

Efecto del tratamiento térmico del silano en la fuerza de unión entre un composite nanocerámico y un cemento resinoso

Effect of silane thermal treatment on the bond strength between nanoceramic composite and resin cement

DOI: <https://doi.org/10.18537/fouc.v01.n02.a01>

Fecha de recepción:
23 de marzo de 2023

Fecha de aprobación:
08 de mayo de 2023

Fecha de publicación:
31 de julio de 2023

Cómo citar:

Cangas Bedoya P, Chacón Flores L, Guevara Guamán K, Celi Gonzaga M, Quiroz Cevallos G, Quinapallo López V, et al. Efecto del tratamiento térmico del silano en la fuerza de unión entre un composite nanocerámico y un cemento resinoso. Rev la Fac Odontol la Univ Cuenca. 2023;1(2):5-17.

Paola Cangas Bedoya¹ <https://orcid.org/0000-0002-8712-078X>
Lesly Chacón Flores¹ <https://orcid.org/0000-0001-8615-6492>
Karen Guevara Guamán¹ <https://orcid.org/0000-0002-8313-5335>
Michelle Celi Gonzaga¹ <https://orcid.org/0000-0001-5810-7925>
Gisella Quiroz Cevallos¹ <https://orcid.org/0000-0002-3517-2473>
Valeria Quinapallo López¹ <https://orcid.org/0000-0001-6668-0422>
Marcelo Cascante-Calderón¹ <https://orcid.org/0000-0003-3474-6196>

1. Universidad Central del Ecuador, Quito - Ecuador

Autor de correspondencia:
Marcelo Cascante-Calderón

Correo electrónico:
mcascante@uce.edu.ec

Resumen

El proceso de activación del silano ha sido identificado como generador de subproductos que impactan la fuerza de unión (FU) entre un cemento resinoso y un sustrato cerámico. **Objetivo:** evaluar la FU entre un composite nanocerámico y un cemento resinoso al emplear silano precalentado entre ellos. **Materiales y métodos:** se utilizaron 40 laminados para CAD / CAM (Brava Block) distribuidos en cuatro grupos (n = 10) con diferentes tratamientos superficiales. El grupo de control (GC) fue sometido a chorro de arena + silano + adhesivo universal. G24: Arenado + silano a temperatura ambiente + adhesivo universal. G100-3: Chorro de arena + silano calentado a 100° C durante 3 minutos + adhesivo universal. G100-5: Chorro de arena + silano calentado a 100° C durante 5 minutos + adhesivo universal. Se cementaron cuatro microtubos de resina (Ilis. FGM) con cemento resinoso en cada laminado. Dos microtubos se ensayaron inmediatamente y los otros, después de un periodo de envejecimiento. Se aplicó una prueba de microcizallamiento en la máquina de ensayos universal. Los datos se analizaron estadísticamente con ANOVA y la prueba posthoc de Tukey con un $\alpha = 0,05$. **Resultados:** los grupos G100-3 y G100-5 lograron los valores más altos de FU. (62,67; 64,16 MPa), mientras que los GC y G24 exhibieron los valores más bajos (38,50; 48,94 MPa). Incluso después del envejecimiento, la FU se mantuvo elevada en los grupos G100-3 y G100-5 (56,80; 57,10 MPa). **Conclusiones:** el tratamiento térmico del silano antes de cementar un composite de nanocerámica puede mejorar su fuerza de unión.

Palabras clave: fuerza de unión, silano, adhesión dental, resina dental.

e-ISSN: 2960-8325
ISSN: 1390-0889



Abstract

It has been observed that during the activation of the silane by-products are produced that affect the bond strength (BS) between a resinous cement and a ceramic substrate. Objective: of this study was to observe if heated silane can improve the bond strength (BS) between a nanoceramic and a resinous cement. Materials and Methods: 40 composite laminates for CAD / CAM (Brava Block) were randomly divided into four groups (n = 10) with the following surface treatments. The control group (GC): Sandblasted + universal adhesive. G24: Sandblasted + silane + universal adhesive, both at room temperature. G100-3 Sandblasted + silane heated to 1000 C for 3 minutes + universal adhesive. G100-5 Sandblasted + silane heated to 1000 C for 5 minutes + universal adhesive (room temperature). Four resin microtubes (Iilis, FGM) were cemented with resinous cement to each laminate. After, two microtubes were tested immediately and the other remaining two, were tested after being aged. A micro shear test on the universal testing machine was applied. The data was statistically analyzed with ANOVA, and Tukey test, post hoc. $\alpha=0.05$. Results: G100-3 and G100-5 obtained higher values. (62,67; 64,16 MPa. Respectively). Even after aging the bond strength remained high in these ones. (56,80; 57,10 MPa). GC and G24 showed the lower values of BS (38,50; 48,94 MPa). Conclusions: Heat treatment of silane before cementing a nanoceramic composite can improve its bond strength

Keywords: bond strength, silane, dental adhesion, dental resins.

Introducción

Los profesionales odontólogos han utilizado resinas dentales a base de BIS-GMA; TEG-DMA y UDMA, durante décadas para restaurar dientes deteriorados¹. Estas resinas se destacan por su facilidad de colocación y su tiempo de trabajo, lo que las hace sumamente útiles en la práctica odontológica diaria. Gracias a su composición resinosa, tienen la capacidad de absorber eficazmente las fuerzas de la masticación. Sin embargo, presentan desventajas significativas como la contracción de

polimerización², la tendencia a la pérdida de brillo y la inestabilidad del color³. La contracción de polimerización, en particular, es un factor crítico que influye en el éxito o el fracaso de estas resinas, resaltando la importancia de buscar técnicas que mejoren su adhesión.

Con la introducción de las cerámicas feldespáticas y los disilicatos de litio, se resolvieron los problemas de la inestabilidad del color y del brillo⁴. Sin embargo, debido a su componente vítreo, estas cerámicas son frágiles y pueden romperse si no están bien cementadas. Por estas razones, las casas comerciales han estado desarrollando nuevos productos que buscan superar estas limitaciones. Actualmente, en el mercado odontológico, se encuentran las cerámicas infiltradas por resina, también conocidas como PICN⁵, y las resinas reforzadas con nanopartículas de cerámica RCN, ambas disponibles para CAD/CAM, reemplazando a los antiguos cerómeros que ya no se fabrican.

Según los fabricantes, los odontólogos pueden disponer de un material que combine las ventajas de las resinas y las cerámicas en un solo producto. Algunos nombres comerciales incluyen Lava Ultimate (3M ESPE, St. Paul, MN, Estados Unidos), Cerasmart (GC, Tokio, Japón), Shofu Block, (Shofu, Tokio Japón), Brava Block (FGM, Joinville, Santa Catarina, Brasil), entre otros.

Estos bloques están compuestos por un 80% de carga inorgánica en forma de partículas de sílice y vitrocerámica, incrustadas en un 20% de matriz orgánica⁶. Debido a la presencia de esta última fase, estos composites tienen un módulo de elasticidad similar al de la dentina, alrededor de los 16 a 20 Gpa, lo que les permite absorber las fuerzas de oclusión de una manera muy similar a este tejido.

Otra característica es que su dureza promedio se encuentra alrededor de los 0.66 GPa (dureza Vickers)⁷, lo que los hace incapaces de desgastar el esmalte de los dientes opuestos, ideales para colocarlas frente a antagonistas naturales.

El Brava Block, fabricado en Brasil, es un composite nanohíbrido con un porcentaje de resina entre 72 al 82% y cuyos grados de conversión pueden llegar hasta un 86%⁸. Estos valores se logran

polimerizando la resina a altas temperaturas y presiones. La matriz resinosa está reforzada por nanopartículas de sílice entre $40\mu\text{m}$ - $5,0\mu\text{m}$ ⁹, confiriéndole una resistencia a la flexión entre 140 a 160 MPa. Por estas razones, con este material se pueden realizar restauraciones indirectas adhesivas definitivas para piezas posteriores, así como restauraciones provisionales a largo plazo.

El éxito de las restauraciones indirectas se basa en lograr una muy buena adhesión. Para las resinas, la técnica aconseja el uso de ácido fosfórico, lavado y la colocación de un adhesivo a base de BIS-GMA. Mientras que las cerámicas vítreas requieren tratamiento con ácido fluorhídrico, lavado y la aplicación de un silano, asegurando altas fuerzas de unión (FU). Sin embargo, cuando se trata de un nuevo material compuesto en parte por una resina y en otra por una cerámica a base de sílice, las técnicas tradicionales pueden no ser las más adecuadas.

Numerosos estudios confirman que una técnica efectiva de adhesión para estos composites sería el arenado, seguido de la colocación de silano. Esta técnica han demostrado lograr altos valores de FU¹⁰. Sin embargo, algunas investigaciones han reportado que dichas fuerzas disminuyen con el tiempo, incluso con las técnicas y cementos más actuales¹¹⁻¹².

Se sabe que el silano favorece la unión de la matriz orgánica del cemento mediante el sílice presente en el relleno cerámico¹³⁻¹⁵. La reacción química entre la fase vítrea de la cerámica y el silano forma una red de enlaces de siloxano entre ellas. Las FU resultantes están directamente relacionadas con la calidad de esta red. Schader, estableció que al colocar silano, se forman automáticamente 3 subcapas de un espesor micrométrico. La primera, la más superficial se mezcla con subproductos y solventes que no lograron evaporarse y, por lo tanto, es la más débil; la segunda, una capa intermedia, compuesta principalmente por una mayor cantidad de oligómeros pero que también contiene restos de solventes. Finalmente, existe una capa interna en íntimo contacto con la superficie a adherirse, llena de terminales siloxano, siendo la más fuerte¹⁶.

Debido a que el silano (3-metacriloxipropiltrimetoxisilano) es una molécula pequeña, puede hidrolizarse fácilmente en presencia de humedad. Matinlinna et al. mencionan que cuando se coloca silano, se produce una reacción química que libera subproductos como alcohol y agua¹⁷, lo que pueden tener un impacto negativo en la adherencia.

Algunos estudios han sugerido que la aplicación de calor al silano ayuda a evaporar las capas más superficiales del silano, mejorando así su FU en las cerámicas vítreas¹⁸⁻¹⁹. Sin embargo, no se ha encontrado ninguna investigación sobre el tratamiento térmico del silano para mejorar la FU en estos nuevos composites.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue medir las FU (inmediatamente y después del envejecimiento) de un composite nanocerámico cuando el silano ha sido tratado térmicamente. La hipótesis nula fue que no existe diferencia en los valores de FU cuando se realiza el tratamiento térmico del silano antes de cementar un RCN para CAD / CAM. La segunda hipótesis nula fue dichas fuerzas no se verían afectadas por el envejecimiento.

Metodología

Los materiales utilizados en esta investigación se enumeran en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales utilizados en la investigación

Producto	Fabricante	Lote	País	Composición
BRAVA BLOCK	FMG	1431B	Brasil	(40 nm - 5,0 µm) partículas inorgánicas, (72% - 82%) peso neto y matriz resinosa
Allcem Cemento Dual (ACD)	FGM	251120	Brasil	BIS-GMA, BIS-EMA y TEGDMA, Camforoquinona peróxido de dibenzoyl, bario, aluminio, Sílice como microrelleno y dióxido de silicio como nano-relleno
Single Bond Universal (SBU)	3M ESPE	NC49905	USA	10-MDP, DMA, HEMA, copolímero de vitrebond, relleno, etanol, agua, silano
Silano	Ultradent	BK1WS	USA	Etanol, acetona, 3-methacryloxypropyl trimethoxysilano
Resina Llis	FGM	170519	Brasil	BIS-GMA Y TEGDMA, bario-aluminio partículas de vidrio, (40nm - 0,5µm) sílice

Cuarenta laminados de resina para Cad Cam (Brava Block. FGM, Joinville, Sta Catarina, Brasil.) De 14x14x1mm fueron obtenidos y posteriormente cortados con un disco de diamante a baja velocidad y riego continuo, utilizando un motor eléctrico (CNC 2030 -10 Great Solutions, Ecuador). Con el objetivo de estandarizar la superficie a unir, se realizó un pulido con un motor eléctrico (Marathon, Saeyang, Corea) utilizando papel de lija de grano 600, 1000 y 1200 durante 3 minutos cada uno. Finalmente, se sumergieron las láminas en una cubeta de ultrasonido con agua destilada durante 10 minutos para eliminar posibles contaminantes. Estas láminas de Brava Block se adhirieron al acrílico autopolimerizable (Veracryl, Antioquia, Colombia) dentro de un molde de PVC, manteniendo expuesta la superficie a cementar.

Todos los laminados fueron sometidos a un arenado con chorro de arena, utilizando partículas de óxido de aluminio de 50µm durante 15 segundos

a 0,4 MPa a una distancia de 15mm, mediante un arenador de consultorio. Bio Art (São Paulo, Brasil). Posteriormente, los laminados preparados se distribuyeron aleatoriamente en cuatro grupos (n = 10). El grupo control no utilizó silano, el grupo G24 aplicó silano a temperatura ambiente. En el grupo G100-3, se colocó silano en la superficie a cementar, frotando activamente con un microbrush durante 20 segundos, permitiendo su evaporación por 1 minuto y sumergiéndolo luego en agua hirviendo a 100°C durante tres minutos. El grupo G100-5 siguió el mismo procedimiento, pero con una inmersión en agua a 100 °C por 5 minutos.

Finalmente, a todos los grupos se les aplicó un adhesivo (Single Bond Universal, 3M ESPE, St. Paul, MN, EE. UU.) y se polimerizó durante 20 segundos, con una fuente de luz LED (VALO Grand Cordless, Ultradent, Utah, EE. UU.) a una intensidad de luz de 1000mW / cm².

En el proceso de cementación, se fabricaron cuatro microtubos de resina de 0,8mm de diámetro por 3mm de alto a partir de una matriz (Tygon Tube, Saint-Gobain, Performance Plastic, Maime Lakes, Florida) y se cementaron en cada uno de los laminados Brava Block, totalizando 160 microtubos. Estos microtubos fueron polimerizados durante 20 segundos por lado con una lámpara de luz LED de 1500 Nano Jouls, aplicada directamente sobre el tubo Tygon.

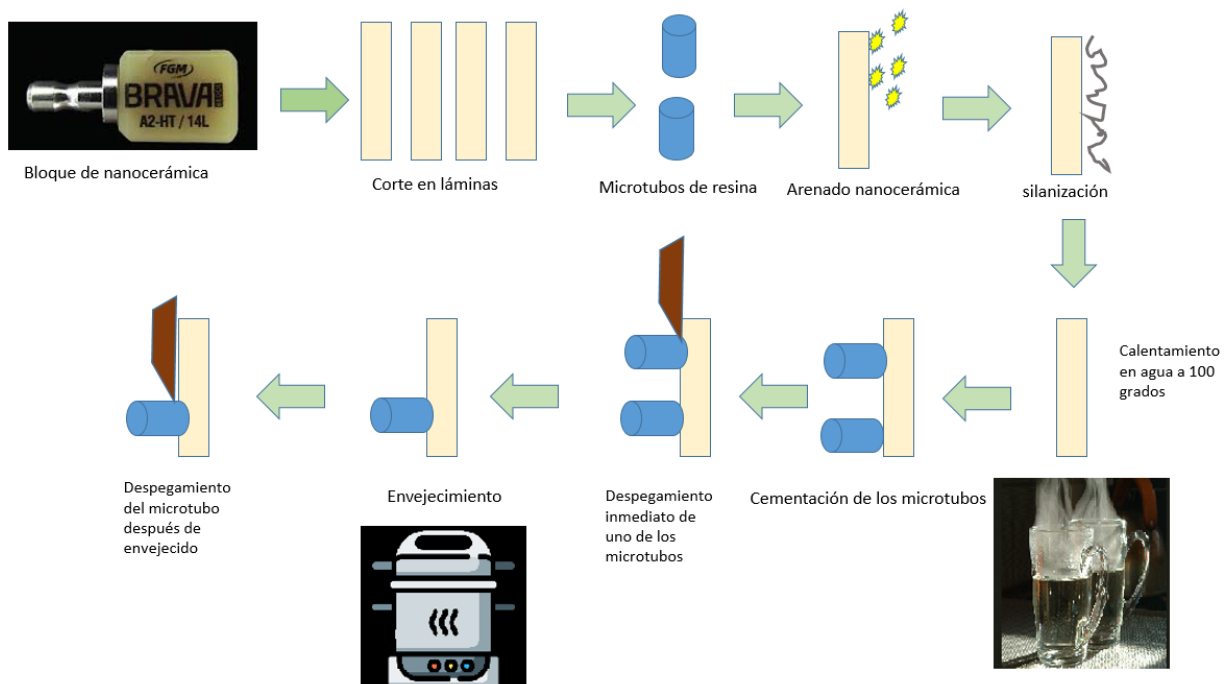
Una vez elaborados los microtubos, se procedió a cementarlos sobre láminas de polímero para CAD/CAM. Para ello, se mezcló una gota de cemento de resina (Dual All Cem, FGM, Joinville, Sta. Catarina, Brasil) con la punta de una sonda periodontal OMS, tomando una porción de cemento menor a 1 mm de cemento en uno de los extremos del microtubo. Colocado sobre este, se llevó a la superficie

adherente y aplicando una presión manual simulando la acción de un odontólogo; se procedió a asentar el microtubo sobre la lámina del polímero.

Después de almacenar en agua a 37° C durante 24 horas, dos de los microtubos fueron despegados mediante una prueba de microcizallamiento, utilizando una máquina de prueba universal (MTS TK / T5002) a una velocidad de 0,5mm/min.

Los 2 microtubos restantes fueron sometidos a un envejecimiento acelerado en autoclave a 134°C y 2 bar de presión, durante 5 ciclos de 1 hora, totalizando 5 horas²⁰. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO), este método equivale a un envejecimiento clínico de 3 a 4 años. Sin embargo, no existe un consenso mundial sobre el mejor método para el envejecimiento de las muestras. Ver Figura 1.

Figura 1. Diagramación de la metodología utilizada en esta investigación



El esquema presenta los pasos secuenciales utilizados para la elaboración de los cuerpos de prueba y las técnicas aplicadas para la preparación,

silanización, calentamiento del silano, cementación y despegue de los microtubos de resina en la máquina de ensayos universales.

La fuerza de unión se obtuvo en MPa mediante la siguiente fórmula:

$$FU = \frac{F}{a}$$

Donde:

FU = fuerza de unión

F = fuerza máxima a la que se despegó la interface adhesiva. Medida en Newtons.

a= área del microtubo medida en mm y calculada con la siguiente formula: $\pi \times r^2$

Finalmente, se llevó a cabo un análisis del tipo de falla mediante microscopía óptica a 40x (Motic, Speed Fair Co., China). Las fallas fueron clasificadas como adhesivas cuando ocurrían en la interfaz cemento-resina; cohesivas si la fractura se presentaba en el cemento o la resina, y mixtas cuando la falla dejaba al menos la mitad del cemento en la interfaz adhesiva.

En cuanto al análisis estadístico los datos fueron evaluados utilizando el software estadístico

Minitab 19 (Minitab, LLC, Pennsylvania, EEUU). Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de Anderson-Darling y Levene, y una vez confirmados estos supuestos estadísticos, se llevó a cabo un ANOVA de dos vías (tratamiento de superficie y tiempo de envejecimiento), seguido de una prueba post-hoc de comparaciones múltiples de Tukey. Se consideró un valor de $p < 0,05$ y una significancia del 95% se consideró para todos los análisis estadísticos.

Resultados

Se analizaron los datos de cuatro grupos, cada uno con un tamaño de muestra $n=10$. Cada n estaba compuesto por cuatro microtubos cementados, lo que resultó un total de 160 medidas. 80 que fueron obtenidas inmediatamente y 80 medidas después del proceso de envejecimiento. Los promedios y las desviaciones estándar de cada grupo se representan en la Tabla 2.

Tabla 2. Medias en (MPa) y la desviación estándar (SD) para los valores de adhesión al microcizallamiento

Grupo	N	Fu Inmediato			Fu Envejecido		
		Microtubos	Media	DS	Microtubos	Media	DS
GC	10	20	38,50	±6,84	20	35,01	±6,03
G24	10	20	48,94	±5,30	20	44,36	±5,00
G100-3	10	20	62,67	±5,79	20	56,80	±7,37
G100-5	10	20	64,16	±6,95	20	57,10	±7,39
TOTAL		80			80		

Los grupos en los cuales se calentó el silano obtuvieron los más altos valores en promedio de FU, siendo 64,16MPa para el G100-5 y 62,67MPa para el G100-3. Estadísticamente, no existieron diferencias entre ellos. Al analizar los datos de los grupos envejecidos, se observa una disminución en las fuerzas de unión, como se observa en la Tabla 2.

No se registraron despegamientos espontáneos en ninguno de los grupos. El grupo en el que se colocó el silano a temperatura ambiente obtuvo valores menores de FU (48,94MPa), representando un 20% menos que aquellos en los que se empleó silano caliente. Mientras tanto, el grupo control, en el que no se usó silano, obtuvo los peores valores de todo el

estudio, con un promedio fueron de 38,50% es decir casi un 50% menos que los grupos con silano tratado térmicamente.

Al observar la FU de los grupos después de ser envejecidos, se nota una clara disminución en la fuerza de adhesión de todos. A pesar de que en los grupos en los que se calentó el silano hubo una disminución de los valores iniciales, al final después del envejecimiento todavía se mantenían altos (57,10 y 56,80 MPa).

El análisis estadístico inferencial mediante un ANOVA mostró que los factores “calentamiento del silano” y el “tiempo de envejecimiento” tuvieron una influencia significativa en los resultados, como se evidencia con el valor de $p = 0,000$ obtenido (ver tabla 3). No se observó interacción entre estos dos factores, ya que el ANOVA arrojó un valor de $p = 0,622$ (ver Tabla 3).

Tabla 3. ANOVA de dos vías

Anova	GL	F	P
Calentamiento del silano	3	127,43	0,000
Tiempo de envejecimiento	1	26,94	0,000
Interacción calentamiento del silano y tiempo de envejecimiento	3	0,59	0,622
Error	152		
Total	159		

Los factores “calentamiento del silano” y “tiempo de envejecimiento” mostraron diferencias estadísticas significativas, con un valor de $p = 0,000$. No se observó interacción entre estos dos factores.

El test Post hoc de Tukey mostró diferencias significativas entre los grupos, como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis Post Hoc de Tukey. Se observan las diferencias entre los grupos

Grupos	N	Media	Agupación
G100-5	40	60,6279	A
G100-3	40	59,7327	A
G24	40	46,6522	B
GC	40	36,7548	C

Nota: Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

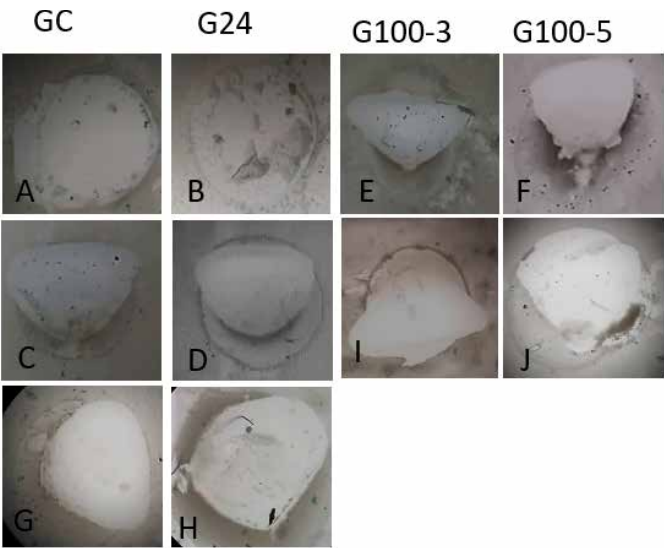
Se puede apreciar en la tabla 4 que el promedio de los grupos G100-5 y G100-3 (silano caliente) es estadísticamente igual, pero diferente del grupo en el cual se cementó con silano a temperatura ambiente. De la misma manera, el grupo control fue diferente de todos los demás grupos.

En cuanto al tipo de fallo, en los grupos tratados con silano caliente, no se observaron fallos adhesivos a un aumento de 40X, incluso después del envejecimiento. Mientras que el tipo cohesivo tuvo altos porcentajes, entre 85 y 90% cuando se observaron inmediatamente después de la prueba y aproximadamente 35 y 40% cuando envejecieron. Las fallas mixtas fueron altas en todos los grupos, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Tipos de fallos adhesivos expresados en porcentajes

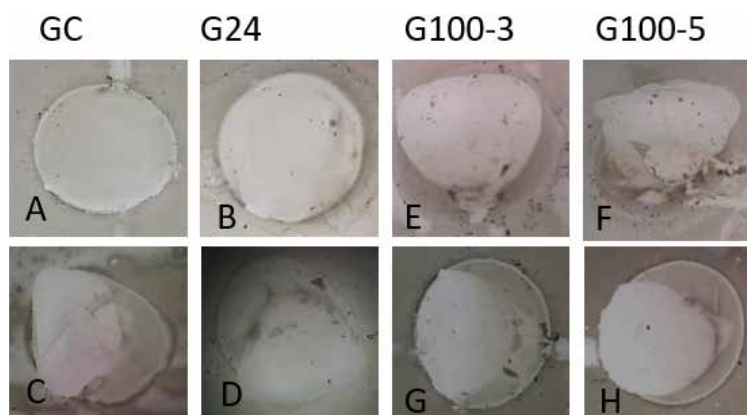
		TIPO DE FALLO		
GRUPOS		ADHESIVA	COHESIVA	MIXTA
Gc	INMEDIATO	20%	5%	75%
	ENVEJECIDO	45%	0	55%
G24°C	INMEDIATO	5%	45%	50%
	ENVEJECIDO	15%	25%	60%
G100-3	INMEDIATO	0	85%	15%
	ENVEJECIDO	0	40%	60%
G100-5	INMEDIATO	0	90%	10%
	ENVEJECIDO	0	35%	65%

Figura 1. Superficies de Brava Block después de haber sido microcizalladas



Nota: Fallas adhesivas: A-B. Fallas cohesivas: C-F. fallas mixtas: G-J. 40X de aumento.

Figura 2. Superficies de Brava Block después de ser envejecidas y microcizalladas



Nota: Fallas Adhesivas: A-B. Fallas Cohesivas: C-E. Fallas mixtas: F-J).

Discusión

Este estudio tuvo como objetivo medir la fuerza de unión (FU) entre un silano sometido a tratamiento térmico y un composite nanocerámico para CAD/CAM (BRAVA BLOCK). Se observó un rendimiento superior en los grupos donde el silano fue calentado, lo que llevó al rechazo de ambas hipótesis nulas.

El hallazgo principal de esta investigación fue que el tratamiento térmico aplicado al silano antes de la cementación de un composite resinoso con relleno de sílice generó valores elevados de FU. Aunque estos valores disminuyeron con el envejecimiento, se mantuvieron en niveles significativamente altos, destacando la eficiencia de esta técnica para mejorar la fuerza adhesiva a largo plazo.

El aumento de temperatura acelera la velocidad de las reacciones y proporciona una mayor cantidad de moléculas de energía para su activación, lo que resulta en una reacción más efectiva en un período más corto²¹. La aplicación de calor al silano, por lo tanto, aceleró la reacción al aumentar el número de terminales siloxano, mejorando así la calidad de la unión. Esto explica por qué la adhesión fue más eficaz en los grupos G100-3 y G100-5.

Silva et al., mediante estudios de termogravimetría, informaron que los solventes del silano, como el etanol y la acetona, empiezan a perder masa entre los 56 y 78°C debido a que esos son los valores

de los puntos de ebullición de estos líquidos. Esto provoca su rápida evaporación, liberando entonces la capa interna de siloxano, que es la red que facilita la adhesión. A los 100°C, ya se habrán evaporado todos los componentes que no sirven para la adhesión dejando libres las moléculas que sí la mejoran²¹.

El silano es una molécula bifuncional, es decir, tiene dos extremos. Uno de ellos es un grupo Vinil-CH=CH₂, anilo o isocianato, que se une químicamente a una cerámica a base de sílice¹⁷. Mientras tanto, el otro extremo tiene un terminal metilo o etilo, que, a través de una reacción química, forma enlaces covalentes con el BIS-GMA, TEDMA, UDMA. Por lo tanto, cementar una cerámica vítrea con silano sería la mejor indicación. La resina Brava Block tiene entre sus principales componentes sílice en forma de micropartículas, esto justifica los altos valores de FU, incluso en los grupos en los que no se aplicó calor al silano.

Aunque la evidencia sugiere que elevar la temperatura del silano ayuda a optimizar sus propiedades, aún no existe consenso sobre cuál sería la temperatura ideal, ni cuánto tiempo de tratamiento térmico producirá el mejor efecto. Spartak Yanakiev y col., en un estudio de seguimiento clínico de 4 años en el que cementaron un disilicato de litio con un silano calentado a 120°C, informaron que con esta técnica fue posible mantener la restauración durante 4 años sin despegarse²². Se necesita más investigación de este tipo en resinas de nanorelleno para CAD/CAM.

Abduljabbar informó que aplicar calor a 100°C durante 5 minutos a un silano destinado a unir una cerámica vítrea con un cemento resinoso mejoró la FU. Nuestros hallazgos coinciden con los resultados de este estudio, a pesar de utilizar una resina rellena con partículas de cerámica vítrea²³.

Aunque este trabajo encontró que el silano caliente mejoró significativamente los valores de FU, existen otras investigaciones que han reportado resultados diferentes a los nuestros. Por lo tanto, es necesario seguir investigando en este mismo tema con materiales considerados el "gold standart"¹⁸⁻²⁴.

En lo que respecta al arenado, investigadores concluyen que este, seguido de una silanización, es el mejor método para unir una vitrocerámica a un cemento resinoso²⁵⁻²⁶, ya que proporciona una unión estable y duradera. El arenado, elimina los contaminantes de la superficie, produce micro-irregularidades, cambia la energía de la superficie y, por lo tanto, mejora la humectabilidad del silano²⁷.

El Brava block, es una resina indirecta reforzada con nanopartículas de cerámica, que posee un 72% de fase resinosa en forma de Bisphenol A diglycidyl-methacrylate (Bis-GMA). Debido a esta composición, en espesores de 1 mm, su resiliencia y módulo de elasticidad no produjeron fracturas visibles a nivel superficial.

Según el propio fabricante (Products FD. Carpet Brava Block FGM26 May 2019 [Available from: <https://issuu.com/fgmprodutosodontologicos>], la polimerización a altas temperaturas y presiones en estos bloques de resina, disminuye la cantidad de monómeros residuales, reduciendo el número de defectos y porosidades²⁸. Esta característica permitió que, incluso después del envejecimiento las fuerzas de adhesión permanezcan altas.

En cuanto al adhesivo utilizado en nuestro estudio, el Single Bond Universal contiene un monómero de fosfato ácido 10 MDP. Estudios demuestran que puede promover una mejor fuerza de unión en cerámicas a base de vidrio¹⁹. Aunque los fabricantes afirman que se puede utilizar sin aplicar primero un silano, se ha comprobado que es mejor utilizar primero una capa de silano para asegurar una unión duradera²⁹⁻³⁰. Nuestros resultados concuerdan con

estos estudios previos, ya que en el grupo control, donde no se usó silano, se obtuvieron los peores valores de adhesión, tanto inmediatamente como después del envejecimiento. Al parecer, la colocación de una capa de silano seguida de un adhesivo universal a base de 10 MDP, potencian la FU.

El monómero contenido en el Single Bond Universal reacciona con el grupo hidroxil del sustrato cerámico, pero investigaciones han confirmado que la cantidad de silano dentro del frasco del adhesivo y el bajo pH del mismo lo hacen incapaz de generar enlaces fuertes. Por esa razón, estudios sugieren siempre colocar una capa de silano antes del adhesivo universal para obtener mejores resultados²⁹.

Respecto al cemento resinoso, utilizamos un cemento sin 10 MDP para evitar un sesgo en los resultados por la posible potenciación con el adhesivo universal. Se observó que la resina Brava Block logra altos valores de adherencia con el cemento sin 10 MDP, probablemente debido a su composición. De hecho, ambos materiales están compuestos de metacrilato, por lo que, la interfaz adhesiva estaba formada por una red impenetrable de polímeros. Este cemento resultó ser suficiente para obtener altos valores de unión, incluso en el grupo donde no se utilizó silano. Si bien es cierto que, los resultados fueron los más bajos de todos los grupos, tampoco fueron insignificantes (38,50MPa para inmediato y 35,01MPa para los envejecidos).

En cuanto al envejecimiento, no se observaron grandes diferencias en los valores de FU entre los grupos sin envejecimiento y los envejecidos. Se deduce que esto se debe a la larga cadena de 10 carbonos del MDP, que impide que la humedad llegue de un externo a otro en la interfaz adhesiva, evitando que las restauraciones fallen con el tiempo, como le reportaron otros investigadores³¹⁻³².

Finalmente, al analizar la interfaz adhesiva, bajo el microscopio, se observó que, en la mayoría de los cuerpos se repitió el patrón de falla cohesiva en los grupos G100-5 y G100-3, lo que demuestra que la adhesión entre Brava Block y el cemento fue óptima, ya que la fractura ocurrió al nivel del cemento. Asimismo, se observó que en los mismos grupos evaluados luego del envejecimiento, presentaron mayoritariamente fallas de tipo mixto. Es

decir, la fuerza de unión alcanzada fue superior a la resistencia de la cerámica.

Una limitación de esta investigación fue el tipo de envejecimiento utilizado. Si bien es cierto que no existe una estandarización en cuanto al método de envejecimiento de las muestras, el más utilizado y que más se acerca a la realidad en boca es el termociclado y el almacenamiento en agua. Estos métodos son capaces de estresar los materiales dentales, produciendo contracción y relajamiento de la interfaz adhesiva. El autoclave, por otro lado, puede generar ambientes extremos de calor y presión, lo cual nos ayuda a entender cómo se comportaría un material adhesivo en estas condiciones extremas.

Conclusiones

El calentamiento se reveló como un factor determinante en la mejora de la fuerza adhesiva del silano al unir una resina rellena de nanocerámica para CAD/CAM. El período óptimo fue de 3 minutos a 100°C. para alcanzar valores de adhesión significativamente altos. A pesar de que la fuerza de unión disminuyó después de un proceso de envejecimiento, se mantuvo en niveles lo suficientemente elevados como para infundir confianza en su durabilidad a largo plazo.

Referencias

1. Sannino G, Germano F, Arcuri L, Bigelli E, Arcuri C, Barlattani A. Cerec CAD/CAM chairside system. *ORAL Implantol.* 2014;7(3):57.
2. Badawy R, El-Mowafy O, Tam LE. Fracture toughness of chairside CAD/CAM materials—Alternative loading approach for compact tension test. *Dent Mater.* 2016;32(7):847-52.
3. Ardu S, Duc O, Di Bella E, Krejci I. Color stability of recent composite resins. *Odontology.* 2017;105:29-35.
4. Chuenjit P, Suzuki M, Shinkai K. Effect of various surface treatments on the bond strength of resin luting agent and the surface roughness and surface energy of CAD/CAM materials. *Dent Mater Jo.* 2021;40(1):16-25.
5. Teshigawara D, Ino T, Otsuka H, Isogai T, Fujisawa M. Influence of elastic modulus mismatch between dentin and post-and-core on sequential bonding failure. *J Prosthodont Res.* 2019;63(2):227-31.
6. Goujat A, Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Pradelle N, Seux D, et al. Mechanical properties and internal fit of 4 CAD-CAM block materials. *J Prosthet Dent.* 2018;119(3):384-9.
7. Moura DMD, Araújo AMMd, Souza KBd, Veríssimo AH, Tribst JPM. Hydrofluoric acid concentration, time and use of phosphoric acid on the bond strength of feldspathic ceramics. *Braz Oral Res.* 2020;34.
8. Dimitriadi M, Zafiropoulou M, Zinelis S, Silikas N, Eliades G. Silane reactivity and resin bond strength to lithium disilicate ceramic surfaces. *Dent Mater.* 2019;35(8):1082-94.
9. Park J-H, Choi Y-S. Microtensile bond strength and micromorphologic analysis of surface-treated resin nanoceramics. *J Adv Prosthodont.* 2016;8(4):275-84.
10. Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Goujat A, Attik N, Laforest L, et al. Impact of the microstructure of CAD/CAM blocks on the bonding strength and the bonded interface. *J Prosthodont.* 2022;31(1):72-8.
11. Isaka SE, Elnaghy AM. Effect of Surface Treatment and Aging on Bond Strength of Composite Cement to Novel CAD/CAM Nanohybrid Composite. *J Adhes Dent.* 2020;22(2).
12. Reymus M, Roos M, Eichberger M, Edelhoff D, Hickel R, Stawarczyk B. Bonding to new CAD/CAM resin composites: influence of air abrasion and conditioning agents as pretreatment strategy. *Clin Oral Investig.* 2019;23:529-38.

13. Kay Khine PP, Tichy A, Abdou A, Hosaka K, Sumi Y, Tagami J, et al. Influence of Silane Pretreatment and Warm Air-Drying on Long-Term Composite Adaptation to Lithium Disilicate Ceramic. *Crystals*. 2021;11(2):86.
14. Çelik E, Şahin SC, Dede DÖ. Effect of surface treatments on the bond strength of indirect resin composite to resin matrix ceramics. *J Adv Prosthodont*. 2019;11(4):223-31.
15. Niem T, Youssef N, Wöstmann B. Influence of accelerated ageing on the physical properties of CAD/CAM restorative materials. *Clin Oral Investig*. 2020;24:2415-25.
16. Schrader ME. Radioisotopic studies of bonding at the interface. *J Adhesion*. 1970;2(3):202-12.
17. Matinlinna JP, Lung CYK, Tsoi JKH. Silane adhesion mechanism in dental applications and surface treatments: A review. *Dent Mater*. 2018;34(1):13-28.
18. Soleimani L, Alaghemand H, Fatemi SM, Esmaili B. Effect of heat treatment and addition of 4-META to silane on microtensile bond strength of IPS e. max CAD ceramic to resin cement. *Dent Res J (Isfahan)* 2019;16(5):318.
19. Carvalho RFd, Cotes C, Kimpara ET, Leite FPP. Heat treatment of pre-hydrolyzed silane increases adhesion of phosphate monomer-based resin cement to glass ceramic. *Braz Dent J*. 2015;26:44-9.
20. Del Piñal Luna M, Molina IC, de Vasconcellos DK, Volpato CÂM, Suárez MJ. Consideraciones mecánicas y biológicas sobre el envejecimiento del óxido de circonio odontológico. *Revista internacional de prótesis estomatológica*, ISSN 1139-9791, Vol. 16, N°. 1, 2014, págs. 15-23
21. Silva L, Costa A, Queiroz J, Bottino M, Valandro L. Ceramic primer heat-treatment effect on resin cement/Y-TZP bond strength. *Oper Dent*. 2012;37(6):634-40.
22. Yanakiev SS, Marinova-Takorova MB. Silane heat treatment could eliminate the hydrofluoric acid etching of lithium disilicate overlays: a four-year follow-up. *Case Rep Dent*. 2021;2021.
23. Abduljabbar T, AlQahtani MA, Jeaidi ZA, Vohra F. Influence of silane and heated silane on the bond strength of lithium disilicate ceramics - An in vitro study. *Pak J Med Sci*. 2016;32(3):550-4.
24. Hakimaneh SMR, Shayegh SS, Ghavami-Lahiji M, Chokr A, Moraditalab A. Effect of silane heat treatment by laser on the bond strength of a repair composite to feldspathic porcelain. *J Prosthodont*. 2020;29(1):49-55.
25. Al-Thagafi R, Al-Zordk W, Saker S. Influence of Surface Conditioning Protocols on Reparability of CAD/CAM Zirconia-reinforced Lithium Silicate Ceramic. *J Adhes Dent*. 2016;18(2):135-41.
26. Maruo Y, Nishigawa G, Yoshihara K, Minagi S, Matsumoto T, Irie M. Does 8-methacryloxyoctyl trimethoxy silane (8-MOTS) improve initial bond strength on lithium disilicate glass ceramic? *Dent Mater*. 2017;33(3):e95-e100.
27. Quiroz Cevallos G, Chacón Flores L, Guevara Guamán K, Celi Gonzaga M, Cangas Bedoya P, Quinapallo López V, et al. Influencia del arenado sobre la resistencia adhesiva de un polímero HPP para CAD CAM. 2022. *Odontol Activa*. 2022; 7 (1):17-24
28. Schneider LF. Avaliação da estabilidade de cor de uma resina nanocerâmica submetida a intervenções de higiene e imersão em café. 2020. repositorio.ufsc.br

29. Maier E, Bordihn V, Belli R, Taschner M, Petschelt A, Lohbauer U, et al. New Approaches in Bonding to Glass-Ceramic: Self-Etch Glass-Ceramic Primer and Universal Adhesives. *J Adhes Dent*. 2019;21(3).
30. Yao C, Yang H, Yu J, Zhang L, Zhu Y, Huang C. High bond durability of universal adhesives on glass ceramics facilitated by silane pretreatment. *Oper Dent*. 2018;43(6):602-12.
31. Carrilho E, Cardoso M, Marques Ferreira M, Marto CM, Paula A, Coelho AS. 10-MDP based dental adhesives: adhesive interface characterization and adhesive stability—a systematic review. *Materials*. 2019;12(5):790.
32. Hoshika S, Kameyama A, Suyama Y, De Munck J, Sano H, Van Meerbeek B. GPDM-and 10-MDP-based Self-etch Adhesives Bonded to Bur-cut and Uncut Enamel. *J Adhes Dent*. 2018;20(2):113-20.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.