



Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

Efectividad del pulido sobre la rugosidad de las superficies de los composites nanohíbridas.

**Trabajo de Titulación para la obtención del Título de Especialista en Operatoria Dental y
Estética**

Presentada por:

Johanna Elizabeth Almeida Sandoval

Tutor:

Dr. Cristian Fernando Sánchez Puetate

Quito, mayo 2026

Declaración de aceptación de norma ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este 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.

Nombre: Johanna Elizabeth Almeida Sandoval

Cedula: 1723685812

Dedicatoria

Mi artículo está dedicado primeramente a Dios, porque me dio la oportunidad y el don para poder seguir esta carrera que puso en mi camino, además agradezco infinitamente al esfuerzo, dedicación y trabajo de mis padres, que siempre me han apoyado en todo momento ellos han sido mi ejemplo de disciplina liderazgo y de conseguir todo lo que me proponga, a mis hermanos que siempre ha estado pendiente en todo momento apoyándome, y siendo mis guías para seguir mi camino de lucha en esta profesión

Pero en especial me agradezco a mí misma, por ser perseverante que, a pesar de tantas caídas, aprendí a salir de cada una de las dificultades presentes en estos dos años de carrera y por el amor que tengo a esta profesión, cumplí con mi objetivo de ser especialista.

Índice de contenido

Índice de contenido	4
Índice de figuras	5
Índice de tablas.....	6
Efectividad del pulido sobre la rugosidad de las superficies de los composites nanohíbridadas.	7
Resumen	7
Abstract	8
Introducción	8
Materiales y métodos	10
Materiales utilizados.....	11
Preparación de los especímenes y protocolo de pulido	12
Evaluación de la rugosidad superficial y microdureza.....	14
Análisis estadístico	15
Hallazgos.....	16
Discusión.....	28
Conclusiones	31
Referencias	33

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de flujo del procedimiento de preparación, almacenamiento y pulido de los especímenes de resina compuesta nanohíbrida.	13
Figura 2 Valores promedio de rugosidad superficial (Ra) en resinas Herculite y Empress según el protocolo de pulido aplicado.	19
Figura 3 Comparación de los valores medios de Rz para las diferentes combinaciones de resinas y protocolos de pulido.	200
Figura 4 Representación gráfica de los valores medios de Rt en función del protocolo de pulido aplicado sobre los dos materiales.	211
Figura 5 Dispersión de los valores promedio de rugosidad superficial Ra (μm) con desviación estándar, según el tipo de resina compuesta y el sistema de pulido aplicado.	244
Figura 6 Gráfico de comparaciones múltiples basado en la prueba de Tukey para los valores de rugosidad superficial Ra entre los grupos experimentales.	266
Figura 7 Comparación de microdureza Vickers (VHN) según tipo de resina y sistema de pulido.	288

Índice de tablas

Tabla 1 Valores medios de rugosidad superficial (Ra, Rz y Rt) en resinas compuestas Herculite y Empress tras la aplicación de diferentes protocolos de pulido.....	17
Tabla 2 Análisis estadístico de rugosidad superficial (media \pm desviación estándar) para los parámetros Ra, Rz y Rt en cada grupo experimental.	22
Tabla 3 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para comparar los valores medios de rugosidad superficial Ra entre los diferentes grupos experimentales.....	23
Tabla 4 Comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey para los valores de rugosidad superficial Ra entre los distintos grupos experimentales.	25
Tabla 5 Valores promedio de microdureza Vickers (VHN) \pm desviación estándar según tipo de resina y protocolo de pulido aplicado.	27

Efectividad del pulido sobre la rugosidad de las superficies de los composites nanohíbridas.

Johanna Elizabeth Almeida Sandoval

jealmeidas@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

La rugosidad superficial y la micro dureza de las resinas compuestas influyen directamente en la estética, longevidad y resistencia clínica de las restauraciones. Superficies rugosas favorecen la adhesión bacteriana, mientras que una adecuada micro dureza mejora la durabilidad funcional. Este estudio tuvo como finalidad comparar el efecto de dos sistemas de pulido sobre la rugosidad superficial y la micro dureza de dos resinas compuestas nano híbridas. Se evaluaron combinaciones entre dos resinas (Herculite Precis y Empress Direct) y dos sistemas de pulido (3M Sof-Lex y EVE Twist – Diacom). La rugosidad se midió mediante rugosímetro (Ra, Rz, Rt) y la micro dureza tipo Vickers con un microdurómetro digital. Los datos fueron analizados con ANOVA y prueba post hoc de Tukey, estableciendo un nivel de significancia de $p < 0.05$. El sistema Sof-Lex mostró mejores resultados en rugosidad, especialmente sobre la resina Empress, mientras que el sistema EVE evidenció diferencias en los valores de microdureza. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos evaluados. Se concluye que el sistema de pulido influye de forma significativa sobre las propiedades físicas de las resinas compuestas, siendo Sof-Lex el que demostró mayor compatibilidad con Empress, mejorando la calidad de la superficie y su desempeño clínico.

Palabras clave: Resinas compuestas; Pulido dental; Rugosidad superficial; micro dureza.

Abstract

Surface roughness and microhardness of composite resins directly influence the aesthetics, longevity, and clinical resistance of restorations. Rough surfaces promote bacterial adhesion, while adequate microhardness enhances functional durability. This study aimed to compare the effect of two polishing systems on the surface roughness and microhardness of two nanohybrid composite resins. Combinations of two resins (Herculite Precis and Empress Direct) and two polishing systems (3M Sof-Lex and EVE Twist – Diacomp) were evaluated. Roughness was measured using a profilometer (Ra, Rz, Rt), and Vickers microhardness was assessed with a digital microhardness tester. Data were analyzed using ANOVA and Tukey's post hoc test, with a significance level set at $p < 0.05$. The Sof-Lex system showed better results in both roughness and microhardness, particularly with the Empress resin, while the EVE system demonstrated lower effectiveness. Statistically significant differences were found among the evaluated groups. It is concluded that the polishing system significantly influences the physical properties of composite resins, with Sof-Lex demonstrating greater compatibility with Empress, thereby improving surface quality and clinical performance.

Keywords: Composite resins; Dental polishing; Surface roughness; Microhardness.

Introducción

El éxito de los tratamientos restaurativos en odontología no solo depende de la habilidad clínica del operador, sino también de la elección adecuada de los materiales y de los protocolos implementados durante su manipulación. Las resinas compuestas nano híbridas han ganado creciente aceptación en la práctica odontológica debido a su equilibrio entre propiedades

estéticas, resistencia mecánica y facilidad de manejo, lo que las convierte en una opción frecuente para restauraciones directas tanto en sectores anteriores como posteriores (Angerame & De Biasi, 2018).

Sin embargo, uno de los principales desafíos asociados con la longevidad de estas restauraciones es el acabado superficial posterior al procedimiento restaurador. Una superficie rugosa favorece la acumulación de placa bacteriana, la pigmentación extrínseca del material y el deterioro progresivo del sellado marginal, comprometiendo no solo la estética sino también la salud periodontal (Lu et al., 2005; Park et al., 2019). La rugosidad superficial, habitualmente evaluada mediante los parámetros Ra, Rz y Rt, se ve influenciada por diversos factores como el tipo de resina empleada, el proceso de fotopolimerización y, especialmente, el sistema de acabado y pulido utilizado (Cazzaniga et al., 2017). Estudios previos han demostrado que el uso de protocolos de pulido adecuados puede reducir significativamente la rugosidad de las superficies restauradas, disminuyendo la adhesión bacteriana y mejorando el comportamiento clínico del material (Pereira et al., 2011; Engel et al., 2020).

Además, la textura superficial también incide directamente en la capacidad del material para resistir la colonización microbiana. Bacterias como *Streptococcus mutans*, conocidas por su alta afinidad por superficies rugosas, tienen un rol determinante en el desarrollo de lesiones secundarias y formación de biopelículas cariogénicas (Krzyściak et al., 2013; Vo et al., 2015). Por esta razón, optimizar las propiedades superficiales mediante un adecuado protocolo de pulido no solo mejora la estética de la restauración, sino que también representa una estrategia preventiva en el control del riesgo cariogénico.

En complemento a estas propiedades superficiales, la micro dureza es otro parámetro clave para evaluar el comportamiento mecánico de los materiales restauradores. La resistencia de

una resina compuesta a la deformación permanente bajo carga es fundamental para su durabilidad clínica, especialmente en zonas sometidas a fuerzas oclusales. Estudios recientes han demostrado que tanto la composición de la resina como el sistema de acabado utilizado pueden afectar significativamente los valores de micro dureza obtenidos (Korkmaz et al., 2008; Luz Clarita et al., 2023; Contreras et al., 2015).

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de dos sistemas de pulido sobre la rugosidad superficial y la microdureza de dos resinas compuestas nanohíbridas de uso clínico frecuente, mediante un modelo experimental in vitro que permita estandarizar las condiciones de análisis y proporcionar resultados reproducibles, con implicaciones clínicas para la selección de protocolos restaurativos más eficaces.

Materiales y métodos

Este estudio se diseñó como un experimento in vitro, con el objetivo de evaluar el efecto de dos sistemas de pulido sobre la rugosidad superficial de dos resinas compuestas nanohíbridas de uso clínico. Se elaboraron seis especímenes en total, distribuidos según la combinación entre el tipo de resina y el protocolo de pulido aplicado.

La elección del modelo in vitro permitió controlar variables externas y establecer condiciones reproducibles, eliminando interferencias propias del entorno oral, como la humedad, temperatura o carga oclusal (Patras et al., 2011; Astudillo-Rubio et al., 2018; Giti et al., 2021).

Como variables de respuesta se analizaron tres parámetros de rugosidad: **Ra** (promedio de irregularidades respecto a la línea central), **Rz** (promedio de los cinco picos y valles más pronunciados) y **Rt** (distancia entre el punto más alto y más bajo de la superficie). Estos

indicadores permiten una evaluación integral de la textura obtenida tras cada protocolo de acabado.

Todos los procedimientos se realizaron bajo condiciones estandarizadas de laboratorio, cumpliendo con los principios éticos y metodológicos aplicables a investigaciones con biomateriales odontológicos.

Materiales utilizados

Para el desarrollo del presente estudio se seleccionaron dos resinas compuestas nanohíbridas de uso clínico frecuente: Herculite Precis (Kerr, EE. UU.) e IPS Empress Direct (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein). Ambas presentan propiedades estéticas estables, alta resistencia mecánica y un comportamiento clínico confiable en restauraciones directas tanto en sectores anteriores como posteriores. Estas formulaciones incorporan una matriz orgánica reforzada con partículas inorgánicas de tamaño nanométrico, lo que favorece su resistencia al desgaste y mejora su capacidad de respuesta al pulido (Krzyściak et al., 2013; Rosenstiel et al., 2015).

En relación con los sistemas de acabado, se emplearon dos protocolos rotatorios basados en espirales abrasivas:

- 3M Sof-Lex Spiral Wheels (3M ESPE, EE. UU.): sistema de dos pasos que incluye espirales impregnadas con óxido de aluminio para el pre-pulido y partículas de diamante para el pulido final.
- EVE Twis-Diacomp (EVE Ernst Vetter GmbH, Alemania): compuesto por espirales de grano medio y grano fino, diseñados para una secuencia progresiva de acabado.

Se fabricaron un total de seis especímenes, distribuidos en dos grupos experimentales de acuerdo con el tipo de resina. Cada grupo incluyó tres condiciones: un espécimen sin tratamiento de superficie (control negativo), uno pulido con el sistema 3M Sof-Lex, y otro tratado con el sistema EVE Twis-Diacomp.

Este esquema experimental permitió comparar la efectividad de ambos protocolos de pulido en la modificación de la rugosidad superficial de las resinas evaluadas, así como analizar la interacción entre el tipo de material restaurador y la técnica de acabado aplicada.

Preparación de los especímenes y protocolo de pulido

Para la elaboración de los especímenes, se emplearon moldes fabricados mediante tecnología de impresión 3D por deposición de filamento fundido (FFF), utilizando ácido poliláctico (PLA) como material base, debido a su estabilidad dimensional y adecuada biocompatibilidad. Cada molde fue diseñado con una cavidad cónica de 8 mm de diámetro, 2,5 mm de profundidad y una conicidad de 10 grados, configuración que permitió simular condiciones clínicas controladas durante el proceso experimental.

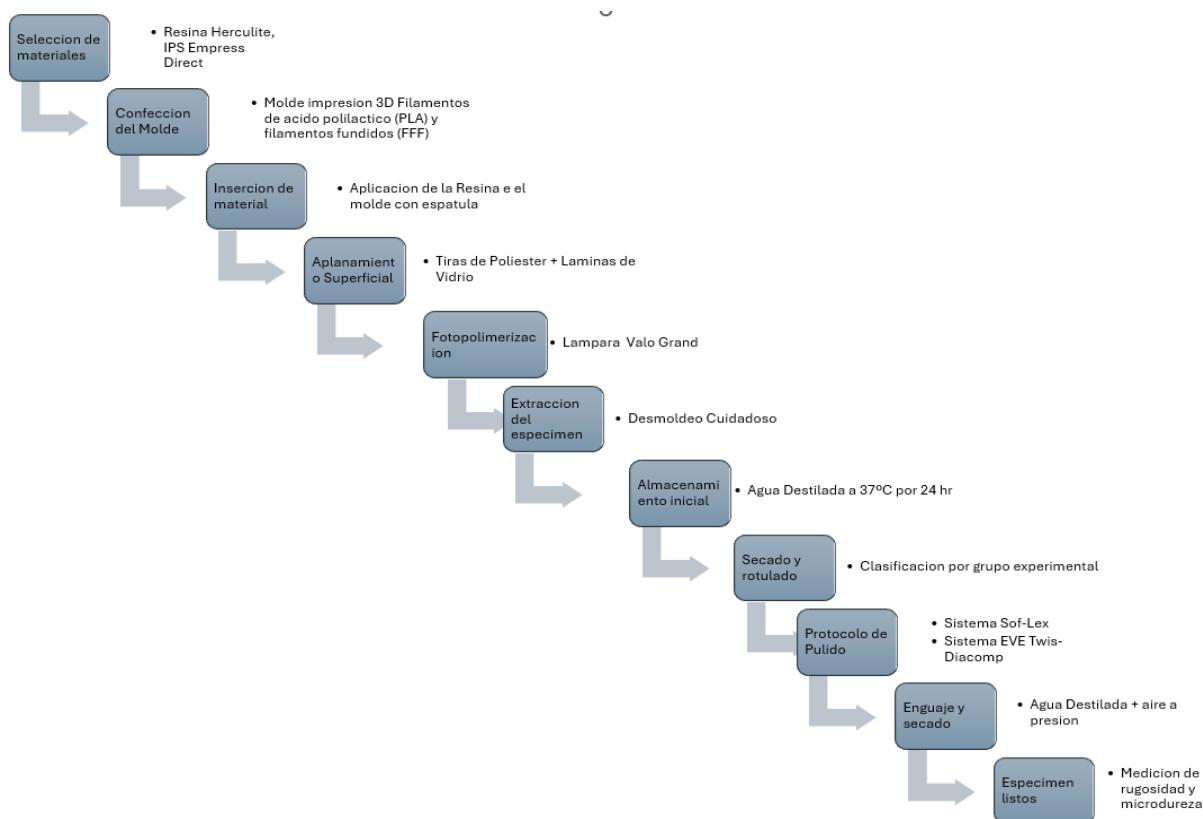
Las resinas compuestas nanohíbridas seleccionadas (Herculite Precis e IPS Empress Direct) fueron manipuladas siguiendo estrictamente las recomendaciones del fabricante. El material fue colocado en una sola capa dentro de los moldes utilizando una espátula plástica, con el fin de evitar la incorporación de burbujas de aire. Sobre cada molde se dispusieron tiras de poliéster y láminas de vidrio aplicadas con presión leve, para lograr una superficie uniforme y libre de irregularidades.

La fotopolimerización se llevó a cabo con una lámpara Valo Grand (Ultradent, EE. UU.), utilizando el modo Extra Power (3200 mW/cm^2) durante 40 segundos por cada cara, manteniendo

una orientación perpendicular y una distancia constante respecto a la superficie del espécimen. Una vez completado el curado, las muestras fueron retiradas cuidadosamente de los moldes y almacenadas en agua destilada a 37 °C por 24 horas, simulando condiciones intraorales previas al tratamiento de pulido. Finalmente, se procedió al secado y rotulación de cada muestra, asignándola a su grupo experimental correspondiente. La Figura 1 presenta un diagrama de flujo que sintetiza de forma ordenada cada una de las etapas del proceso, desde la selección del material hasta el almacenamiento final de los especímenes previo al procedimiento de acabado.

Figura 1

Diagrama de flujo del procedimiento de preparación, almacenamiento y pulido de los especímenes de resina compuesta nano híbrida



Fuente: Elaboración propia.

De los seis especímenes elaborados para cada grupo, cuatro fueron sometidos a procedimientos de pulido, mientras que los dos restantes se conservaron sin intervención, actuando como grupos control. Cada uno de los especímenes intervenidos fue tratado con uno de los dos sistemas abrasivos seleccionados.

En el grupo asignado al sistema Sof-Lex Spiral Wheels (3M ESPE), se aplicaron espirales impregnadas con óxido de aluminio para el pre-pulido y con partículas de diamante para el pulido final, en una secuencia de dos etapas consecutivas. Para el grupo correspondiente al sistema EVE Twis-Diacomp, se utilizaron espirales de grano medio y grano fino, también aplicadas en dos fases sucesivas. Ambos procedimientos fueron realizados con un micromotor rotatorio a 5.000 rpm, empleando presión ligera y movimientos uniformes durante 20 segundos por etapa, siguiendo estrictamente las indicaciones de cada fabricante.

Después de cada fase de aplicación, las espirales fueron lavadas con agua destilada y secadas con aire a baja presión, con el fin de evitar contaminación cruzada y mantener la homogeneidad de las superficies. Todas las intervenciones fueron ejecutadas por un único operador previamente calibrado, lo que permitió controlar la variabilidad técnica y asegurar la estandarización del acabado previo a las evaluaciones.

Evaluación de la rugosidad superficial y microdureza

Tras finalizar el protocolo de preparación y pulido, los especímenes fueron evaluados en cuanto a su rugosidad superficial utilizando un rugosímetro de contacto Mitutoyo SurfTest SJ-210 (Japón). Para garantizar la estabilidad durante el registro, cada muestra fue colocada sobre una base rígida y nivelada. Previo a cada sesión de medición, el dispositivo fue calibrado, estableciendo un cut-off de 0,8 mm, una longitud de evaluación de 4 mm y una velocidad de escaneo de 0,5 mm/s. Se realizaron tres lecturas en distintos puntos de la superficie de cada

espécimen, y el promedio de estas se consideró como el valor final. Este procedimiento permitió caracterizar con precisión los cambios topográficos inducidos por los distintos sistemas de acabado (Tupinambá et al., 2018; Gantz et al., 2021).

En una segunda fase, se determinó la microdureza Vickers (VHN) utilizando un microdurómetro digital Shimadzu HMV-G20. Cada espécimen fue alineado cuidadosamente bajo el indentador, aplicando una carga de 200 gramos durante 15 segundos, conforme a los estándares internacionales para el análisis de materiales restauradores. Se realizaron tres indentaciones por muestra, distribuidas uniformemente en áreas centrales alejadas de los bordes, con el fin de minimizar sesgos en la medición. El valor medio de estas tres impresiones fue registrado como la microdureza representativa de cada grupo (Dos Reis Goyatá et al., 2019).

Las evaluaciones de rugosidad superficial y microdureza fueron realizadas por un solo operador, previamente calibrado, con el objetivo de reducir al mínimo la variabilidad interobservador. Todos los valores obtenidos fueron sistematizados, codificados y archivados de forma ordenada para su análisis estadístico posterior.

Análisis estadístico

El procesamiento de los datos correspondientes a las mediciones de rugosidad superficial (Ra) y microdureza Vickers (VHN) se llevó a cabo mediante el software estadístico IBM SPSS, versión 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.). Para verificar la distribución de los datos en cada grupo experimental, se aplicó inicialmente la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Al confirmarse una distribución normal de los datos, se procedió a utilizar un enfoque estadístico paramétrico, mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un solo factor, con el fin de comparar las medias obtenidas entre los seis grupos experimentales definidos por la

combinación entre tipo de resina y sistema de pulido. Para identificar diferencias específicas entre pares de grupos, se aplicó adicionalmente la prueba post hoc de Tukey.

El umbral de significancia estadística se fijó en $p < 0,05$. Este procedimiento permitió evaluar con precisión el efecto conjunto del material restaurador y del protocolo de acabado sobre las propiedades físicas estudiadas, ofreciendo fundamentos cuantitativos relevantes para su interpretación en el contexto clínico.

Hallazgos

En la Tabla 1 se presentan los valores medios de rugosidad superficial correspondientes a los parámetros Ra, Rz y Rt, obtenidos tras la aplicación de diferentes protocolos de pulido sobre dos resinas compuestas nanohíbridas: Herculite Precis e IPS Empress Direct. Cada valor medio representa la media aritmética de cinco mediciones por grupo experimental, lo que permite una evaluación comparativa entre las condiciones analizadas.

Los resultados muestran que los grupos control (sin tratamiento de pulido) presentaron valores elevados de rugosidad superficial. En el grupo Herculite control se registraron valores promedio de Ra = 0,84 μm , Rz = 3,45 μm y Rt = 4,65 μm , mientras que en el grupo IPS Empress Direct control los valores promedio fueron Ra = 0,78 μm , Rz = 3,17 μm y Rt = 4,73 μm .

Al comparar los protocolos de pulido, se observó que el sistema 3M Sof-Lex mostró mayor efectividad en la reducción de la rugosidad superficial en ambas resinas. En el grupo Herculite + 3M Sof-Lex, se obtuvieron valores promedio de Ra = 0,56 μm , Rz = 1,73 μm y Rt = 2,77 μm , mientras que en el grupo IPS Empress Direct + 3M Sof-Lex se registraron los valores más bajos de rugosidad superficial, con Ra = 0,43 μm , Rz = 2,37 μm y Rt = 3,22 μm .

Por su parte, el sistema EVE Twist-Diacomp mostró un comportamiento variable según el material evaluado. En Herculite + EVE Twist-Diacomp, se registraron valores promedio de Ra = 0,82 μm , Rz = 1,77 μm y Rt = 3,12 μm , evidenciando una reducción moderada respecto al control. Sin embargo, en IPS Empress Direct + EVE Twist-Diacomp, se observaron valores promedio de Ra = 1,11 μm , Rz = 2,97 μm y Rt = 4,93 μm , indicando una menor efectividad del protocolo sobre este material. En términos generales, los resultados sugieren que tanto el tipo de resina compuesta como el sistema de pulido influyen en la rugosidad superficial final, observándose un mejor desempeño del sistema 3M Sof-Lex, especialmente en la resina IPS Empress Direct.

Tabla 1

Valores medios de rugosidad superficial (Ra, Rz y Rt) en resinas compuestas Herculite y Empress tras la aplicación de diferentes protocolos de pulido.

Grupo experimental	Parámetro	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Medición 5	Medición 6	Media
Herculite (control)	Ra (μm)	0.69	1.16	0.79	0.89	0.55	0.96	0.84
	Rz (μm)	3.20	4.80	2.90	2.90	3.40	3.50	3.45
	Rt (μm)	3.80	5.40	4.40	4.30	4.60	5.40	4.65
Herculite + 3M Sof-Lex	Ra (μm)	0.52	0.62	0.53	0.58	0.58	0.53	0.56
	Rz (μm)	1.90	2.00	1.80	1.10	1.90	1.70	1.73
	Rt (μm)	2.80	3.10	2.60	1.50	3.70	2.90	2.77
Herculite + EVE Twist-Diacomp	Ra (μm)	0.81	0.63	0.48	0.79	1.60	0.62	0.82
	Rz (μm)	2.30	2.20	2.00	2.90	0.58	0.62	1.77
	Rt (μm)	3.40	3.30	2.40	4.00	2.20	3.40	3.12
IPS Empress Direct (control)	Ra (μm)	0.49	1.29	1.06	0.80	0.51	0.51	0.78
	Rz (μm)	2.70	4.10	2.70	3.10	2.50	3.90	3.17
	Rt (μm)	3.60	7.90	4.00	5.50	3.50	3.90	4.73
IPS Empress Direct + 3M Sof-Lex	Ra (μm)	0.38	0.46	0.48	0.39	0.41	0.44	0.43
	Rz (μm)	2.30	2.50	2.60	2.40	2.20	2.20	2.37
	Rt (μm)	3.40	3.00	3.30	3.10	3.50	3.00	3.22
IPS Empress Direct + EVE Twist-Diacomp	Ra (μm)	1.01	1.03	1.20	1.06	1.22	1.11	1.11
	Rz (μm)	3.10	2.30	2.70	2.90	3.30	3.50	2.97
	Rt (μm)	5.60	5.10	4.20	4.50	5.30	4.90	4.93

Fuente: Elaboración propia.

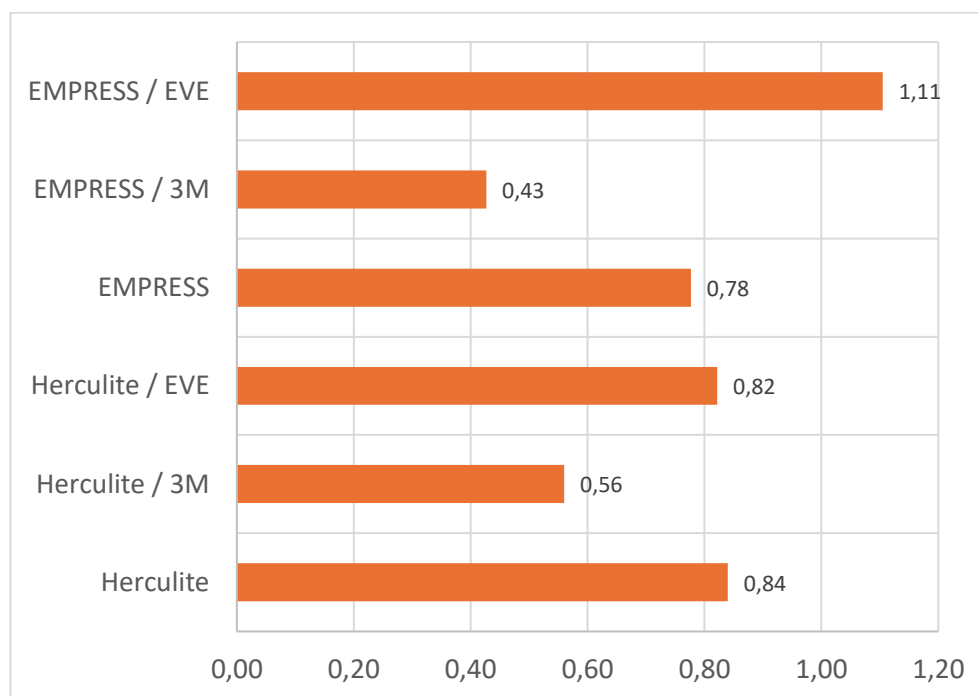
Estos resultados respaldan la eficacia de los sistemas de pulido evaluados en la mejora de la topografía superficial de las resinas compuestas, y reflejan una interacción significativa entre el tipo de resina y el protocolo aplicado, factores que afectan directamente la calidad final de la superficie restaurada.

Los valores promedio de rugosidad superficial (Ra) evidencian una influencia directa del protocolo de pulido sobre las características topográficas de ambas resinas evaluadas. La resina Herculite Precis mostró valores más elevados de Ra en comparación con IPS Empress Direct, particularmente en las condiciones sin tratamiento y tras la aplicación del sistema EVE Twis-Diacomp, lo que indica una menor efectividad en la reducción de irregularidades superficiales bajo estas condiciones.

Por el contrario, el sistema 3M Sof-Lex generó una disminución significativa en la rugosidad superficial en ambas resinas, alcanzando el valor más bajo en Empress (0,43 μm), lo que sugiere una mayor capacidad de alisado. Esta tendencia se representa en la Figura 2, donde se ilustran de forma comparativa los promedios de Ra para cada combinación de resina y protocolo, permitiendo visualizar con claridad la eficacia diferencial de los tratamientos aplicados.

Figura 2

Valores promedio de rugosidad superficial (Ra) en resinas Herculite y Empress según el protocolo de pulido aplicado



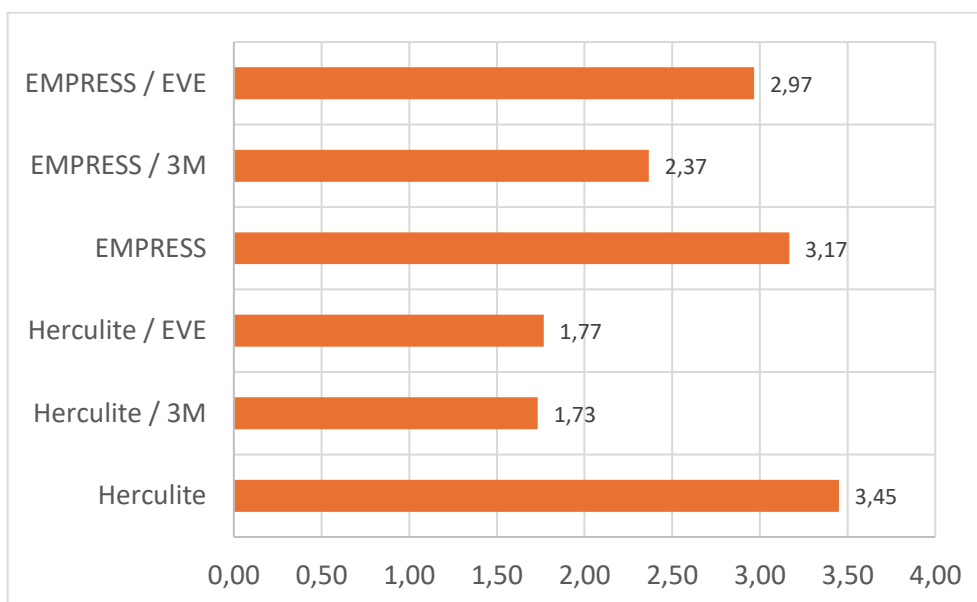
Fuente: Elaboración propia.

En relación con los valores medios de rugosidad máxima (Rz), se mantuvo el mismo comportamiento observado en el parámetro Ra. Los grupos tratados con el sistema 3M Sof-Lex registraron los niveles más bajos de rugosidad, destacándose especialmente Herculite / 3M (1,73 μm) y Empress / 3M (2,37 μm) frente a sus respectivos controles sin pulido, cuyos valores fueron más elevados (3,45 μm para Herculite y 3,17 μm para Empress). Asimismo, el sistema EVE mostró una reducción moderada, aunque con resultados menos favorables que 3M.

Tal como se aprecia en la Figura 3, las diferencias entre protocolos son consistentes para ambas resinas. Los sistemas de pulido aplicados lograron disminuir significativamente las irregularidades profundas de la superficie, lo que se traduce en una menor variabilidad topográfica. Estos hallazgos refuerzan la eficacia del acabado mecánico para optimizar la calidad superficial de los composites, especialmente en términos de control de los picos y valles característicos de una superficie rugosa.

Figura 3

Comparación de los valores medios de Rz para las diferentes combinaciones de resinas y protocolos de pulido.



Fuente: Elaboración propia.

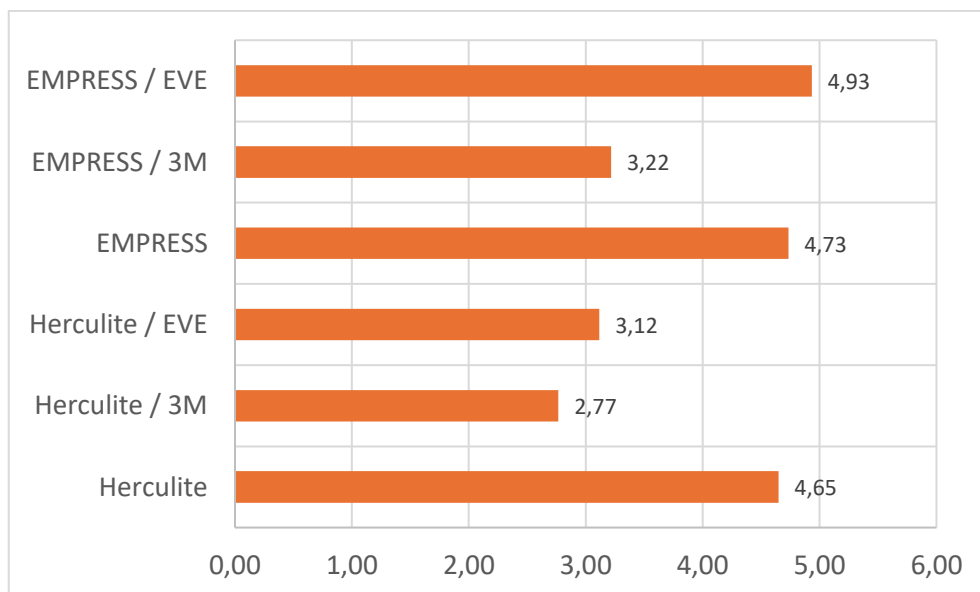
En cuanto al parámetro Rt (altura total del perfil), que representa la distancia entre el punto más alto y el más bajo de la superficie, los resultados confirman la capacidad del sistema

3M Sof-Lex para reducir las irregularidades más marcadas. Tal como se aprecia en la Figura 4, este protocolo logró los valores más bajos de R_t en ambas resinas, con $2,77 \mu\text{m}$ para Herculite y $3,22 \mu\text{m}$ para Empress, en contraste con los respectivos controles sin tratamiento ($4,65 \mu\text{m}$ y $4,73 \mu\text{m}$). Esta diferencia fue especialmente notoria en Empress, al compararla con el grupo tratado con el sistema EVE Twis-Diacomp, que alcanzó el valor más alto de toda la serie ($4,93 \mu\text{m}$).

La reducción de la rugosidad total sugiere superficies más homogéneas y menos propensas a defectos topográficos pronunciados. Desde el punto de vista clínico, esto resulta relevante al minimizar las zonas de acumulación bacteriana, facilitar el mantenimiento higiénico y contribuir a una mejor integración del material restaurador con el tejido dental adyacente..

Figura 4

Representación gráfica de los valores medios de R_t en función del protocolo de pulido aplicado sobre los dos materiales.



Fuente: Elaboración propia.

Para complementar la interpretación gráfica de los resultados, se calcularon los valores de media y desviación estándar correspondientes a los parámetros de rugosidad superficial (R_a , R_z y R_t) en cada grupo experimental, según la combinación entre tipo de resina compuesta y sistema de pulido aplicado. Esta información se presenta en la Tabla 2, y permite observar de manera cuantitativa la tendencia de comportamiento de cada grupo, así como la consistencia interna de los datos obtenidos.

La inclusión de estos estadísticos descriptivos constituye un paso fundamental para sustentar comparaciones posteriores mediante pruebas inferenciales y fortalecer la validez del análisis experimental.

Tabla 2

Análisis estadístico de rugosidad superficial (media \pm desviación estándar) para los parámetros R_a , R_z y R_t en cada grupo experimental.

Muestra	R_a (μm)	R_z (μm)	R_t (μm)
Herculite	0.84 ± 0.23	3.45 ± 0.57	4.65 ± 0.43
Herculite / 3M	0.56 ± 0.04	1.73 ± 0.13	2.77 ± 0.30
Herculite / EVE	0.82 ± 0.14	1.77 ± 0.82	3.12 ± 0.87
EMPRESS	0.78 ± 0.24	3.17 ± 0.41	4.73 ± 0.71
EMPRESS / 3M	0.43 ± 0.03	2.37 ± 0.35	3.22 ± 0.45
EMPRESS / EVE	1.11 ± 0.08	2.97 ± 0.32	4.93 ± 0.34

Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de identificar variaciones significativas en los valores medios de rugosidad superficial (R_a) entre los distintos grupos experimentales, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente

significativas entre los grupos ($p = 0.004$), lo que indica que al menos una de las combinaciones entre tipo de resina y sistema de pulido generó una alteración relevante en la rugosidad promedio. Los detalles del análisis se presentan en la Tabla 3, la cual resume la variabilidad entre grupos y dentro de los grupos, permitiendo identificar la magnitud del efecto observado en el parámetro R_a .

Tabla 3

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) de un factor para comparar los valores medios de rugosidad superficial R_a entre los diferentes grupos experimentales.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	F	Valor p
Grupo	1.4556	5	4.66	0.0041
Residual	1.5008	24		

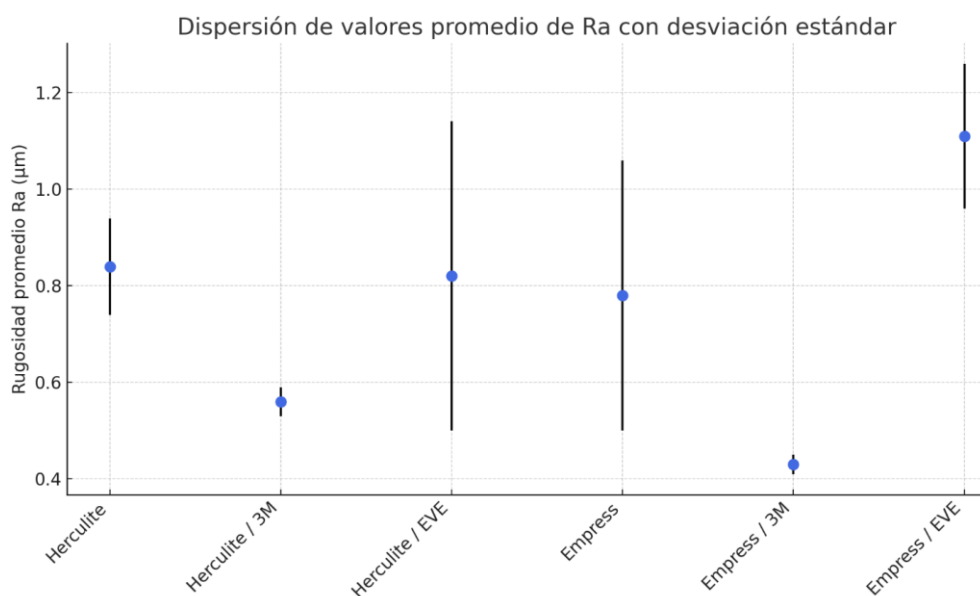
Fuente: Elaboración propia.

Con el objetivo de complementar el análisis de varianza presentado en la Tabla 3, se elaboró un gráfico de dispersión que muestra los valores promedio de rugosidad superficial (R_a) y su correspondiente desviación estándar para cada grupo experimental.

Esta representación visual permite apreciar de manera más clara las diferencias en la media de rugosidad entre las distintas combinaciones de resina compuesta y sistema de pulido, así como la variabilidad interna de los datos. La distribución de los puntos confirma la tendencia observada en el análisis estadístico (Figura 5), destacando la reducción significativa de la rugosidad en los grupos tratados con el sistema 3M, en especial en la resina Empress.

Figura 5

Dispersión de los valores promedio de rugosidad superficial Ra (μm) con desviación estándar, según el tipo de resina compuesta y el sistema de pulido aplicado.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se aplicó la prueba post hoc de Tukey con el objetivo de identificar cuáles comparaciones entre grupos presentaron diferencias estadísticamente significativas, controlando el error tipo I en los contrastes múltiples. Los resultados de este análisis se resumen en la Tabla 4. Se observó que el grupo Empress / 3M mostró diferencias significativas en los valores de rugosidad promedio (Ra) en comparación con los grupos Empress sin pulido, Empress / EVE y Herculite sin pulido, lo cual sugiere una respuesta diferencial de la resina Empress Direct ante el protocolo de acabado con el sistema 3M Sof-Lex .

El resto de las combinaciones no presentó diferencias estadísticamente significativas entre sí, lo que indica comportamientos similares en términos de rugosidad superficial bajo los distintos protocolos evaluados.

Tabla 4

Comparaciones múltiples mediante la prueba post hoc de Tukey para los valores de rugosidad superficial Ra entre los distintos grupos experimentales.

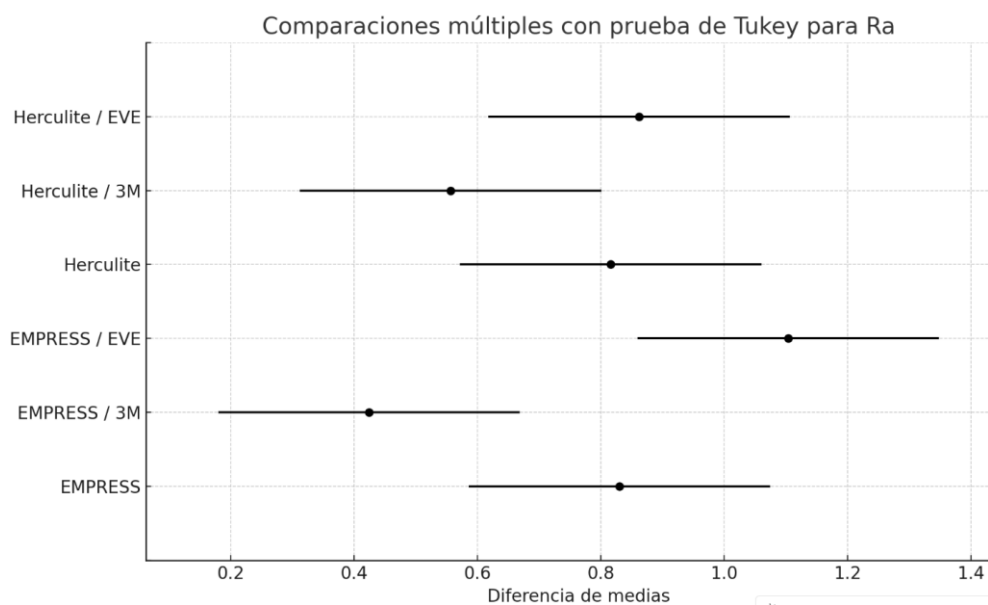
Grupo A	Grupo B	Diferencia media	p-adj	Inferior	Superior	Rechaza H0
EMPRESS	EMPRESS / 3M	0.482	0.031	0.027	0.937	Sí
EMPRESS	EMPRESS / EVE	-0.189	0.714	-0.643	0.266	No
EMPRESS	Herculite	-0.093	0.960	-0.547	0.362	No
EMPRESS	Herculite / 3M	0.171	0.771	-0.283	0.626	No
EMPRESS	Herculite / EVE	-0.007	1.000	-0.461	0.448	No
EMPRESS / 3M	EMPRESS / EVE	-0.671	0.001	-1.125	-0.216	Sí
EMPRESS / 3M	Herculite	-0.575	0.005	-1.029	-0.120	Sí
EMPRESS / 3M	Herculite / 3M	-0.311	0.300	-0.766	0.144	No
EMPRESS / 3M	Herculite / EVE	-0.489	0.024	-0.943	-0.034	Sí
EMPRESS / EVE	Herculite	0.096	0.958	-0.359	0.550	No
EMPRESS / EVE	Herculite / 3M	0.360	0.189	-0.095	0.815	No
EMPRESS / EVE	Herculite / EVE	0.182	0.737	-0.273	0.636	No
Herculite	Herculite / 3M	0.264	0.432	-0.191	0.719	No
Herculite	Herculite / EVE	0.086	0.968	-0.369	0.541	No
Herculite / 3M	Herculite / EVE	-0.178	0.742	-0.633	0.277	No

Fuente: Elaboración propia.

Para representar de forma visual las comparaciones múltiples realizadas entre los grupos experimentales, se generó un gráfico basado en la prueba post hoc de Tukey, el cual se presenta en la Figura 6. En este diagrama se evidencian las diferencias significativas entre las medias de rugosidad superficial Ra, representadas por intervalos de confianza al 95%. Las comparaciones cuyos intervalos no cruzan la línea vertical en cero se consideran estadísticamente significativas, lo que permite identificar con claridad los grupos que presentan una respuesta diferencial al tratamiento de pulido. Esta representación complementa los datos numéricos y facilita una interpretación más accesible de los resultados obtenidos.

Figura 6

Gráfico de comparaciones múltiples basado en la prueba de Tukey para los valores de rugosidad superficial Ra entre los grupos experimentales.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de microdureza tipo Vickers (VHN) obtenidos en los distintos grupos experimentales muestran diferencias relevantes en función del tipo de resina y del sistema de pulido aplicado. La muestra correspondiente a Herculite con EVE Twist – Diacomp alcanzó el valor más alto (70.63 ± 0.4 VHN), seguida por Empress sin pulido (66.24 ± 4.5 VHN) y Herculite con 3M Sof-Lex (65.80 ± 4.5 VHN). El valor más bajo fue registrado en el grupo Herculite sin pulido (55.83 ± 2.4 VHN). Estos resultados destacan el efecto positivo del protocolo de acabado superficial en la resistencia mecánica de los composites, siendo particularmente notorio con el uso del sistema EVE Twist – Diacomp. La Figura 7 representa gráficamente esta comparación

Tabla 5

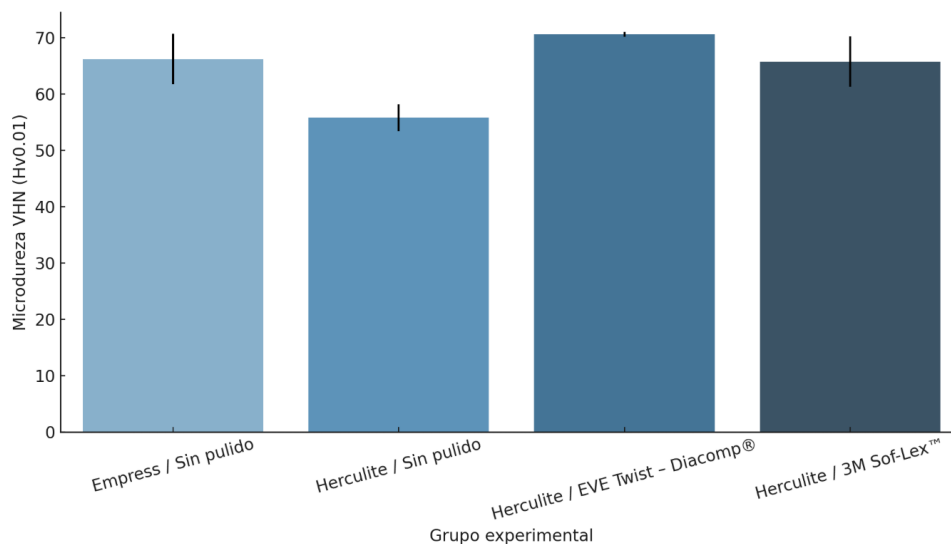
Valores promedio de microdureza Vickers (VHN) \pm desviación estándar según tipo de resina y protocolo de pulido aplicado.

Resina	Sistema de pulido	Microdureza VHN (media \pm DE)
Empress	Sin pulido	66.24 ± 4.5
Herculite	Sin pulido	55.83 ± 2.4
Herculite	EVE Twist – Diacomp	70.63 ± 0.4
Herculite	3M Sof-Lex	65.80 ± 4.5

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7

Comparación de microdureza Vickers (VHN) según tipo de resina y sistema de pulido.



Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Los hallazgos de este estudio revelan diferencias estadísticamente significativas en los valores de rugosidad superficial (R_a , R_z y R_t) entre los grupos experimentales formados por las resinas compuestas nanohíbridas Herculite Precis e IPS Empress Direct, combinadas con dos sistemas de pulido: 3M Sof-Lex y EVE Twist Diacomp. En el parámetro R_a , el grupo Empress / 3M registró el valor promedio más bajo ($0,43 \mu\text{m}$), seguido por Herculite / 3M ($0,56 \mu\text{m}$), mientras que Empress / EVE presentó el valor más alto ($1,11 \mu\text{m}$). Esta misma tendencia se observó en los parámetros R_z y R_t , lo cual indica una consistencia en el efecto del protocolo de acabado sobre la topografía superficial de los materiales.

El análisis de varianza (ANOVA) confirmó que existían diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p = 0.004$), y la prueba post hoc de Tukey reveló que el grupo

Empress / 3M difirió significativamente de Empress , Herculite y Empress / EVE, lo que sugiere una respuesta particularmente favorable de esta resina ante el sistema de pulido 3M Sof-Lex . Estos resultados indican que tanto el tipo de resina como el protocolo de pulido influyen de manera directa sobre la calidad de la superficie final.

Al contrastar estos hallazgos con la literatura especializada, se observan coincidencias relevantes. Soares et al. (2019) señalaron que los sistemas que emplean secuencias de discos abrasivos de grano decreciente como Sof-Lex son más efectivos para reducir la rugosidad superficial, especialmente en resinas con matriz orgánica optimizada y carga bien distribuida. Asimismo, Tupinambá et al. (2018) destacaron que los protocolos que integran fases progresivas de abrasión logran superficies más uniformes y con menor textura residual. En ese sentido, los valores obtenidos en este estudio para Empress / 3M resultan comparables con los reportados por dichos autores, reforzando la eficacia clínica del sistema.

La diferencia en comportamiento entre Herculite y Empress podría estar relacionada con su composición química. Como lo señalan Astudillo-Rubio et al. (2018), factores como la estructura de la matriz resinosa, el tamaño de las partículas de carga y su distribución tienen un impacto directo en la respuesta al pulido. Esta diferencia composicional explicaría por qué la resina Empress presentó una mayor afinidad con el sistema 3M, alcanzando superficies más lisas que con el sistema EVE.

Desde la perspectiva clínica, estos resultados adquieren una relevancia significativa para la selección del sistema de pulido más adecuado en restauraciones con resinas nanohíbridas. Una superficie menos rugosa no solo favorece la estética, al mejorar la reflexión de la luz, sino que también contribuye a la salud periodontal, al reducir la adherencia bacteriana. Según Krzyściak et al. (2013), rugosidades superiores a $0.2 \mu\text{m}$ ya permiten la colonización de microorganismos

como *Streptococcus mutans*, lo que representa un riesgo clínico importante. Aunque en el presente estudio ningún grupo alcanzó valores inferiores a ese umbral, se logró una reducción considerable con el sistema Sof-Lex, especialmente en la resina Empress, lo cual constituye un avance clínicamente significativo.

En cuanto a la microdureza Vickers (VHN), también se identificaron diferencias relevantes entre los grupos. El grupo Herculite / EVE Twist – Diacomp mostró el valor más alto (70.63 ± 0.4 VHN), seguido por Empress / Sin pulido (66.24 ± 4.5 VHN) y Herculite / 3M Sof-Lex (65.80 ± 4.5 VHN). El valor más bajo fue registrado por el grupo Herculite / Sin pulido (55.83 ± 2.4 VHN). Estos datos indican que el sistema de acabado superficial influye directamente en la resistencia mecánica del material, optimizando su comportamiento clínico.

Estos resultados coinciden con lo informado por Abd El Halim et al. (2023), quienes demostraron que las resinas nanohíbridas presentan mayor microdureza que las nanorrellenas, aunque sin valores exactos. Igualmente, Luz Clarita et al. (2023) reportaron un valor promedio de 61.6 ± 3.8 VHN para resinas nanohíbridas a 2 mm de profundidad, lo cual es coherente con los valores obtenidos en este estudio. Por su parte, Contreras et al. (2015) informaron valores similares para la resina Filtek Z350 (71.96 ± 6.44 VHN), destacando también la influencia del tipo de partícula y matriz. Asimismo, Ramírez-Vargas et al. (2021) señalaron que la microdureza puede variar ampliamente según el protocolo de pulido, ratificando la importancia del tratamiento superficial.

En conjunto, estos hallazgos permiten afirmar que tanto la rugosidad superficial como la microdureza están determinadas por la interacción entre el tipo de resina compuesta y el sistema de acabado empleado. Desde el punto de vista clínico, mejorar ambas propiedades resulta fundamental para garantizar la durabilidad, estética y biocompatibilidad de las restauraciones

directas, consolidando el pulido como una fase indispensable en la práctica odontológica contemporánea.

Conclusiones

Los resultados de este estudio evidencian que tanto el tipo de resina compuesta nanohíbrida como el sistema de pulido aplicado influyen de manera significativa en la rugosidad superficial y en la microdureza final de los materiales restauradores. El protocolo de pulido 3M Sof-Lex mostró un mejor desempeño en la reducción de la rugosidad, especialmente cuando fue aplicado sobre la resina Empress, lo que sugiere una mayor compatibilidad entre las características estructurales del material y el sistema abrasivo utilizado. En cambio, el sistema EVE Twist – Diacomp mostró una eficacia menor, particularmente en combinación con la misma resina, lo que resalta la importancia de seleccionar adecuadamente el protocolo de acabado en función de las propiedades físico-químicas del material restaurador.

En cuanto a la microdureza, también se identificaron diferencias relevantes entre los grupos experimentales. El uso de ciertos protocolos de pulido contribuyó a mejorar la resistencia mecánica superficial de los composites, lo cual es un factor clave para la longevidad de las restauraciones. La combinación entre tipo de resina y sistema de acabado mostró una influencia directa sobre el comportamiento estructural del material, no solo a nivel estético, sino también funcional.

Aunque ninguna de las combinaciones logró alcanzar parámetros ideales para eliminar completamente el riesgo de adhesión bacteriana, sí se observaron mejoras significativas en la textura superficial y en la dureza de los materiales evaluados. Estos hallazgos refuerzan el valor

del pulido como una fase esencial del tratamiento restaurador y respaldan la elección de sistemas con respaldo científico para optimizar los resultados clínicos.

Se recomienda la realización de estudios in vivo que permitan validar estos resultados bajo condiciones clínicas reales, así como explorar otras propiedades críticas, como la resistencia al desgaste, la estabilidad cromática y la interacción biológica con los tejidos adyacentes.

Referencias

- Abd El Halim, S., Morsi, H., & Soliman, T. (2023). Surface characteristics and microhardness of different composite resins. *Alexandria Dental Journal*, 48(1), 17–24.
<https://doi.org/10.21608/adjc.2023.213228>
- Angerame, D., & De Biasi, M. (2018). Do nanofilled/nanohybrid composites allow for better clinical performance of direct restorations than traditional microhybrid composites? A systematic review. *Operative Dentistry*, 43(4), E191–E209. <https://doi.org/10.2341/17-212-1>
- Astudillo-Rubio, D., Delgado-Gaete, A., Bellot-Arcís, C., Montiel-Company, J. M., Pascual-Moscardó, A., & Almerich-Silla, J. M. (2018). Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 13(2), e0193162.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193162>
- Cazzaniga, G., Ottobelli, M., Ionescu, A. C., Paolone, G., Gherlone, E., Ferracane, J. L., & Brambilla, E. (2017). In vitro biofilm formation on resin-based composites after different finishing and polishing procedures. *Journal of Dentistry*, 67, 43–52.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2017.07.012>
- Contreras, M., Martínez, A., Rodríguez, J., & Correa, F. (2015). Microdureza y resistencia flexural de resinas compuestas. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 17(3), 35–42. <https://doi.org/10.15517/ijds.v17i3.21996>
- Engel, A.-S., Kranz, H. T., Schneider, M., Tietze, J. P., Piwowarczyk, A., Kuzius, T., ... Naumova, E. A. (2020). Biofilm formation on different dental restorative materials in the oral cavity. *BMC Oral Health*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-020-01147-x>

Fahl Jr, N., & Ritter, A. V. (2021). Composite veneers: The direct-indirect technique revisited.

Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 33(1), 7–19.

<https://doi.org/10.1111/jerd.12696>

Korkmaz, Y., Ozel, E., Attar, N., & Aksoy, G. (2008). The influence of one-step polishing systems on the surface roughness and microhardness of nanocomposites. *Operative Dentistry*, 33(1), 44–50.

<https://doi.org/10.2341/07-28>

Krzyściak, W., Jurczak, A., Kościelniak, D., Bystrowska, B., & Skalniak, A. (2013). The virulence of *Streptococcus mutans* and the ability to form biofilms. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 33(4), 499–515.

<https://doi.org/10.1007/s10096-013-1993-7>

Lu, H., Roeder, L. B., Lei, L., & Powers, J. M. (2005). Effect of surface roughness on stain resistance of dental resin composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 17(2), 102–108.

<https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2005.tb00094.x>

Luz Clarita, M., Fernández, J., & Quispe, L. (2023). Evaluación de la microdureza de resinas compuestas en diferentes profundidades de curado. *Journal of Dental Materials and Techniques*, 12(1), 44–49.

http://jdmtd.mums.ac.ir/article_20800.html

Park, J.-W., An, J.-S., Lim, W. H., Lim, B.-S., & Ahn, S.-J. (2019). Microbial changes in biofilms on composite resins with different surface roughness: An in vitro study with a multispecies biofilm model. *The Journal of Prosthetic Dentistry*.

<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.08.009>

- Patras, M., Naka, O., Doukoudakis, S., & Pissiotis, A. (2011). Management of provisional restorations' deficiencies: A literature review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 24(1), 26–38. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2011.00467.x>
- Pereira, C., Eskelson, E., Cavalli, V., Liporoni, P., Jorge, A., & Rego, M. (2011). Streptococcus mutans biofilm adhesion on composite resin surfaces after different finishing and polishing techniques. *Operative Dentistry*, 36(3), 311–317. <https://doi.org/10.2341/10-285-1>
- Ramírez-Vargas, M. Á., González, M. A., & Coto, R. (2021). Evaluación de propiedades mecánicas de resinas compuestas estéticas. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences*, 23(1), 13–21. <https://doi.org/10.15517/ijds.v23i1.43834>
- Silva, B. P., Stanley, K., & Gardee, J. (2020). Laminate veneers: Preplanning and treatment using digital guided tooth preparation. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 32(2), 150–160. <https://doi.org/10.1111/jerd.12571>
- Tupinambá, Í. V. M., Giampá, P. C. C., Rocha, I. A. R., & Lima, E. M. C. X. (2018). Effect of different polishing methods on surface roughness of provisional prosthetic materials. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 18(2), 96–101. https://doi.org/10.4103/jips.jips_258_17
- Vo, D. T., Arola, D., Romberg, E., Driscoll, C. F., Jabra-Rizh, M. A., & Masri, R. (2015). Adherence of Streptococcus mutans on lithium disilicate porcelain specimens. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), 403–410. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.06.017>

Yap, A. U., Wong, M. L., & Lim, A. C. (2000). The effect of polishing systems on microleakage of tooth-coloured restoratives. Part 2: Composite and polyacid-modified composite resins. *Journal of Oral Rehabilitation*, 27(3), 205–210.