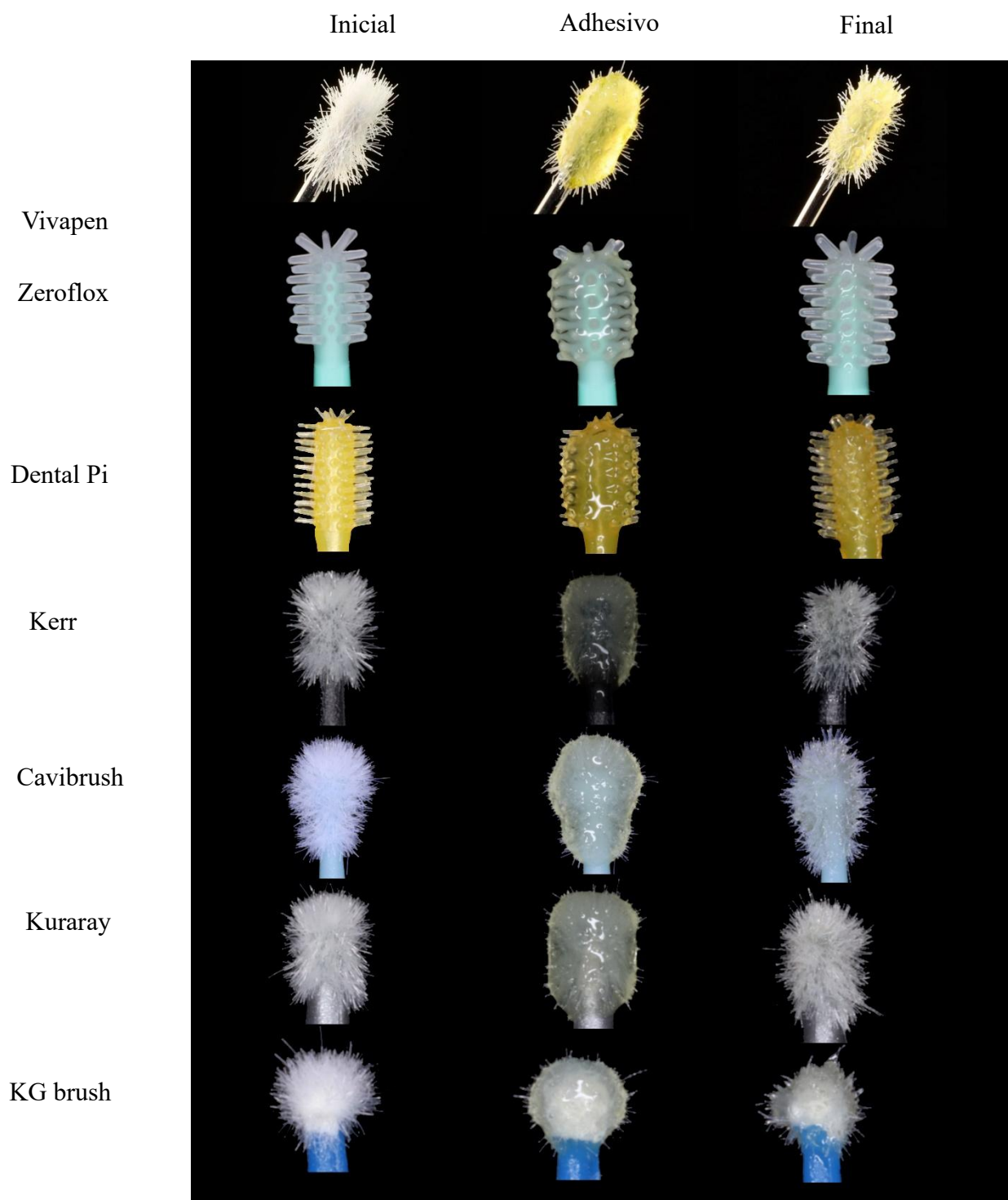
**Figura 3**

*Imágenes representativas de nanoinfiltración observadas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en la interfaz adhesiva dentina-resina para los diferentes microaplicadores evaluados tras 24 horas la primera fila (A-G) y tras 10.000 ciclos la segunda fila (L-R)*



**Figura 4**

*Estado de los microaplicadores inicialmente, con una gota de adhesivo y después de haber aplicado el adhesivo en la superficie dentinaria.*



## Discusión

El presente estudio evaluó la influencia de siete microaplicadores comerciales sobre la nanoinfiltración y la estabilidad de la interfaz adhesiva utilizando un adhesivo universal, mediante análisis en microscopía electrónica de barrido (MEB) tanto antes como después del envejecimiento por termociclado. Los hallazgos demostraron que la respuesta adhesiva varió de manera significativa entre los microaplicadores incluidos, lo que permitió descartar la hipótesis nula que planteaba la ausencia de diferencias entre ellos. La relación encontrada entre los factores: microaplicadores y tiempo confirmó que la respuesta adhesiva no puede interpretarse de manera aislada, sino que depende directamente del tipo de microaplicador utilizado y de las condiciones de envejecimiento.

El ANOVA mixto de dos factores indicó que el comportamiento frente a la nanoinfiltración no fue uniforme entre los diferentes microaplicadores en los dos tiempos estudiados. Debido a ello, no se interpretaron los efectos principales por separado y se procedió al análisis comparativo dentro de cada periodo.

A las 24 horas, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los siete microaplicadores ( $p < 0.001$ ). Cavibrush, Zeroflox y Vivapen conformaron el grupo con menores valores de nanoinfiltración, lo cual evidencia un sellado marginal más efectivo en esta fase inicial. Este comportamiento concuerda con lo reportado por (Saikaew et al., 2022; Hardan et al., 2023), quienes destacan la importancia de una aplicación adecuada del adhesivo para obtener una capa híbrida continua. En contraste, Kerr y Dental Pi mostraron los valores más altos de nanoinfiltración en este periodo, lo que indica un desempeño menos favorable. Por su parte, KG Brush y Kuraray se ubicaron en una posición intermedia, sin diferencias con Cavibrush y

Zeroflox, pero con valores superiores a los registrados por Vivapen. Este comportamiento heterogéneo entre microaplicadores permite reafirmar el rechazo de la hipótesis nula, puesto que las diferencias entre marcas fueron evidentes desde la primera medición.

Posterior al envejecimiento por 10.000 ciclos, todos los grupos presentaron incrementos estadísticamente significativos en la nanoinfiltración ( $p < 0.001$ ), lo cual coincide con estudios previos que describen la degradación progresiva de la interfaz adhesiva ante condiciones de fatiga térmica (Cavalcanti et al., 2023). Sin embargo, la magnitud del deterioro fue distinta entre microaplicadores, confirmando nuevamente la existencia de diferencias significativas entre ellos y negando la hipótesis nula en este segundo tiempo de evaluación.

Zeroflox y Vivapen conservaron los valores más bajos de nanoinfiltración tras el envejecimiento, manteniéndose como los microaplicadores que mejor distribuyen el adhesivo. Por el contrario, Kerr, Dental Pi y Kuraray presentaron los valores más altos después de los 10.000 ciclos, reafirmando su comportamiento menos favorable. Un hallazgo relevante fue el caso de KG Brush, que en la fase inicial presentó valores intermedios, pero tras el envejecimiento experimentó uno de los incrementos más pronunciados, alcanzando niveles similares a los de Kerr y Dental Pi. Este comportamiento evidencia que el deterioro asociado al envejecimiento varía sustancialmente según el microaplicador utilizado.

Las comparaciones pareadas confirmaron incrementos significativos en todos los grupos, aunque con variaciones en la magnitud de los cambios. Los mayores aumentos correspondieron a KG Brush, Kerr y Dental Pi, mientras que los incrementos más bajos fueron obtenidos por Zeroflox y Vivapen, cuyos valores iniciales y finales se mantuvieron dentro de los rangos más estables. La diferencia clara entre el comportamiento de los siete microaplicadores permite

sostener que la hipótesis nula queda refutada de manera consistente, dado que no se observó un comportamiento homogéneo entre las marcas ni en la fase inicial ni después del envejecimiento.

Los resultados del presente estudio evidencian que la marca de microaplicador empleado influye directamente en la magnitud de la nanoinfiltración y en la estabilidad del sistema adhesivo a través del tiempo, incluso bajo un protocolo de aplicación estandarizado y utilizando el mismo adhesivo universal. Estas observaciones son coherentes con lo planteado por (Cadenaro et al., 2023; Jäggi et al., 2024; Balkaya & Demirbuğa, 2023), quienes destacan que la forma en que se aplica el adhesivo puede determinar la calidad y durabilidad de la unión independientemente de sus propiedades químicas.

Desde una perspectiva clínica, los resultados demuestran que microaplicadores como Zeroflox, Vivapen y Cavibrush podrían contribuir a mejorar la estabilidad marginal y prolongar la longevidad de las restauraciones adhesivas, dado su comportamiento más favorable tanto en condiciones iniciales como tras el envejecimiento. Además, este estudio aporta un factor diferencial respecto a la literatura previa, ya que muchas investigaciones no especifican la marca del microaplicador utilizado. En concordancia con lo reportado por (Berton et al., 2022), quienes documentaron la presencia de microfibras desprendidas sobre superficies adhesivas, el presente trabajo añade evidencia relacionada con la nanoinfiltración asociada a distintas marcas de microaplicadores, proporcionando información clínicamente relevante.

En la evaluación fotográfica los hallazgos indican que el microaplicador puede constituir una fuente potencial de variabilidad dentro del procedimiento adhesivo, ya que su comportamiento morfológico durante el uso no es homogéneo entre marcas comerciales. Aunque el presente análisis fotográfico es de naturaleza cualitativa y no cuantifica la pérdida de

filamentos, las diferencias observadas refuerzan la relevancia de considerar el microaplicador como un elemento clínicamente significativo dentro de la técnica adhesiva, cuya integridad estructural durante su uso podría influir en la calidad de la interfaz adhesiva obtenida (Berton et al., 2022; Padwal et al., 2025).

Finalmente, es importante reconocer que este estudio se desarrolló bajo condiciones *in vitro*, que no replican completamente la complejidad clínica del entorno oral. Se recomienda que investigaciones futuras incluyan estudios *in vivo* y ampliaciones en la caracterización de microaplicadores con el fin de corroborar y profundizar las tendencias observadas.

### **Conclusiones**

Los resultados del presente estudio *in vitro* demuestran que el tipo de microaplicador empleado influye significativamente tanto en el desprendimiento de residuos como en la magnitud de la nanoinfiltración y en la estabilidad de la interfaz adhesiva tras el envejecimiento por termociclado. Estos hallazgos confirman que el comportamiento adhesivo no es uniforme entre los microaplicadores evaluados, lo que permite descartar la hipótesis nula que planteaba la ausencia de diferencias significativas entre ellos.

Entre los siete microaplicadores analizados, Zeroflox y Vivapen mostraron de manera consistente los valores más bajos de nanoinfiltración tanto en la evaluación inicial como después del envejecimiento, evidenciando un comportamiento más estable de la interfaz adhesiva a lo largo del tiempo. Cavibrush también presentó un desempeño favorable en la fase inicial, manteniéndose dentro del grupo con menor nanoinfiltración a las 24 horas.

En conjunto, los resultados confirman que la eficiencia del procedimiento adhesivo utilizando sistemas adhesivos universales no depende exclusivamente del adhesivo empleado, sino que también se ve influenciada por el microaplicador utilizado durante su aplicación, dado que se observaron diferencias significativas en la integridad de la interfaz adhesiva, magnitud de la nanoinfiltración y deformación de los filamentos entre las marcas evaluadas.

Desde una perspectiva clínica, estos hallazgos indican que la selección del microaplicador constituye un factor relevante para optimizar el sellado marginal y potencialmente mejorar la longevidad de las restauraciones adhesivas. No obstante, al tratarse de un estudio in vitro, se recomienda que futuras investigaciones incluyan estudios in vivo que permitan confirmar la relevancia clínica de las tendencias observadas.

## Referencias

- Alkattan, R., Banerji, S., & Deb, S. (2022). A multi-functional dentine bonding system combining a phosphate monomer with eugenyl methacrylate. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 38(6), 1030-1043.  
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.04.005>
- Anastasiadis, K., Verdelis, K., & Eliades, G. (2021). The effect of universal adhesives on dentine collagen. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 37(8), 1316-1324. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.05.004>
- Balkaya, H., & Demirbuğa, S. (2023). Evaluation of six different one-step universal adhesive systems in terms of dentin bond strength, adhesive interface characterization, surface tension, contact angle, degree of conversion and solvent evaporation after immediate and delayed use. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry: Official Publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.]*, 35(3), 479-492.  
<https://doi.org/10.1111/jerd.12973>
- 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>
- 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>

- Brkanović, S., Sever, E. K., Vukelja, J., Ivica, A., Miletić, I., & Krmek, S. J. (2023). Comparison of Different Universal Adhesive Systems on Dentin Bond Strength. *Materials (Basel, Switzerland)*, 16(4), 1530. <https://doi.org/10.3390/ma16041530>
- 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>
- Cavalcanti, K. G. B. A., Pulido, C., Moreira, P. H. A., Monteles, C. F., Salvatierra, B. L. C., Siqueira, F. S. F., Soares, C. J., Reis, A., Loguercio, A. D., & Cardenas, A. F. M. (2023). Effect of irradiance and exposure time on the adhesive properties of universal adhesives after 2 years of storage. *Clinical Oral Investigations*, 27(9), 5223-5232. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05142-8>
- de Carvalho, M. A., Lazari-Carvalho, P. C., Polonial, I. F., de Souza, J. B., & Magne, P. (2021). Significance of immediate dentin sealing and flowable resin coating reinforcement for unfilled/lightly filled adhesive systems. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(1), 88-98. <https://doi.org/10.1111/jerd.12700>
- Fehrenbach, J., Isolan, C. P., & Münchow, E. A. (2021). Is the presence of 10-MDP associated to higher bonding performance for self-etching adhesive systems? A meta-analysis of in vitro studies. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 37(10), 1463-1485. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.08.014>

- Galo, R., Marinho, M. T., Telles, P. D. da S., & Borsatto, M. C. (2021). Shear bond strength of the adhesive/dentin interface after different etching protocols. *Journal of Conservative Dentistry: JCD*, 24(4), 393-398. [https://doi.org/10.4103/jcd.jcd\\_223\\_21](https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_223_21)
- 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*, 12(1), 190. <https://doi.org/10.3390/cells12010190>
- Hardan, L., Bourgi, R., Kharouf, N., Mancino, D., Zarow, M., Jakubowicz, N., Haikel, Y., & Cuevas-Suárez, C. E. (2021). Bond Strength of Universal Adhesives to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Polymers*, 13(5), 814. <https://doi.org/10.3390/polym13050814>
- Hassan Elnadif, H., Palin, W., Hadis, M. A., & Darvell, B. W. (2025). Bond strength of a 3-step total-etch bonding system to dentine—An improved approach. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, 41(5), 483-494. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2025.02.007>
- Hirokane, E., Takamizawa, T., Kasahara, Y., Ishii, R., Tsujimoto, A., Barkmeier, W. W., Latta, M. A., & Miyazaki, M. (2021). Effect of double-layer application on the early enamel bond strength of universal adhesives. *Clinical Oral Investigations*, 25(3), 907-921. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03379-1>

- 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>
- Maciel Pires, P., Dávila-Sánchez, A., Faus-Matoses, V., Nuñez Martí, J. M., Lo Muzio, L., & Sauro, S. (2022). Bonding performance and ultramorphology of the resin-dentine interface of contemporary universal adhesives. *Clinical Oral Investigations*, 26(6), 4391-4405. <https://doi.org/10.1007/s00784-022-04402-3>
- Maia, I. H. T., Rifane, T. O., de Freitas, B. de F. B., Feitosa, V. P., Lomonaco, D., & De Paula, D. M. (2025). Influence of Natural Dentin Biomodification Agent on Push-Out Bond Strength and Nanoleakage of Self-Adhesive Resin Cement Luting of Glass-Fiber Posts. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(2), 546-552. <https://doi.org/10.1111/jerd.13332>
- 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, 36. [https://doi.org/10.4103/drj.drj\\_112\\_24](https://doi.org/10.4103/drj.drj_112_24)
- Perdigão, J., Araujo, E., Ramos, R. Q., Gomes, G., & 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>
- Saikaew, P., Sattabanasuk, V., Harnirattisai, C., Chowdhury, A. F. M. A., Carvalho, R., & Sano, H. (2022). Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to

improve bonding performance. *Japanese Dental Science Review*, 58, 59-66.

<https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2021.12.001>

Samartzi, T. K., Papalexopoulos, D., Ntovas, P., Rahiotis, C., & Blatz, M. B. (2022). Deep Margin Elevation: A Literature Review. *Dentistry Journal*, 10(3), 48.

<https://doi.org/10.3390/dj10030048>

Sanon, K., Hatayama, T., Tichy, A., Thanatvarakorn, O., Prasansuttiorn, T., Wada, T., Ikeda, M., Hosaka, K., & Nakajima, M. (2022). Smear layer deproteinization with NaOCl and HOCl: Do application/wash-out times affect dentin bonding of one-step self-etch adhesives? *Dental Materials Journal*, 41(3), 353-362. <https://doi.org/10.4012/dmj.2021-208>

Sebold, M., Lins, R. B. E., Sahadi, B. O., Santi, M. R., Martins, L. R. M., & Giannini, M. (2021). Microtensile Bond Strength, Bonding Interface Morphology, Adhesive Resin Infiltration, and Marginal Adaptation of Bulk-fill Composites Placed Using Different Adhesives. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 23(5), 409-420. <https://doi.org/10.3290/j.jad.b2000221>

Singer, L., Fouda, A., & Bourauel, C. (2023). Biomimetic approaches and materials in restorative and regenerative dentistry: Review article. *BMC Oral Health*, 23(1), 105.

<https://doi.org/10.1186/s12903-023-02808-3>

Siqueira, F. S. F. de, Wendlinger, M., Araújo, L. C. R., Moreira, P. H. de A., Cardenas, A. F. M., Carvalho, T. S., Reis, A., & Loguercio, A. D. (2023). Bonding performance of universal adhesives to eroded dentine: A 6-year evaluation. *Journal of Dentistry*, 136, 104633.

<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104633>

- Takamizawa, T., Latta, M. A., Barkmeier, W. W., Ishii, R., Shibasaki, S., Kasahara, Y., Suzuki, S., & Miyazaki, M. (2025). Universal adhesive application and curing mode affect shear bond strength and shear fatigue bond strength of self-adhesive resin luting cements to dentin. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *41*(10), 1213-1221. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2025.07.005>
- Tsujimoto, A., Barkmeier, W. W., Teixeira, E. C., Takamizawa, T., Miyazaki, M., & Latta, M. A. (2022). Fatigue bond strength of dental adhesive systems: Historical background of test methodology, clinical considerations and future perspectives. *Japanese Dental Science Review*, *58*, 193-207. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2022.05.001>
- Turkistani, A., Sonbul, H. M., & Almarzouki, M. (2024). Influence of chlorhexidine dentin disinfection on universal adhesive performance: Interfacial adaptation and bond strength assessments. *PLOS ONE*, *19*(12), e0315036. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315036>
- Wiegand, A., Lechte, C., & Kanzow, P. (2021). Adhesion to eroded enamel and dentin: Systematic review and meta-analysis. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *37*(12), 1845-1853. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2021.09.014>
- Yoshihara, K., Nagaoka, N., Nakamura, A., Hara, T., Yoshida, Y., & Van Meerbeek, B. (2021). Nano-Layering Adds Strength to the Adhesive Interface. *Journal of Dental Research*, *100*(5), 515-521. <https://doi.org/10.1177/0022034520979133>