



Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

Influencia del precalentamiento en la dureza de la resina nanohíbrida a lo largo del tiempo.

Trabajo De Titulación Para La Obtención Del Título De Especialista En Operatoria Dental Y Estética

Presentado por:

Carlos Bernardino Herrera Quito

Tutor:

Ing. Boris Villacrés

Quito, mayo del 2026

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en esta ha sido redactado con entera sujeción al respecto de los derechos del 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 de la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esa 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.

Carlos Bernardino Herrera Quito

C.I. 0707067419

Dedicatoria

Con todo mi cariño, respeto y admiración, dedico este trabajo a mis padres, quienes, con su ejemplo, apoyo incondicional y sabiduría, han sido una guía constante en mi vida. Su amor y enseñanza me inspiran cada día a perseguir y alcanzar mis sueños y metas.

Índice

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos	2
Dedicatoria	3
Índice	4
Índice de Tablas.....	5
Índice de Figuras	6
Resumen	7
Abstract	8
Introducción.....	9
Materiales y métodos.....	10
Diseño del estudio.....	11
Preparación de los especímenes de resina, ENA Hri y Filtek Z350 XT	12
Precalentamiento.....	13
Evaluación de la microdureza.....	14
Análisis estadístico.....	14
Resultados.....	15
Análisis inferencial y verificación de supuestos estadísticos.....	16
Análisis Entre Resinas Evaluadas Ena Hri Vs Z350 Xt.....	19
Análisis En Relación Al Precalentamiento	21
Análisis En Relación Al Termociclado	22
Discusión	22
Conclusiones.....	26
Referencias.....	28

Índice de Tablas

Tabla 1 Información de las resinas compuestas utilizadas en este estudio.....	11
Tabla 2 Diseño experimental para el análisis de microdureza en resina con y sin precalentamiento a lo largo del tiempo.	12
Tabla 3 Estadística descriptiva de la microdureza Vickers HV (kg/mm ²) según grupo experimental, tipo de resina, termociclado y precalentamiento.	15
Tabla 4 Resultados del análisis de varianza factorial (ANOVA 2 × 2 × 2) para la microdureza Vickers según tipo de resina, termociclado y precalentamiento.....	18
Tabla 5 Comparaciones planificadas complementarias de la microdureza Vickers según resina, precalentamiento y termociclado	19
Tabla 6 Análisis entre resinas evaluadas R1 (Resina ENA HRi) vs R2 (Resina Z350 XT) ..	20
Tabla 7 Análisis entre resina nanohíbrida ENA HRi y de nanorelleno Z350 XT con y sin precalentamiento.....	21
Tabla 8 Análisis entre resina nanohíbrida ENA HRi y de nanorelleno Z350 XT con y sin termociclado.	22

Índice de Figuras

Figura 1 Comparación de la microdureza Vickers (media \pm IC95%) entre los grupos experimentales según tipo de resina, termociclado y precalentamiento.	16
Figura 2 Comparación global de la microdureza Vickers entre los grupos experimentales según tipo de resina.....	20

INFLUENCIA DEL PRECALENTAMIENTO EN LA DUREZA DE LA RESINA NANOHÍBRIDA A LO LARGO DEL TIEMPO.

Carlos Bernardino Herrera Quito

carloscafiro@hotmail.com

Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del precalentamiento de la resina nanohíbrida sobre la microdureza a lo largo del tiempo, con el fin de determinar su influencia en el comportamiento del material bajo envejecimiento artificial.

Se realizó un estudio experimental in vitro con 120 especímenes cilíndricos distribuidos en ocho grupos experimentales ($n = 15$), según el tipo de resina, ENA HRi y Filtek Z350 XT, la aplicación o no de precalentamiento y la exposición o no a termociclado. Los especímenes fueron confeccionados en matrices de 5 mm de diámetro y 2 mm de altura. En los grupos experimentales correspondientes, las resinas fueron precalentadas a 55 °C durante 10 min antes de su inserción. El envejecimiento artificial se realizó mediante 10 000 ciclos térmicos entre 5 °C y 55 °C. La microdureza superficial se evaluó mediante prueba Vickers, con una carga de 100 g durante 10 s, realizando tres indentaciones por espécimen. Los datos se analizaron mediante ANOVA de una vía, ANOVA factorial $2 \times 2 \times 2$, pruebas robustas y comparaciones planificadas con ajuste de Holm, considerando $p < 0.05$. Filtek Z350 XT presentó valores de microdureza superiores a ENA HRi en todas las combinaciones experimentales.

El tipo de resina fue el factor con mayor efecto sobre la microdureza ($p < 0.001$). El precalentamiento y el termociclado mostraron efectos significativos de menor magnitud. En conclusión, la microdureza estuvo determinada principalmente por el tipo de resina.

Palabras Clave: COMPOSITE RESINS; NANOHYBRID RESIN; PREHEATING; VICKERS MICROHARDNESS; THERMOCYCLING.

Abstract

The objective of the present study was to evaluate the effect of preheating a nanohybrid resin on microhardness over time, in order to determine its influence on material behavior under artificial aging conditions.

An in vitro experimental study was conducted using 120 cylindrical specimens distributed into eight experimental groups ($n = 15$), according to resin type, ENA HRi and Filtek Z350 XT, with or without preheating, and with or without thermocycling. The specimens were prepared using molds measuring 5 mm in diameter and 2 mm in height. In the corresponding experimental groups, the resins were preheated at 55 °C for 10 min before insertion. Artificial aging was performed through 10,000 thermal cycles between 5 °C and 55 °C. Surface microhardness was assessed using the Vickers test, with a 100 g load applied for 10 s, performing three indentations per specimen. Data were analyzed using one-way ANOVA, $2 \times 2 \times 2$ factorial ANOVA, robust tests, and planned comparisons with Holm adjustment, considering $p < 0.05$. Filtek Z350 XT showed higher microhardness values than ENA HRi in all experimental combinations.

Resin type was the factor with the greatest effect on microhardness ($p < 0.001$). Preheating and thermocycling also showed significant effects, although of smaller magnitude. In conclusion, microhardness was mainly determined by resin type.

Keywords: COMPOSITE RESINS; NANOHYBRID RESIN; PREHEATING; VICKERS MICROHARDNESS; THERMOCYCLING.

Introducción

Las resinas dentales constituyen uno de los materiales más utilizados en restauraciones directas para el tratamiento de caries, erosiones, fracturas dentarias y defectos estéticos (J. Zhang et al., 2024). Estos materiales están compuestos principalmente por una matriz orgánica y reforzada con partículas de relleno inorgánicas (Cho et al., 2022). En conjunto, estas características favorecen su desempeño clínico y contribuyen a la durabilidad de las restauraciones en el entorno oral (Dionysopoulos & Gerasimidou, 2021).

Entre las innovaciones recientes en materiales restauradores destacan las resinas nanohíbridas, desarrolladas mediante la incorporación de partículas de relleno nano y microestructuradas dentro de la matriz orgánica (Păstrav et al., 2024). Esta modificación estructural permite mejorar propiedades mecánicas como la resistencia al desgaste, la estabilidad superficial y el comportamiento clínico del material restaurador (Elfakhri et al., 2022). Además, estas características influyen en su capacidad para soportar cargas masticatorias y mantener su desempeño a largo plazo (Ilie, 2022).

La resina nanohíbrida destaca en odontología restauradora por su adecuada combinación de propiedades estéticas y mecánicas, entre ellas la microdureza superficial, considerada esencial para resistir la deformación y el desgaste clínico (Hamdy et al., 2023). En este contexto, la microdureza Vickers constituye un parámetro relevante, ya que permite valorar la resistencia del material frente a la deformación superficial (Alharbi et al., 2024). Por ello, su medición aporta información importante sobre el desempeño mecánico del composite y sobre la posible longevidad clínica de las restauraciones resinosas (Wang et al., 2024).

El precalentamiento del composite ha sido propuesto desde hace varios años como una estrategia para optimizar el comportamiento de las resinas restauradoras. Se ha

evidenciado que, al aplicarlo, muchas resinas presentan una dureza significativamente superior (Lousan Do Nascimento Poubel et al., 2022). Asimismo, este procedimiento puede favorecer otras propiedades mecánicas del material, al reducir su viscosidad y mejorar su manipulación, lo que contribuiría a una mayor longevidad y a un mejor rendimiento clínico (Urcuyo- Alvarado et al., 2020). El precalentamiento previo a la fotopolimerización se ha descrito como una estrategia capaz de mejorar la polimerización al reducir la viscosidad e incrementar propiedades como la dureza y el grado de conversión (Uribe-Hernández et al., 2024).

Por otra parte, el termociclado es un método de envejecimiento artificial ampliamente utilizado en ensayos odontológicos para reproducir, de manera controlada, los cambios térmicos del medio oral (Mao et al., 2024). Este procedimiento permite aproximar las condiciones clínicas reales y evaluar de manera más confiable el comportamiento de los materiales dentales (Temizci & Bozoğulları, 2024).

En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del precalentamiento de la resina nanohíbrida sobre la microdureza a lo largo del tiempo, con el fin de determinar su influencia en el comportamiento del material bajo envejecimiento artificial.

Materiales y métodos

Materiales evaluados

Se emplearon dos resinas compuestas: ENA HRi resin composite (Micerium S.p.A., Avegno, Genoa, Italy), tono UD1, y Filtek Z350 XT (3M ESPE, St. Paul, MN, USA), tono DA1. (**Tabla 1**), toda información sobre tipo de resina, matriz resinosa, contenido, tipo y tamaño de relleno se obtuvo de las fichas técnicas de los fabricantes.

Tabla 1

Información de las resinas compuestas utilizadas en este estudio

Resina	Tipo de resina	Matriz resinosa	Contenido de relleno	Tipo y tamaño de relleno	Lote
ENA Hri Micerium	Nanohíbrida	Diurethandimetacrilato, Iso-propyliden-bis [2(3)-hydroxy-3(2)-(4-phenoxy)propyl] bis(metacrylat) (Bis GMA), 1,4 Butandioldimethacrylat.	75% en peso y 53% en volumen	Relleno vitroso de 0,7 µm. Bióxido de silicio de alta dispersión 0,04 µm.	2025001473
Filtek Z350 XT	Nanorrellena	Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA y TEGDMA.	78,5 % en peso y 63,3 % en volumen	Relleno de sílice de 20 nm. Zirconia de 4–11 nm, clústeres de zirconia/sílice,	12332206

Diseño del estudio

Se realizó un estudio experimental *in vitro* (**Tabla 2**), para evaluar la influencia del precalentamiento y del termociclado sobre la microdureza superficial de dos resinas compuestas. Se confeccionaron 120 especímenes cilíndricos, distribuidos en ocho grupos experimentales (n = 15 por grupo), definidos según el material evaluado, la aplicación o no de precalentamiento y la exposición o no al termociclado.

Tabla 2

Diseño experimental para el análisis de microdureza en resina con y sin precalentamiento a lo largo del tiempo.

Grupo	Código	Resina	Termo.	Precal.	n
G1	R1-sP	ENA HRi	No	No	15
G2	R1-cP	ENA HRi	No	Sí	15
G3	R1-sPT	ENA HRi	Sí	No	15
G4	R1-cPT	ENA HRi	Sí	Sí	15
G5	R2-sP	Z350 XT	No	No	15
G6	R2-cP	Z350 XT	No	Sí	15
G7	R2-sPT	Z350 XT	Sí	No	15
G8	R2-cPT	Z350 XT	Sí	Sí	15

G1; R1-sP: ENA HRi sin precalentamiento y sin termociclado, **G2**; R1-cP: ENA HRi con precalentamiento y sin termociclado, **G3**; R1-sPT: ENA HRi sin precalentamiento y Termociclado, **G4**; R1-cPT: ENA HRi con precalentamiento y Termociclado, **G5**; R2-sP: Z350 sin precalentamiento y sin termociclado, **G6**; R2-cP: Z350 con precalentamiento y sin termociclado, **G7**; R2-sPT: Z350 sin precalentamiento y Termociclado, **G8**; R2-cPT: Z350 con precalentamiento y Termociclado.

Preparación de los especímenes de resina, ENA Hri y Filtek Z350 XT

Las resinas compuestas, ENA HRi y Filtek Z350 XT se insertaron en una sola porción con ayuda de un gutaperchero a una matriz elaborada en acero inoxidable con un diámetro de 5 mm y una altura de 2 mm conforme a lo estipulado por la norma ISO 4049. Posteriormente, se colocó una tira de celuloide sobre la superficie y se aplicó presión uniforme con un portaobjetos, con el fin de estandarizar la superficie del espécimen y eliminar el exceso de material y las posibles burbujas atrapadas.

La fotopolimerización se realizó con VALO™ X LED curing light (Ultradent Products, Inc., South Jordan, UT, USA), posicionada a 2 mm de la superficie del material, durante 40 s

y con una irradiancia de 1100 mW/cm². El pulido se realizó de forma secuencial utilizando sistemas abrasivos de grano decreciente, Sof-Lex™ (3M ESPE, St. Paul, MN, USA), con movimientos uniformes y presión controlada, a fin de obtener una superficie plana, lisa y homogénea.

Una vez confeccionados, todos los especímenes fueron inspeccionados visualmente para verificar la ausencia de burbujas, irregularidades superficiales o fracturas. Las muestras que presentaron alguno de estos defectos fueron descartadas y reemplazadas por nuevos especímenes del mismo grupo experimental.

Posteriormente, las muestras de prueba se identificaron individualmente y se almacenaron en agua destilada a 37 °C durante 24 horas antes del ensayo de microdureza, a fin de permitir la estabilización postpolimerización.

Pre calentamiento

En los grupos asignados al pre calentamiento, tanto la resina ENA HRi y Filtek Z350 XT fueron acondicionadas en un dispositivo ENA Heat® composite heating conditioner (Micerium S.p.A., Avegno, Genoa, Italy) a 55 °C durante 10 min antes de su inserción en la matriz. En los grupos control, el material se manipuló a temperatura ambiente.

Envejecimiento artificial

Para simular el envejecimiento artificial los grupos correspondientes fueron sometidos a 10 000 ciclos de termociclado entre 5 °C y 55 °C, con un tiempo de permanencia de 20 s en cada baño térmico (Termociclador; Controlador Siemens, Termómetro Infrarrojo MESTEK - IR02B). Finalizado este procedimiento, los especímenes fueron destinados al análisis de microdureza.

Evaluación de la microdureza

La microdureza superficial se determinó mediante la prueba de Vickers, empleando un microdurometro (Durómetro de microvicker digital LG modelo HV-1000, Corea). La microindentación se realizó con una carga de 100 g aplicada durante 10 s sobre cada espécimen, por triplicado.

Análisis estadístico

La unidad de análisis correspondió al promedio de tres mediciones de microdureza Vickers obtenidas por espécimen, con el propósito de evitar pseudorreplicación. Se analizaron 120 especímenes distribuidos en ocho grupos independientes ($n = 15$ por grupo), definidos según el tipo de resina, el precalentamiento y el termociclado. Inicialmente, se realizó un análisis descriptivo mediante medias, desviaciones estándar e intervalos de confianza del 95%. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro–Wilk y la homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene. Dado el carácter balanceado del diseño experimental, se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA) para la comparación global entre los ocho grupos, así como un-ANOVA factorial $2 \times 2 \times 2$ para examinar los efectos principales del tipo de resina, el termociclado y el precalentamiento, además de sus interacciones. Como análisis complementarios de robustez, se emplearon el ANOVA de Welch y la prueba no paramétrica de Kruskal–Wallis. Las comparaciones múltiples se realizaron mediante la prueba post hoc de Tukey, mientras que las comparaciones planificadas se analizaron con la prueba t de Welch para muestras independientes, aplicando la corrección de Holm para controlar el error por multiplicidad. En todos los análisis se adoptó un nivel de significancia de 5% ($p < 0.05$).

Resultados

En el presente estudio se evaluaron 120 especímenes distribuidos en ocho grupos experimentales (n = 15 por grupo), considerando como variable dependiente el promedio de microdureza Vickers obtenido a partir de tres mediciones en cada espécimen.

El análisis descriptivo evidenció, en general, un patrón diferenciado en función del tipo de resina utilizada. En la **(Tabla 3)**, los grupos correspondientes a la resina ENA HRi presentaron valores de microdureza comprendidos entre 56.00 ± 4.43 y 59.94 ± 2.13 HV, mientras que los grupos de la resina Filtek Z350 XT mostraron valores superiores, con medias entre 76.57 ± 3.67 y 80.23 ± 4.91 HV. Los intervalos de confianza al 95% mostraron una separación consistente entre ambos materiales.

Tabla 3

Estadística descriptiva de la microdureza Vickers HV (kg/mm²) según grupo experimental, tipo de resina, termociclado y precalentamiento.

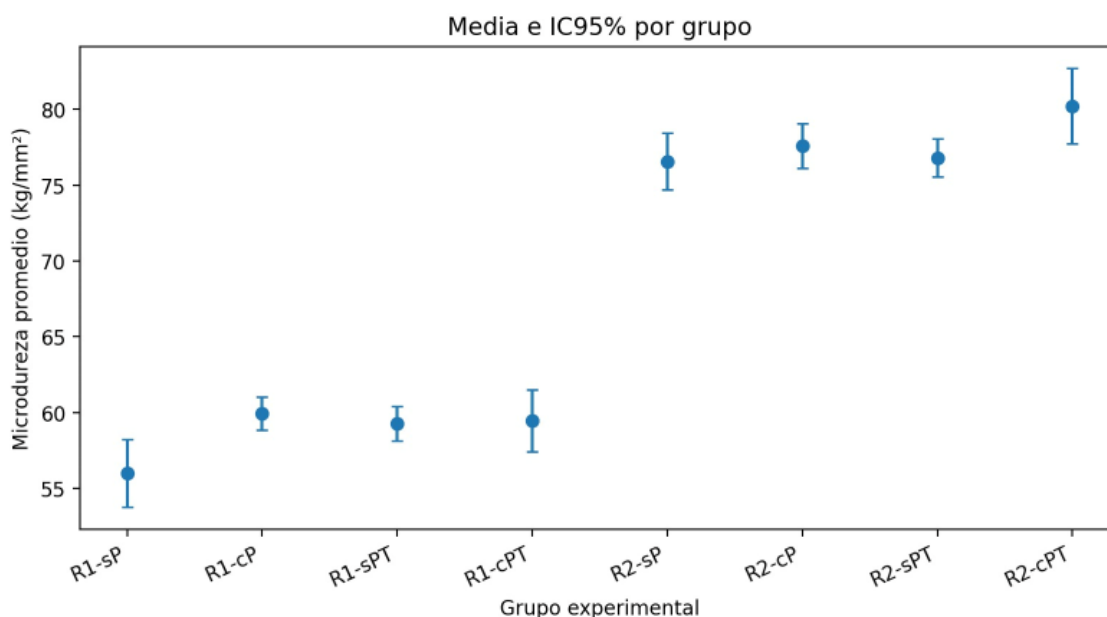
Grupo	Código	Resina	Termociclado	Precalentamiento	n	Media ± DE	IC95%
G1	R1-sP	ENA HRi	No	No	15	56.00 ± 4.43	53.54 a 58.45
G2	R1-cP	ENA HRi	No	Sí	15	59.94 ± 2.13	58.76 a 61.11
G3	R1-sPT	ENA HRi	Sí	No	15	59.27 ± 2.28	58.01 a 60.53
G4	R1-cPT	ENA HRi	Sí	Sí	15	59.47 ± 4.05	57.22 a 61.71
G5	R2-sP	Z350 XT	No	No	15	76.57 ± 3.67	74.54 a 78.61
G6	R2-cP	Z350 XT	No	Sí	15	77.61 ± 2.91	76.00 a 79.22
G7	R2-sPT	Z350 XT	Sí	No	15	76.81 ± 2.51	75.41 a 78.20
G8	R2-cPT	Z350 XT	Sí	Sí	15	80.23 ± 4.91	77.51 a 82.95

Código: sP: sin precalentamiento y sin termociclado; cP con precalentamiento y sin termociclado; sPT; sin precalentamiento y con termociclado; cPT = con precalentamiento y con termociclado.

Filtek Z350 XT presentó valores de microdureza superiores a ENA HRi en todas las combinaciones de termociclado y precalentamiento (**Figura 1**), mientras que estas condiciones térmicas mostraron efectos de menor magnitud y dependientes de combinaciones experimentales específicas.

Figura 1

Comparación de la microdureza Vickers (media \pm IC95%) entre los grupos experimentales según tipo de resina, termociclado y precalentamiento.



G1; R1-sP: Resina ENA HRi sin precalentamiento y sin termociclado, **G2; R1-cP:** Resina ENA HRi con precalentamiento y sin termociclado, **G3; R1-sPT:** Resina ENA HRi sin precalentamiento y Termociclado,

G4; R1-cPT: Resina ENA HRi con precalentamiento y Termociclado, **G5; R2-sP:** Resina Z350 sin precalentamiento y sin termociclado, **G6; R2-cP:** Resina Z350 con precalentamiento y sin termociclado, **G7;**

R2-sPT: Resina Z350 sin precalentamiento y Termociclado, **G8; R2-cPT:** Resina Z350 con precalentamiento y Termociclado.

Análisis inferencial y verificación de supuestos estadísticos

Previo al análisis inferencial, se verificaron los supuestos estadísticos. La prueba de Levene indicó homogeneidad de varianzas entre los grupos $p > 0.05$, mientras que la

evaluación de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk mostró que solo uno de los grupos presentó desviación significativa $p < 0.05$, siendo los demás compatibles con distribución normal. Considerando que el diseño experimental fue balanceado, se procedió con el uso de pruebas paramétricas, complementadas con análisis robustos.

El análisis de varianza de una vía (ANOVA) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los ocho grupos experimentales $p < 0.001$.

Estos hallazgos fueron confirmados mediante pruebas robustas adicionales, incluyendo el ANOVA de Welch y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, las cuales también mostraron significancia estadística ($p < 0.001$).

En la (**Tabla 4**), el análisis factorial $2 \times 2 \times 2$ mostró que el tipo de resina constituyó el factor más influyente sobre la microdureza ($p < 0.001$). Por su parte, el termociclado ($p < 0.05$) y el precalentamiento ($p < 0.05$) también mostraron efectos estadísticamente significativos, aunque de menor magnitud.

Asimismo, tampoco se observó un efecto significativo sobre la dureza de Vickers, al comparar el termociclado y el precalentamiento. Sin embargo, el análisis de la interacción triple mostró significancia ($p < 0.05$), lo que señala que los efectos de las condiciones térmicas dependieron de combinaciones experimentales específicas.

Tabla 4

Resultados del análisis de varianza factorial (ANOVA $2 \times 2 \times 2$) para la microdureza Vickers según tipo de resina, termociclado y precalentamiento.

Efecto	F	gl	p	ηp^2
Resina	895.41	1,112	< 0.001	0.889
Termociclado	4.90	1,112	0.029	0.042
Precalentamiento	11.30	1,112	0.001	0.092
Resina \times Termociclado	0.00	1,112	0.983	0.000
Resina \times Precalentamiento	0.02	1,112	0.897	0.000
Termociclado \times Precalentamiento	0.28	1,112	0.598	0.002
Interacción triple	5.74	1,112	0.018	0.049

En la (Tabla 5), las comparaciones específicas confirmaron que las diferencias más consistentes se presentaron entre los tipos de resina, con diferencias de microdureza a favor de Filtek Z350 XT que oscilaron aproximadamente entre 17.54 y 20.77 HV en todas las combinaciones experimentales, siendo todas estadísticamente significativas ($p < 0.001$).

De igual manera, el precalentamiento y el termociclado también mostraron efectos significativos; sin embargo, su influencia no fue uniforme en todos los grupos experimentales. Consecuentemente, dentro del bloque de precalentamiento, se observó en ENA Hri, sin termociclado, un incremento de +3.94 HV cuando fue sometida a precalentamiento (R1-sP vs R1-cP), y significación mantenida tras la corrección de Holm ($p < 0.05$). En las demás comparaciones, las diferencias no conservaron diferencias significativas tras el ajuste por comparaciones múltiples.

Tabla 5

Comparaciones planificadas complementarias de la microdureza Vickers según resina, precalentamiento y termociclado

Bloque	Comparación	Δ media	p	p Holm
Precalentamiento	G1 vs G2	+3.94	0.004	0.017
Precalentamiento	G3 vs G4	+0.20	0.872	0.872
Precalentamiento	G5 vs G6	+1.04	0.398	0.796
Precalentamiento	G7 vs G8	+3.43	0.023	0.069
Termociclado	G1 vs G3	+3.27	0.017	0.067
Termociclado	G2 vs G4	-0.47	0.695	1.000
Termociclado	G5 vs G7	+0.24	0.839	1.000
Termociclado	G6 vs G8	+2.62	0.086	0.257
Entre resinas	G1 vs G5	+20.57	< 0.001	< 0.001
Entre resinas	G2 vs G6	+17.67	< 0.001	< 0.001
Entre resinas	G3 vs G7	+17.54	< 0.001	< 0.001
Entre resinas	G4 vs G8	+20.77	< 0.001	< 0.001

G1; Resina ENA HRi sin precalentamiento y sin termociclado, **G2**; Resina ENA HRi con precalentamiento y sin termociclado, **G3**; Resina ENA HRi sin precalentamiento y Termociclado, **G4**; Resina ENA HRi con precalentamiento y Termociclado, **G5**; Resina Z350 sin precalentamiento y sin termociclado, **G6**; Resina Z350 con precalentamiento y sin termociclado, **G7**; Resina Z350 sin precalentamiento y Termociclado, **G8**; Resina Z350 con precalentamiento y Termociclado.

Se realizó un análisis descriptivo por subgrupos y un análisis inferencial para las comparaciones planificadas. Para la comparación de medias se utilizó la prueba t de Welch entre grupos independientes y se reportó el valor p ajustado por Holm para controlar la multiplicidad. Como control de robustez, las conclusiones cualitativas fueron concordantes con Mann-Whitney.

Análisis Entre Resinas Evaluadas Ena Hri Vs Z350 Xt

El análisis post hoc de Tukey mostró que las diferencias significativas se concentraron principalmente entre los grupos de distinta resina (**Tabla 6**), en general, los grupos de Filtek Z350 XT presentaron mayores valores de microdureza que los de ENA HRi, lo que indica una mayor resistencia superficial. Los valores medios más altos correspondieron a los grupos de

Filtek Z350 XT (77.81 ± 3.82 HV), mientras que los más bajos se registraron en los grupos de ENA Hri (58.67 ± 3.65 HV).

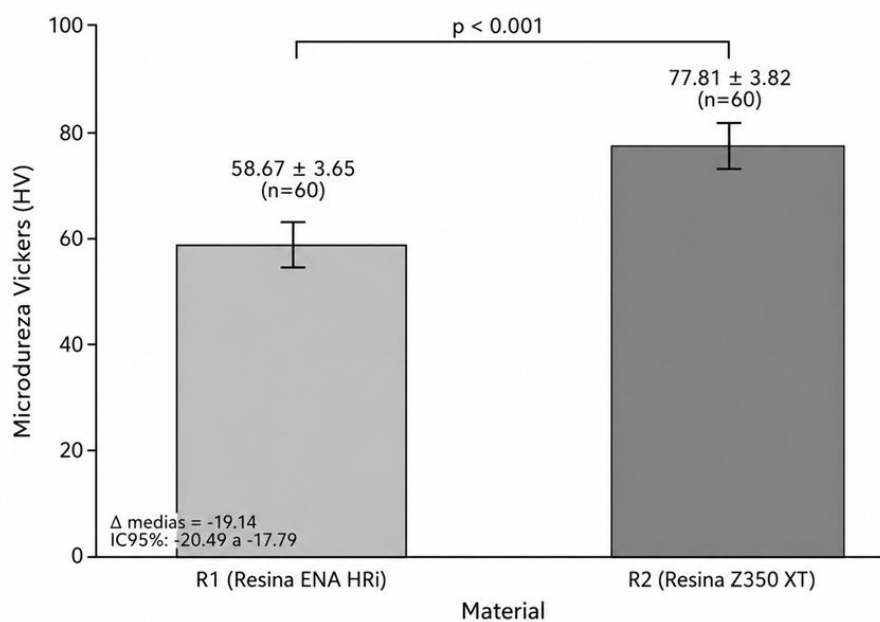
Tabla 6

Análisis entre resinas evaluadas R1 (Resina ENA Hri) vs R2 (Resina Z350 XT)

Comparación	Grupo 1 (media \pm DE)	Grupo 2 (media \pm DE)	Dif. medias	IC95%	P crudo	P Holm	Interpretación
R1 (Resina ENA Hri) vs R2 (Resina Z350 XT)	58.67 \pm 3.65 (n=60)	77.81 \pm 3.82 (n=60)	-19.14	-20.49 a -17.79	<0.001	<0.001	Diferencia significativa tras ajuste Holm

La resina (R2) Z350 XT mostró una microdureza claramente superior a la resina (R1) ENA Hri (**Figura 2**), la diferencia de medias fue de -19.14 kg/mm² al calcularse como R1 - R2, con IC95% de -20.49 a -17.79 y significancia que se mantuvo tras el ajuste por Holm.

Figura 2 Comparación global de la microdureza Vickers entre los grupos experimentales según tipo de resina



Análisis En Relación Al Precalementamiento

Se observó una tendencia a mayor microdureza con precalementamiento en R1 (Resina ENA HRi) y R2 (Resina Z350 XT), pero dicha señal fue débil al controlar las comparaciones mediante el ajuste de Holm (**Tabla 7**), en la comparación global sin precalementamiento vs con precalementamiento no mostró diferencia significativa. El efecto del precalementamiento en R1 sugirió mayor microdureza en los grupos con precalementamiento; sin embargo, esta diferencia no se mantuvo tras el ajuste por Holm. En R2, la comparación mostró el comportamiento similar donde la diferencia significativa no persistió después del ajuste por comparaciones múltiples.

Tabla 7

Análisis entre resina nanohíbrida ENA HRi y de nanorelleno Z350 XT con y sin precalementamiento.

Comparación	Grupo 1 (media ± DE)	Grupo 2 (media ± DE)	Dif. medias	IC95%	p crudo	p Holm	Interpretación
R1-sP + R2-sP + R1-sPT + R2-sPT vs R1-cP + R2-cP + R1-cPT + R2-cPT	67.16 ± 10.21 (n=60)	69.31 ± 10.37 (n=60)	-2.15	-5.87 a 1.57	0.255	0.416	No significativa
R1-sP + R1-sPT vs R1-cP + R1-cPT	57.63 ± 3.84 (n=30)	59.70 ± 3.19 (n=30)	-2.07	-3.89 a -0.24	0.027	0.113	Significativa sin ajuste; no se mantiene tras Holm
R2-sP + R2-sPT vs R2-cP + R2-cPT	76.69 ± 3.10 (n=30)	78.92 ± 4.18 (n=30)	-2.23	-4.14 a -0.33	0.023	0.113	Significativa sin ajuste; no se mantiene tras Holm

Análisis En Relación Al Termociclado

En estas comparaciones agrupadas, el termociclado no mostró un efecto significativo (**Tabla 8**). La comparación global sin termociclado vs con termociclado no mostró diferencia significativa. Cuando el efecto del termociclado fue evaluado por separado en cada resina, no se identificaron diferencias estadísticamente significativas en R1 ni en R2, lo que sugiere que la respuesta al envejecimiento térmico no fue uniforme ni suficientemente marcada dentro de cada material.

Tabla 8

Análisis entre resina nanohíbrida ENA HRi y de nanorelleno Z350 XT con y sin termociclado.

Comparación	Grupo 1 (media ± DE)	Grupo 2 (media ± DE)	Dif. medias	IC95%	p crudo	p Holm	Interpretación
R1-sP, R1-cP, R2-sP, R2-cP Vs R1-sPT, R1-cPT, R2-sPT, R2-cPT	67.53 ± 10.30 (n=60)	68.94 ± 10.35 (n=60)	-1.42	-5.15 a 2.32	0.454	0.454	No significativa
R1-sP + R1-cP vs R1-sPT + R1-cPT	57.97 ± 3.96 (n=30)	59.37 ± 3.23 (n=30)	-1.40	-3.27 a 0.47	0.139	0.416	No significativa
R2-sP + R2-cP vs R2-sPT + R2-cPT	77.09 ± 3.30 (n=30)	78.52 ± 4.21 (n=30)	-1.43	-3.39 a 0.53	0.149	0.416	No significativa

Discusión

Los hallazgos del presente estudio evidenciaron diferencias en la microdureza Vickers entre los grupos experimentales, observándose que estas variaciones estuvieron determinadas principalmente por el tipo de resina evaluada. En términos descriptivos, los grupos elaborados con ENA HRi presentaron valores de microdureza entre 56.27 y 59.00 HV,

mientras que los grupos de Filtek Z350 XT registraron valores entre 76.47 y 80.87 HV. En conjunto, estos resultados indican que, bajo las condiciones del presente estudio, la composición intrínseca del material ejerció una influencia mayor sobre la microdureza superficial que las condiciones térmicas evaluadas.

Esta interpretación resulta coherente con (Kahnamouei et al., 2024), quienes señalaron que las diferencias en microdureza dependen en gran medida de la composición del material más que del protocolo térmico por sí solo. En ese mismo sentido, los resultados del presente estudio respaldan que la dureza superficial de los composites está fuertemente condicionada por variables estructurales intrínsecas, como la naturaleza de la matriz orgánica, el contenido y tipo de relleno, el tamaño y la distribución de las partículas (Păstrav et al., 2024). Desde esta perspectiva, la respuesta mecánica observada no puede atribuirse de manera aislada al precalentamiento o al envejecimiento térmico, sino a la interacción de estos factores con la arquitectura propia de cada material.

Esta observación adquiere particular relevancia porque, aunque el objetivo del estudio se centró en una resina nanohíbrida como ENA HRi Micerium, se incorporó adicionalmente una resina de nanorrelleno, Filtek Z350 XT, como material comparativo, lo que permitió contrastar la respuesta de dos arquitecturas distintas frente al precalentamiento y al envejecimiento artificial (L. Zhang et al., 2021). En consecuencia, los resultados sugieren que la composición del material constituyó el principal determinante de la microdureza superficial observada, mientras que los factores térmicos actuaron como moduladores secundarios de ese comportamiento, que no influyeron sobre la microdureza Vickers estudiada.

En cuanto al precalentamiento, el modelo factorial detectó un efecto principal significativo de esta variable. Sin embargo, Las comparaciones específicas mostraron que

dicho efecto no fue homogéneo en todas las combinaciones experimentales tras realizar el ajuste de Holm. El único cambio se observó en ENA HRi sin termociclado, donde el precalentamiento produjo un incremento significativo de la microdureza +3.94 HV. En las demás comparaciones, en cambio, el comportamiento fue más discreto o no conservó significación tras el ajuste por comparaciones múltiples. Estos hallazgos sugieren que el precalentamiento puede favorecer la microdureza superficial en condiciones particulares, pero no produce una mejora uniforme en todos los materiales ni en todos los escenarios experimentales. En este sentido, (Hajjaj et al., 2025) observando diferencias significativas en propiedades mecánicas tras el precalentamiento y el envejecimiento artificial al evaluar Filtek Z350 XT, Proclinic y el cemento resinoso autoadhesivo RelyX U200, entre ellos, Filtek Z350 XT presentó los valores más altos de microdureza. Esta coincidencia refuerza la interpretación de que la respuesta al precalentamiento está estrechamente condicionada por la composición del material, y no solo por el procedimiento térmico en sí mismo. Desde una perspectiva mecanística, esta respuesta puede explicarse porque el aumento de temperatura reduce la viscosidad de la resina, favorece la movilidad de los monómeros y puede incrementar la eficiencia de conversión durante la polimerización (Dunavári et al., 2022). En teoría, ello debería promover la formación de una red polimérica más estable y con mejores propiedades mecánicas. No obstante, los resultados del presente estudio muestran que este beneficio potencial no se expresa de forma homogénea en todos los materiales ni persiste necesariamente después del envejecimiento artificial. De forma complementaria (Fajardo et al., 2025), informaron que el precalentamiento puede incrementar la dureza superficial de determinadas resinas compuestas al optimizar su comportamiento durante la polimerización. Asimismo, (Poubel et al., 2024) demostraron que esta estrategia reduce la viscosidad del material, respaldando su utilidad clínica para mejorar la adaptación y la manipulación.

Respecto al comportamiento a lo largo del tiempo, se observó que las comparaciones agrupadas dentro de cada material no mostraron diferencias significativas tras el ajuste correspondiente, lo que sugiere que el impacto del envejecimiento térmico no fue uniforme ni suficientemente intenso como para modificar de manera consistente la microdureza en todos los escenarios analizados. En consecuencia, los hallazgos indican que la estabilidad de la dureza superficial dependió principalmente de las características intrínsecas del composite, mientras que el envejecimiento térmico actuó como un factor secundario que no influye sobre la microdureza Vicker.

El termociclado se empleó como un método de envejecimiento artificial para simular los cambios térmicos a los que se exponen las restauraciones en el entorno oral (El-Rashidy et al., 2023). Se ha reportado que un protocolo de 10,000 ciclos puede simular aproximadamente un año de servicio clínico, lo que respalda su empleo para valorar la estabilidad de propiedades del material bajo condiciones más cercanas al desempeño intraoral (El-Rashidy et al., 2022). El estudio de (Hijazi et al., 2025), evaluó resinas universales como Omnicroma y OneShade, donde reportó una disminución de la microdureza Vickers tras el envejecimiento térmico; sin embargo, las diferencias en la composición y el tipo de material evaluado sugieren que la magnitud de este efecto puede variar según las características específicas de cada resina.

Desde una perspectiva clínica, esto sugiere que la selección del material podría ejercer una influencia más decisiva sobre la estabilidad superficial de la restauración que la aplicación aislada de un protocolo de precalentamiento. Por ello, futuras investigaciones deberían ampliar el tamaño muestral, incorporar otras pruebas mecánicas complementarias y avanzar hacia estudios clínicos que permitan establecer si las ventajas observadas *in vitro* se traducen en un mejor desempeño restaurador a largo plazo.

Conclusiones

Bajo las condiciones del presente estudio, la microdureza Vickers de las resinas compuestas evaluadas estuvo determinada principalmente por el tipo de material. Filtek Z350 XT presentó valores de microdureza superiores a ENA HRi en todas las combinaciones experimentales analizadas, lo que indica que la composición del composite desempeñó un papel predominante en la respuesta mecánica observada.

El precalentamiento y el termociclado mostraron efectos de menor magnitud, pero no influyo significativamente en comparación con el tipo de resina. Aunque ambas variables alcanzaron significación en el análisis factorial, su comportamiento no fue uniforme en todas las condiciones experimentales, lo que sugiere que su influencia depende de la combinación específica entre material y protocolo térmico.

El único contraste asociado al precalentamiento se observó en ENA HRi sin termociclado, donde se registró un incremento significativo de la microdureza +3.94 HV. Sin embargo, este efecto no se reprodujo de manera homogénea en el resto de los grupos, lo que indica que el beneficio del precalentamiento no puede considerarse generalizable para todos los composites evaluados.

En relación con el envejecimiento artificial, el termociclado no mostró una influencia sobre la microdureza superficial. Aunque su efecto fue estadísticamente detectable en el análisis global, no produjo cambios consistentes dentro de cada material tras el ajuste por comparaciones múltiples, lo que refuerza la idea de que la estabilidad de esta propiedad depende principalmente de las características intrínsecas del composite.

En conjunto, los hallazgos sugieren que la selección del material restaurador ejerce una influencia más decisiva sobre la microdureza superficial que la aplicación aislada de protocolos de precalentamiento o envejecimiento térmico. Por ello, futuras investigaciones

deberían ampliar el tamaño muestral, incorporar otras propiedades mecánicas y fisicoquímicas en los análisis comparativos, y avanzar hacia estudios clínicos que permitan establecer la relevancia de estos hallazgos *in vitro* en el desempeño restaurador a largo plazo.

Referencias

- Alharbi, G., Al Nahedh, H. N. A., Al-Saud, L. M., Shono, N., & Maawadh, A. (2024). Effect of different finishing and polishing systems on surface properties of universal single shade resin-based composites. *BMC Oral Health*, *24*(1), 1–2. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03958-8>
- Cho, K., Rajan, G., Farrar, P., Prentice, L., & Prusty, B. G. (2022). Dental resin composites: A review on materials to product realizations. In *Composites Part B: Engineering* (Vol. 230, pp. 1–2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.109495>
- Dionysopoulos, D., & Gerasimidou, O. (2021). Wear of contemporary dental composite resin restorations: a literature review. *Restorative Dentistry & Endodontics*, *46*(2), 1. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e18>
- Dunavári, E., Berta, G., Kiss, T., Szalma, J., Fráter, M., Böddi, K., & Lempel, E. (2022). Effect of Pre-Heating on the Monomer Elution and Porosity of Conventional and Bulk-Fill Resin-Based Dental Composites. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(24), 10–13. <https://doi.org/10.3390/ijms232416188>
- Elfakhri, F., Alkahtani, R., Li, C., & Khaliq, J. (2022). Influence of filler characteristics on the performance of dental composites: A comprehensive review. In *Ceramics International* (Vol. 48, Number 19, pp. 27280–27282). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.314>
- El-Rashidy, A. A., Abdelraouf, R. M., & Habib, N. A. (2022). Effect of two artificial aging protocols on color and gloss of single-shade versus multi-shade resin composites. *BMC Oral Health*, *22*(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02351-7>

- El-Rashidy, A. A., Shaalan, O., Abdelraouf, R. M., & Habib, N. A. (2023). Effect of immersion and thermocycling in different beverages on the surface roughness of single- and multi-shade resin composites. *BMC Oral Health*, *23*(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03069-w>
- Fajardo, J. I., Paltán, C. A., Armas-Vega, A., Campanella-Maldonado, C., & Requena-Cisneros, S. (2025). Material-Dependent Microhardness Response to Preheating in Nanoparticulate Composite Resins Cured with High-Intensity Light. *Dentistry Journal*, *13*(9), 1–3. <https://doi.org/10.3390/dj13090403>
- Hajjaj, M. S., Alhowirini, L. F., Alghamdi, R. S., Merdad, Y. M., Filemban, H. K., Bawazir, M., Alothman, K. A., Turkestani, N. Al, & Alzahrani, S. J. (2025). Effects of Preheating on the Mechanical Properties of Dental Composites. *Crystals*, *15*(7), 8. <https://doi.org/10.3390/cryst15070632>
- Hamdy, T. M., Abdelnabi, A., Othman, M. S., Bayoumi, R. E., & Abdelraouf, R. M. (2023). Effect of Different Mouthwashes on the Surface Microhardness and Color Stability of Dental Nanohybrid Resin Composite. *Polymers*, *15*(4), 1. <https://doi.org/10.3390/polym15040815>
- Hijazi, K. M., Abo Elezz, A. F., & Ghonaim, A. F. (2025). Evaluation of color matching and microhardness of two different universal-shade resin composites: an invitro study. *BMC Oral Health*, *25*(1), 3–9. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-06424-1>
- Ilie, N. (2022). Comparison of modern light-curing hybrid resin-based composites to the tooth structure: Static and dynamic mechanical parameters. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, *110*(9), 2121–2132. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.35066>

- Kahnamouei, M. A., Bahari, M., Chaharom, M. E. E., Kimyai, S., Daneshpooy, M., Katebi, K., & Elhami, B. (2024). The effect of preheating on microhardness and flexural strength of bulk-fill resin composites: an in-vitro study. *European Oral Research*, 58(3), 133–138. <https://doi.org/10.26650/eor.20231302012>
- Lousan Do Nascimento Poubel, D., Ghanem Zanon, A. E., Franco Almeida, J. C., Vicente Melo De Lucas Rezende, L., & Pimentel Garcia, F. C. (2022). Composite Resin Preheating Techniques for Cementation of Indirect Restorations. In *International Journal of Biomaterials* (Vol. 2022, pp. 1–2). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2022/5935668>
- Mao, Z., Schmidt, F., Beuer, F., Yassine, J., Hey, J., & Prause, E. (2024). Effect of surface treatment strategies on bond strength of additively and subtractively manufactured hybrid materials for permanent crowns. *Clinical Oral Investigations*, 28(7), 1–3. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05767-3>
- Păstrav, M., Păstrav, O., Chisnoiu, A. M., Chisnoiu, R. M., Cuc, S., Petean, I., Saroși, C., & Feștilă, D. (2024). Properties of Nanohybrid Dental Composites—A Comparative In Vitro Study. *Biomedicines*, 12(1), 2. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12010243>
- Poubel, D. L. D. N., Da Silva, R. C., Ribeiro, A. P. D., & Garcia, F. C. P. (2024). Effect of preheating on the viscosity of composite resins. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 27(4), 360–365. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_75_23
- Temizci, T., & Bozoğulları, H. N. (2024). Effect of thermocycling on the mechanical properties of permanent composite-based CAD-CAM restorative materials

produced by additive and subtractive manufacturing techniques. *BMC Oral Health*, 24(1), 110–111. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04016-z>

Urcuyo Alvarado, M. S., Escobar García, D. M., Pozos Guillén, A. D. J., Flores Arriaga, J. C., Romo Ramírez, G. F., & Ortiz Magdaleno, M. (2020). Evaluation of the bond strength and marginal seal of indirect restorations of composites bonded with preheating resin. *European Journal of Dentistry*, 14(4), 644–646. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1716630>

Uribe-Hernández, L., Latorre-Correa, F., Perea-Lowery, L., & Ardila, C. M. (2024). Effect of preheating and curing lamp distance on the degree of conversion of four nanohybrid resins: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 16(8), e976–e977. <https://doi.org/10.4317/jced.61769>

Wang, L., Ku, H., Kim, D., & Park, S. H. (2024). Effect of shade and thickness on the microhardness of resin-based composite specimens at different points considering curing light beam's inhomogeneity. *BMC Oral Health*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04647-2>

Zhang, J., Yang, Y., Chen, Y., Chen, X., Li, A., Wang, J., Shen, D., & Zheng, S. (2024). A review of new generation of dental restorative resin composites with antibacterial, remineralizing and self-healing capabilities. In *Discover Nano* (Vol. 19, Number 1, p. 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s11671-024-04151-0>

Zhang, L., Yu, P., & Wang, X. Y. (2021). Surface roughness and gloss of polished nanofilled and nanohybrid resin composites. *Journal of Dental Sciences*, 16(4), 1199. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.03.003>