



Facultad de Ciencias de la Salud

Posgrado de Odontología

Tema:

**Influencia del acabado y pulido de la resina impresa en la resistencia a la compresión vs
resina compuesta convencional**

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

Presentado por:

Fanny Marivel Patiño Tenesaca

Tutor:

Ing. Boris Hernan Villacrés Granda

Quito, marzo del 2026

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del acabado y pulido sobre la resistencia a la compresión y la topografía superficial de una resina impresa en 3D (Voxel Print Ceramic, FGM), en comparación con una resina compuesta convencional (Filtek Z350 XT, Solventum).

Se realizó un estudio experimental *in vitro* con 60 especímenes cilíndricos (4×6 mm), distribuidos en cuatro grupos ($n = 15$): resina impresa 3D Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) sin tratamiento (A1), resina impresa 3D Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) con acabado y pulido (A2), resina convencional (Filtek Z350 XT, Solventum) sin tratamiento (B1) y resina convencional (Filtek Z350 XT, Solventum) con acabado y pulido (B2). Los especímenes fueron sometidos a ensayos de compresión siguiendo la norma ISO 4049. El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva, prueba de Shapiro–Wilk, ANOVA factorial 2×2 con corrección heterocedástica (HC3) y comparaciones múltiples mediante prueba t de Welch con ajuste de Holm ($\alpha = 0,05$). Además, se efectuó análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y evaluación de rugosidad superficial mediante perfilometría de contacto.

La resina convencional presentó valores de resistencia a la compresión significativamente mayores que la resina impresa, evidenciando diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones evaluadas ($p < 0,05$), con intervalos de confianza al 95 %. El acabado y pulido se asoció con una disminución significativa de la resistencia a la compresión en ambos materiales, siendo este efecto más marcado en la resina convencional. Se identificó una interacción significativa entre el tipo de resina y el tratamiento superficial, indicando que el impacto del pulido depende del material evaluado. El análisis SEM reveló superficies más irregulares y con microporos en las resinas impresas (A1 y A2), especialmente en el grupo sin

tratamiento (A1), mientras que las resinas convencionales mostraron una morfología más homogénea (B1 y B2). La perfilometría confirmó que el grupo A1 presentó la mayor rugosidad, mientras que B2 mostró los valores más bajos y la superficie más regular.

Tanto el tipo de resina como el acabado y pulido influyen significativamente en la resistencia a la compresión y la calidad superficial. Aunque el tratamiento superficial redujo la resistencia mecánica, ambos materiales mantuvieron valores compatibles con las cargas funcionales de la cavidad oral. Consecuentemente, el acabado y pulido continúa siendo clínicamente beneficioso al mejorar la lisura superficial y la estética, sin comprometer la integridad funcional de las restauraciones. La resina convencional mostró un desempeño mecánico superior y superficies más homogéneas, mientras que la resina impresa conservó irregularidades residuales tras el posprocesamiento.

PALABRAS CLAVES: 3D PRINTED RESIN; COMPOSITE RESIN; FINISHING AND POLISHING; COMPRESSIVE STRENGTH; DENTAL MATERIALS SURFACE ROUGHNESS; SCANNING ELECTRON MICROSCOPY.

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.

Fanny Marivel Patiño Tenesaca

C.I. 0302246301

Dedicatoria

Dedico este logro a Dios, por sostenerme en cada momento difícil, por darme la fortaleza para seguir adelante a pesar de las adversidades y por regalarme el don de ser una mujer luchadora, perseverante y capaz de levantarse siempre. A Él y a mí misma, por nunca rendirme y por creer que los sueños se construyen con fe, esfuerzo y valentía.

A mis amados padres, Darío y Rosita, quienes, aún en mi adultez, jamás han soltado mi mano. Gracias por su amor incondicional, por apoyarme en cada paso, por creer en mí incluso en mis errores y en mis momentos más difíciles. Su amor sin medida ha sido mi refugio y mi mayor fortaleza.

A mis hermanos, Darío y Natanael, aunque la vida nos haya llevado por caminos diferentes, seguimos unidos por un mismo corazón. Este logro también les pertenece, así como cada uno de sus triunfos es mío.

A mi sobrinita Sofía, la alegría de nuestro hogar, con la esperanza de que algún día pueda verme como una motivación y un ejemplo de que todo es posible cuando se lucha con determinación.

A mi querido tutor, Ing. Boris Villacrés, por su guía constante, por no dejarme sola en ningún momento de este proceso y por ayudarme a encontrar siempre el camino correcto para alcanzar este objetivo.

Y a mis compañeros de la universidad, quienes durante estos dos años se convirtieron en más que compañeros, en una familia. Gracias por compartir no solo un aula, sino sueños, esfuerzos y aprendizajes que llevaré siempre en el corazón.

Sin ustedes, este logro no hubiera sido posible.

Índice

Resumen.....	2
Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos	4
Dedicatoria	5
Índice.....	6
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras.....	8
Resumen.....	9
Abstract	10
Introducción	12
Materiales Y Métodos	15
Diseño del estudio.....	15
Preparación de los especímenes de resina impresa, Voxel Print Ceramic Voxel Print Ceramic	16
Preparación de los especímenes de resina convencional, resina 3M Filtek Z350 XT	17
Acabado y pulido de los especímenes	17
Ensayo de compresión en resinas impresas y convencionales.....	18
Análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM)	18
Análisis de perfilometría superficial.....	19
Resultados	20
Análisis de resistencia a la compresión	20
Microscopía electrónica de barrido (SEM) de resinas impresas 3D Voxel Print Ceramic MT A2 (FGM, Brasil), y resinas convencionales 3M Filtek Z350 XT, (Solventum, Brasil) con y sin acabado y pulido	24
Perfilometría superficial de resinas impresas en 3D Voxel Print Ceramic y resinas convencionales 3M Filtek Z350 XT con y sin acabado y pulido	27
Discusión.....	28
Conclusiones.....	32
Referencias.....	34
Anexos	40

Índice de Tablas

Tabla 1. Distribución de las muestras según tipo de resina y tratamiento superficial	16
Tabla 2. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) según los grupos experimentales	21
Tabla 3. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) entre resinas convencionales e impresas	21
Tabla 4. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) según el acabado y pulido	21
Tabla 5. Evaluación de la normalidad de los valores de resistencia a la compresión mediante la prueba de Shapiro–Wilk en los grupos experimentales	22
Tabla 6. Análisis de varianza de dos factores (ANOVA bifactorial) de la resistencia a la compresión según el método de fabricación y el tratamiento superficial	22
Tabla 7. Comparaciones planificadas entre los grupos A1, A2, B1 y B2 mediante la prueba t de Welch con ajuste de Holm.	23
Tabla 8. Parámetros de rugosidad superficial obtenidos por perfilometría en los grupos experimentales según material y protocolo de acabado y pulido.	28

Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de los puntos de medición para el análisis de perfilometría superficial.	20
Figura 2. Distribución de la influencia del acabado y pulido (Tto) en la resistencia a la compresión (MPa) entre resinas impresas y convencionales.....	23
Figura 3. Análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de resinas impresas en 3D y convencionales con y sin protocolo de acabado y pulido.	26

INFLUENCIA DEL ACABADO Y PULIDO DE LA RESINA IMPRESA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS RESINA COMPUESTA CONVENCIONAL

Fanny Marivel Patiño Tenesaca

fannypt1993@gmail.com

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del acabado y pulido sobre la resistencia a la compresión y la topografía superficial de una resina impresa en 3D (Voxel Print Ceramic, FGM), en comparación con una resina compuesta convencional (Filtek Z350 XT, Solventum).

Se realizó un estudio experimental *in vitro* con 60 especímenes cilíndricos (4 × 6 mm), distribuidos en cuatro grupos (n = 15): resina impresa 3D Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) sin tratamiento (A1), resina impresa 3D Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) con acabado y pulido (A2), resina convencional (Filtek Z350 XT, Solventum) sin tratamiento (B1) y resina convencional (Filtek Z350 XT, Solventum) con acabado y pulido (B2). Los especímenes fueron sometidos a ensayos de compresión siguiendo la norma ISO 4049. El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva, prueba de Shapiro–Wilk, ANOVA factorial 2 × 2 con corrección heterocedástica (HC3) y comparaciones múltiples mediante prueba t de Welch con ajuste de Holm ($\alpha = 0,05$). Además, se efectuó análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y evaluación de rugosidad superficial mediante perfilometría de contacto.

La resina convencional presentó valores de resistencia a la compresión significativamente mayores que la resina impresa evidenciando diferencias estadísticamente significativas en todas las comparaciones evaluadas ($p < 0,05$), con intervalos de confianza al 95 %. El acabado y pulido se asoció con una disminución significativa de la resistencia a la compresión en ambos

materiales, siendo este efecto más marcado en la resina convencional. Se identificó una interacción significativa entre el tipo de resina y el tratamiento superficial, indicando que el impacto del pulido depende del material evaluado. El análisis SEM reveló superficies más irregulares y con microporos en las resinas impresas (A1 y A2), especialmente en el grupo sin tratamiento (A1), mientras que las resinas convencionales mostraron una morfología más homogénea (B1 y B2). La perfilometría confirmó que el grupo A1 presentó la mayor rugosidad, mientras que B2 mostró los valores más bajos y la superficie más regular.

Tanto el tipo de resina como el acabado y pulido influyen significativamente en la resistencia a la compresión y la calidad superficial. Aunque el tratamiento superficial redujo la resistencia mecánica, ambos materiales mantuvieron valores compatibles con las cargas funcionales de la cavidad oral. Consecuentemente, el acabado y pulido continúa siendo clínicamente beneficioso al mejorar la lisura superficial y la estética, sin comprometer la integridad funcional de las restauraciones. La resina convencional mostró un desempeño mecánico superior y superficies más homogéneas, mientras que la resina impresa conservó irregularidades residuales tras el posprocesamiento.

PALABRAS CLAVES: 3D PRINTED RESIN; COMPOSITE RESIN; FINISHING AND POLISHING; COMPRESSIVE STRENGTH; DENTAL MATERIALS SURFACE ROUGHNESS; SCANNING ELECTRON MICROSCOPY.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the influence of finishing and polishing on the compressive strength and surface topography of a 3D-printed resin (Voxel Print Ceramic, FGM) compared with a conventional composite resin (Filtek Z350 XT, Solventum).

An *in vitro* experimental study was conducted using 60 cylindrical specimens (4×6 mm), distributed into four groups ($n=15$): 3D Printed Resin Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brazil) without surface treatment (A1), 3D-printed resin Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brazil) with finishing and polishing (A2), conventional resin Filtek Z350 XT (Solventum) without surface treatment (B1), and conventional resin Filtek Z350 XT (Solventum) with finishing and polishing (B2). Specimens were subjected to compressive strength testing according to ISO 4049 standards. Statistical analysis included descriptive statistics, Shapiro Wilk normality test, two-way factorial ANOVA (2×2) with heteroscedasticity-consistent correction (HC3), and multiple comparisons using Welch's t-test with Holm adjustment ($\alpha = 0,05$). Additionally, microstructural analysis was performed using scanning electron microscopy (SEM), and surface roughness was evaluated through contact profilometry.

The conventional resin exhibited significantly higher compressive strength values than the 3D printed resin, with statistically significant differences observed in all evaluated comparisons ($p < 0,05$; 95 % confidence intervals). Finishing and polishing were associated with a significant reduction in compressive strength for both materials, with a more pronounced effect in the conventional resin. A significant interaction between resin type and surface treatment was identified, indicating that the impact of polishing depends on the material evaluated. SEM analysis revealed more irregular surfaces and microporosities in the 3D-printed resins (A1 and A2), particularly in the untreated group (A1), whereas conventional resins demonstrated a more homogeneous morphology (B1 and B2). Profilometric analysis confirmed that group A1 presented the highest roughness values, while B2 showed the lowest values and the most regular surface.

Both resin type and finishing-polishing procedures significantly influence compressive strength and surface quality. Although surface treatment reduced mechanical resistance, both materials-maintained values compatible with functional loads in the oral cavity. Therefore, finishing and polishing remain clinically beneficial, as they improve surface smoothness and esthetics without compromising the functional integrity of restorations. The conventional resin demonstrated superior mechanical performance and more homogeneous surfaces, while the 3D-printed resin retained residual irregularities after post-processing.

KEYWORDS: 3D PRINTED RESIN; COMPOSITE RESIN; FINISHING AND POLISHING; COMPRESSIVE STRENGTH; DENTAL MATERIALS SURFACE ROUGHNESS; SCANNING ELECTRON MICROSCOPY.

Introducción

La impresión tridimensional (3D) tuvo sus inicios en 1986, cuando Charles Hull desarrolló y patentó la estereolitografía (SLA), considerada la primera tecnología de impresión 3D. Posteriormente, en 1990, Scott Crump introdujo el modelado por deposición fundida (FDM), ampliando así las posibilidades de esta tecnología aditiva. A diferencia de los métodos sustractivos, en los cuales se elimina material para obtener la forma deseada mediante el tallado de bloques sólidos, la impresión 3D construye los objetos capa por capa, lo que permite una mayor eficiencia y una reducción significativa del desperdicio de material (Bona, 2020; Tian et al., 2021). En este contexto, la fabricación aditiva con resina se ha consolidado como una alternativa más eficiente y precisa frente a los métodos convencionales (Park et al., 2018; Shishehian et al., 2023). De hecho, diversos estudios han demostrado que los modelos elaborados mediante estereolitografía presentan una mayor exactitud dimensional en comparación con aquellos fabricados por fresado, lo que resalta su potencial en aplicaciones

clínicas y restauradoras (Bona, 2020; Lankes et al., 2023; Park et al., 2018; Shishehian et al., 2023; Tian et al., 2021).

El rendimiento de los productos fabricados mediante impresión 3D puede variar según múltiples factores. Entre ellos, los parámetros del proceso, la composición del material utilizado y los procedimientos de posprocesamiento, estas variables influyen directamente en características como la precisión dimensional, el tiempo de fabricación y propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción, el módulo de elasticidad, el límite elástico, la resistencia al impacto y la tensión residual (Baytur, 2025; Bona, 2020; Saini et al., 2024).

En los últimos años, la impresión 3D ha ganado terreno en diversos campos, incluida la odontología y gracias a los avances en escáneres intraorales, software de diseño asistido por computadora (CAD) y mejoras en la velocidad de impresión, esta tecnología se ha convertido en una herramienta valiosa para la fabricación de modelos, guías quirúrgicas y restauraciones dentales (Baytur, 2025). No obstante, su uso en el entorno oral plantea desafíos, ya que los materiales impresos están expuestos a condiciones como la humedad constante, el desgaste mecánico y variaciones de temperatura, lo cual puede afectar su durabilidad y rendimiento clínico (Alshamrani et al., 2023; Pot et al., 2024).

Las resinas impresas se han convertido en un componente fundamental en el campo odontológico, no solo por sus propiedades físicas y su costo accesible, sino también por su creciente aplicabilidad clínica por lo tanto es esencial conocer en profundidad sus características y los tratamientos a los que son sometidas para optimizar su resistencia a la fractura, dureza superficial, resistencia a la flexión y a la compresión, así como su estabilidad frente a agentes que pueden causar tinción en la cavidad oral (Myagmar et al., 2021; Yıldırım et al., 2024). Además, una restauración debe presentar resistencia al desgaste, estabilidad de color y

una apariencia estética adecuada para cumplir con los requisitos funcionales y estéticos del entorno bucal (Saini et al., 2024; Shishehian et al., 2023).

La resina Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil), de origen brasileño, es un composite desarrollado para la rehabilitación de dientes. Se caracteriza por su alto contenido de relleno inorgánico a base de materiales vitrocerámicos, lo que le otorga gran resistencia mecánica junto con una versatilidad estética que proporciona brillo y propiedades ópticas distintivas. Este composite cuenta con una matriz polimérica compuesta por monómeros como acrilatos y oligómeros, los cuales se reticulan bajo exposición a la luz. Además, incorpora un 60% de cargas inorgánicas, lo que contribuye a la durabilidad del brillo y a un acabado estético superior (FGM Productos Odontológicos, 2025).

Por su parte, la resina 3M Filtek Z350 XT (Solventum, Brasil) contiene como matriz orgánica bisfenol A glicidil metacrilato (Bis-GMA), uretano dimetacrilato (UDMA), trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA) y bisfenol A etoxilado dimetacrilato (Bis-EMA). Para reducir la contracción, se sustituyó el polietilenglicol dimetacrilato (PEGDMA) por una fracción de trietilenglicol di metacrilato (TEGDMA) en su formulación. Sus partículas de relleno incluyen una combinación de sílice no aglomerada de 20 nm, zirconia no aglomerada de 4 a 11 nm y un relleno en clústers de sílice/zirconia, conformados por partículas de sílice de 20 nm y zirconia de 4-11 nm. El contenido inorgánico en esta resina alcanza aproximadamente el 78,5 % en peso, lo que le confiere un excelente equilibrio entre resistencia y estética (3M ESPE, 2019).

El éxito del acabado y pulido depende del sistema empleado, ya sea de múltiples pasos o de un solo paso, ya que estos determinan la calidad y lisura de la superficie restauradora, a mayor rugosidad superficial, mayor es la adhesión bacteriana y la formación de biofilm, lo que incrementa el riesgo de caries secundaria. Por ello, la aplicación de protocolos de pulido

adecuados resulta fundamental para reducir la colonización microbiana y mejorar la longevidad clínica de las restauraciones (Batmaz et al., 2024).

Las resinas compuestas convencionales han demostrado estabilidad y desempeño clínico a largo plazo, mientras que las resinas impresas en 3D, por su carácter innovador al ser un material novedoso, aún se encuentran en fase de estudio para determinar si pueden ser utilizadas como material definitivo o temporal. Por ello, el objetivo de nuestro estudio fue evaluar la influencia del acabado y pulido de la resina impresa Voxel Print Ceramic MT A2 (FGM, Brasil), en la resistencia a la compresión, en comparación con una resina compuesta convencional 3M Filtek Z350 XT, (Solventum, Brasil).

Materiales Y Métodos

Diseño del estudio

Se planteó un estudio experimental *in vitro* de tipo transversal y comparativo (**Tabla 1**), con el objetivo de evaluar la influencia del acabado y pulido en la resistencia a la compresión de dos tipos de resina: una resina impresa en 3D (Voxel Print Ceramic MT A2, Brasil) de la casa comercial FGM y una resina compuesta convencional (3M Filtek Z350 XT, Brasil) de la casa comercial Solventum. Se incluyeron un total de 60 muestras, divididas en cuatro grupos de 15 muestras cada uno ($n = 15$). Adicionalmente, se realizó un análisis de la superficie mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y perfilometría, en una muestra representativa de cada grupo, con el fin de caracterizar la topografía superficial y complementar la interpretación de los resultados mecánicos de las resinas estudiada. El estudio de microscopía y perfilometría se realizó gracias a la colaboración del Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Tabla 1. Distribución de las muestras según tipo de resina y tratamiento superficial

GRUPO	MATERIAL	RESINA	CASA COMERCIAL	COLOR	ACABADO Y PULIDO
A1	Resina 3D impresa	Voxel Print Ceramic	FGM (Brasil)	A2	NO
A2	Resina 3D impresa	Voxel Print Ceramic	FGM (Brasil)	A2	SI
B1	Resina compuesta convencional	Filtek Z350 XT	Solventum / 3M (Brasil)	A2B	NO
B2	Resina compuesta convencional	Filtek Z350 XT	Solventum / 3M (Brasil)	A2B	SI

A1: Resina impresa sin acabado y pulido; A2: Resina impresa con acabado y pulido; B1: Resina convencional sin acabado y pulido; B2: Resina convencional con acabado y pulido

Todas las muestras fueron evaluadas según criterios de exclusión, descartándose aquellas que presentaron defectos estructurales visibles como fisuras, burbujas, o bloques de resina de otras marcas, así como aquellas que no cumplían con las dimensiones establecidas, ya sea por exceso o deficiencia. En cuanto a los criterios de inclusión, se incluyeron todas aquellas muestras pulidas y no pulidas de la Marca Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) y Resina 3M Filtek Z350 XT (Solventum, Brasil) que cumplían con las normas ISO 4049.

Preparación de los especímenes de resina impresa, Voxel Print Ceramic Voxel Print Ceramic

Las muestras de resina impresa Voxel Print Ceramic MT (FGM, Brasil) fueron diseñadas por un único operador utilizando el software Exocad versión 3,2 Elefesina. Cada cilindro se diseñó con dimensiones estándar de 4 mm de diámetro y 6 mm de altura.

Una vez aprobado el diseño, las muestras fueron impresas en una impresora 3D ELEGOO Mars 5, con una altura de capa de 0,1 mm, mediante un tiempo de curación de 2,9 s y un tiempo de adhesión de 20 s. Los cilindros se limpiaron de acuerdo con las indicaciones del fabricante usando una toalla de papel para eliminar cualquier material sin curar de la pieza

impresa. Seguido a esto, se colocó en alcohol al 40 % durante 3 min. El proceso de postcurado fue de 30 min.

Preparación de los especímenes de resina convencional, resina 3M Filtek Z350 XT

Las muestras de resina compuesta 3M Filtek Z350 XT (Solventum, Brasil) color A2B fueron confeccionadas de acuerdo con la norma ISO 4049; es decir, fabricando un molde metálico de acero inoxidable. Para la confección del molde se usó una barra metálica de 6 centímetros de largo, 1,5 cm de ancho y 6 mm de altura. El primer corte de la barra fue a la mitad, luego con una prensa de hierro se presionó ambas partes divididas y se realizaron 10 perforaciones con una broca de 4 mm de diámetro para obtener las medidas exactas. La resina fue colocada en los moldes metálicos de medidas de 4 mm de diámetro y 6 mm de altura, empleando espátulas LM ARTE estilo italiano, tipo Condensación (LM Instruments, Finlandia), diseñadas específicamente para el manejo de composites. Estas espátulas poseen un recubrimiento de carbono tipo diamante que reduce la adherencia del material y facilita su manipulación y colocación.

El molde metálico se posicionó entre dos portaobjetos de vidrio, intercalando tiras de poliéster para eliminar los excesos de material y garantizar superficies lisas. Las muestras fueron fotopolimerizadas con la lámpara VALO X (Ultradent, EE. UU.), utilizando una intensidad máxima de 3.200 mW/cm² durante 40 s por cada cara.

Acabado y pulido de los especímenes

El proceso de acabado y pulido fue realizado por un único operador. Para el procedimiento de acabado se empleó una fresa 850 F, de grano fino banda roja (JOTA, Suiza), aplicada dos veces en una sola dirección, seguidamente se utilizó una fresa de grano extrafino con banda amarilla 850 EF (JOTA, Suiza), bajo el mismo protocolo de aplicación. A

continuación, se efectuó el pulido mediante discos Sof-Lex (3M, Brasil) de grano medio y grano fino respectivamente, también aplicados dos veces en una sola dirección.

Todas las muestras fueron manipuladas utilizando guantes de nitrilo y bajo magnificación óptica. Las fresas y discos fueron reemplazados cada cinco muestras para garantizar la estandarización del procedimiento.

Ensayo de compresión en resinas impresas y convencionales

Según las normas ISO 4049, las muestras fueron sumergidas en baño maría a 37°C (Humboldt H-1390 Digital Water Bath, Estados Unidos) durante 24 h previo a las pruebas de compresión.

Los cilindros fueron sometidos a ensayos de compresión en una máquina Humboldt MasterLoader HM-5030 (Estados Unidos), donde se colocaron perpendicularmente a la base del equipo. Anterior al proceso de compresión, las muestras fueron estandarizadas utilizando una balanza analítica ShimadzuTX3202L (Japón) y un calibrador Vernier mecánico metálico de medidas para calcular el diámetro y la altura. La carga se aplicó sobre el diámetro de cada muestra con una fuerza inicial de 100 N y a una velocidad constante de 1,0 mm/min hasta alcanzar el punto de fractura. Todos los ensayos se realizaron bajo condiciones ambientales controladas (23 ± 1 °C y 50 ± 10 % de humedad relativa).

Análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM)

Para el análisis microestructural, se seleccionó una muestra representativa de cada grupo experimental. Los especímenes fueron evaluados mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) utilizando un microscopio TESCAN (República Checa), modelo MIRA3 XMU.

Previo a la observación, las muestras fueron recubiertas superficialmente con una capa de oro de aproximadamente 20 nm de espesor y con recubrimiento de plata en los laterales, con el

fin de mejorar la conductividad eléctrica y optimizar la calidad de imagen. Las micrografías se obtuvieron empleando un voltaje de aceleración de 5 kV.

El análisis permitió realizar una comparación entre las superficies sometidas a acabado y pulido y aquellas sin tratamiento superficial, identificando las características microestructurales propias de cada grupo experimental.

Las imágenes se capturaron utilizando campos de visión (Field of view) de 4,15 mm, 2,08 mm y 830 μm , correspondientes a magnificaciones de 267 \times , 533 \times y 1,33 k \times con el objetivo de evaluar la topografía superficial a diferentes niveles de magnificación.

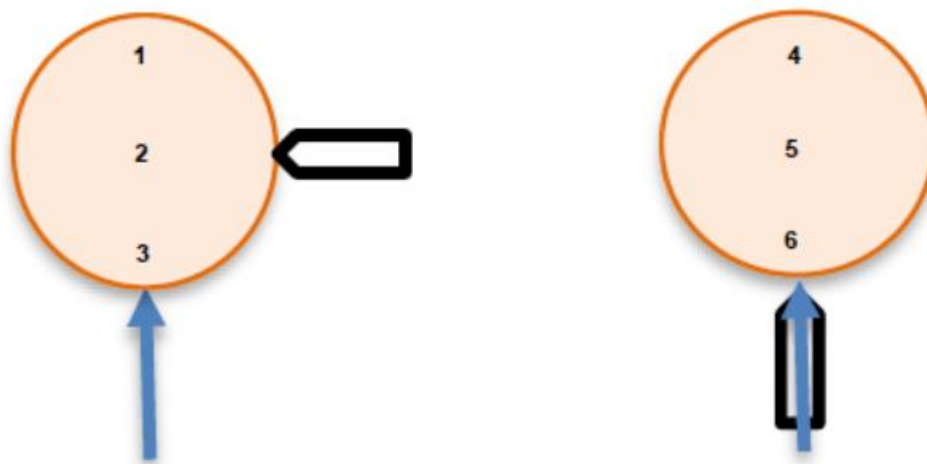
Análisis de perfilometría superficial

Para la evaluación de la topografía superficial se utilizó un perfilómetro de contacto Bruker Dektak XT (Estados Unidos). Se analizaron cuatro especímenes, correspondientes a una muestra representativa de cada grupo experimental, y todas las mediciones se realizaron bajo los mismos parámetros instrumentales.

Cada muestra cilíndrica fue identificada mediante una marca lateral de referencia, señalada con una flecha negra **Figura 1**, con el fin de estandarizar la orientación durante el análisis. En una primera posición, se efectuaron tres mediciones consecutivas en los puntos 1, 2 y 3. Posteriormente, el espécimen fue rotado 90 °, quedando la marca de referencia en la porción inferior, y se realizaron tres mediciones adicionales en los puntos 4, 5 y 6.

De esta manera, se obtuvieron registros en direcciones paralela y perpendicular a las posibles líneas de desgaste o rayaduras presentes en la superficie, según se ilustra en la figura correspondiente, permitiendo una caracterización más completa de la rugosidad superficial.

Figura 1. Esquema de los puntos de medición para el análisis de perfilometría superficial.



La figura ilustra la ubicación de los seis puntos de medición realizados en cada muestra cilíndrica. Se efectuaron tres registros iniciales (1–3), posteriormente la muestra fue rotada 90 ° y se realizaron tres mediciones adicionales (4–6), permitiendo evaluar la rugosidad superficial en direcciones paralela y perpendicular a las posibles rayaduras

Resultados

Análisis de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión fue evaluada en 60 especímenes distribuidos en cuatro grupos experimentales ($n = 15$ por grupo), correspondientes a dos tipos de material (Voxel Print Ceramic y Resina 3M Filtek Z350 XT) y dos condiciones de tratamiento superficial (sin acabado y pulido y con acabo y pulido).

Inicialmente, los datos se describieron mediante estadística descriptiva (**Tabla 2**), observándose que los grupos B1 y B2 presentaron mayores valores de resistencia ($230,29 \pm 18,47$ MPa y $186,12 \pm 13,26$ MPa, respectivamente) en comparación con los grupos A1 y A2 ($151,31 \pm 12,06$ MPa y $131,95 \pm 8,41$ MPa, respectivamente), con baja variabilidad en todos los casos ($CV < 10 \%$) e intervalos de confianza estrechos al 95 %.

Tabla 2. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) según los grupos experimentales

Grupo	n	Media \pm DE	Mediana (Q1–Q3)	Min–Max	CV %	IC 95% media
A1	15	151,31 \pm 12,06	149,30 (143,56–159,49)	130,59–176,68	7,97	144,63–157,99
A2	15	131,95 \pm 8,41	130,90 (124,15–138,89)	119,49–144,68	6,37	127,29–136,60
B1	15	230,29 \pm 18,47	228,30 (216,27–247,27)	202,45–257,83	8,02	220,06–240,52
B2	15	186,12 \pm 13,26	188,63 (174,14–194,52)	168,83–210,07	7,13	178,78–193,46

A1: Resina impresa sin acabado y pulido; A2: Resina impresa con acabado y pulido; B1: Resina convencional sin acabado y pulido; B2: Resina convencional con acabado y pulido

Al agrupar los resultados según el método de fabricación, la **Tabla 3** evidenció que la resina convencional alcanzó una resistencia superior ($208,21 \pm 27,46$ MPa) frente a la resina impresa ($141,63 \pm 14,19$ MPa). De manera complementaria, la **Tabla 4** mostró que los especímenes sin pulido presentaron valores mayores de resistencia a la compresión ($190,80 \pm 42,99$ MPa) que aquellos sometidos a acabado y pulido ($159,03 \pm 29,63$ MPa).

Tabla 3. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) entre resinas convencionales e impresas

Método	n	Media \pm DE	Mediana (Q1–Q3)	Min–Max	CV %	IC 95% media
Resina Convencional	30	208,21 \pm 27,46	205,23 (188,64–227,96)	168,83–257,83	13,19	197,95–218,46
Resina Impresa	30	141,63 \pm 14,19	141,97 (130,82–148,92)	119,49–176,68	10,02	136,33–146,93

Tabla 4. Estadística descriptiva de la resistencia a la compresión (MPa) según el acabado y pulido

Tratamiento	n	Media \pm DE	Mediana (Q1–Q3)	Min–Max	CV %	IC 95% media
Con acabado/pulido	30	159,03 \pm 29,63	156,76 (131,51–187,54)	119,49–210,07	18,63	147,97–170,10
Sin acabado/pulido	30	190,80 \pm 42,99	189,56 (150,15–227,96)	130,59–257,83	22,53	174,75–206,85

Tabla 5. Evaluación de la normalidad de los valores de resistencia a la compresión mediante la prueba de Shapiro–Wilk en los grupos experimentales

Grupo	W	p
A1	0,983	0,985
A2	0,935	0,320
B1	0,922	0,208
B2	0,935	0,327

A1: Resina impresa sin acabado y pulido; A2: Resina impresa con acabado y pulido; B1: Resina convencional sin acabado y pulido; B2: Resina convencional con acabado y pulido

Tabla 6. Análisis de varianza de dos factores (ANOVA bifactorial) de la resistencia a la compresión según el método de fabricación y el tratamiento superficial

Efecto	F (HC3)	p	Eta parcial ²
Método/Material	334,25	2,819e-25	0,866
Tratamiento	65,34	5,639e-11	0,596
Interacción (Método×Tratamiento)	11,75	1,148e-03	0,184

Las comparaciones de la prueba t de Welch con ajuste de Holm (**Tabla 7**) revelaron diferencias estadísticamente significativas entre todos los pares evaluados ($p < 0,05$).

Consecuentemente, tanto en resinas impresas como en convencionales el acabado y pulido se asoció con una disminución significativa de la resistencia a la compresión ($p < 0,001$); Asimismo, las resinas convencionales (B1 y B2) presentaron resistencias significativamente superiores a las resinas impresas (A1 y A2) tanto en las muestras sin acabado y pulido como en aquellas sometidas a tratamiento superficial ($p < 0,001$). La **Figura 2** confirmó visualmente que los grupos convencionales (B1 y B2) superaron a los impresos (A1 y A2) y que, en ambos materiales, los especímenes sin tratamiento superficial (A1 y B1) exhibieron mayores resistencias que sus respectivos grupos pulidos (A2 y B2).

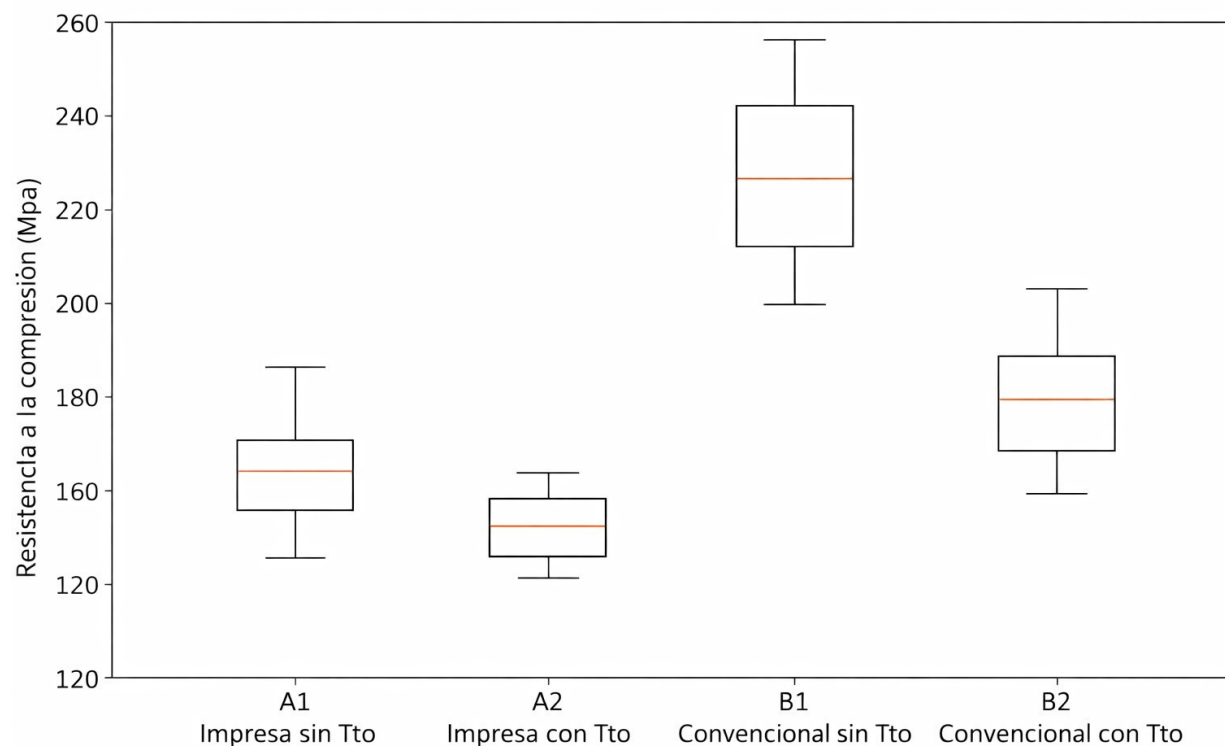
El análisis estadístico se realizó en Python utilizando pandas, SciPy y statsmodels, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ e intervalos de confianza al 95 %.

Tabla 7. Comparaciones planificadas entre los grupos A1, A2, B1 y B2 mediante la prueba t de Welch con ajuste de Holm.

Comparación	Descripción	Δ media (MPa)	IC 95%	p (Welch)	p (Holm)	g de Hedges
A2 - A1	Efecto tratamiento resina en impresa (Con - Sin)	-19,36	[-27,18, -11,54]	2,875e-05	2,875e-05	-1,81
B2 - B1	Efecto tratamiento en resina convencional (Con - Sin)	-44,17	[-56,25, -32,09]	6,390e-08	1,278e-07	-2,67
B1 - A1	Efecto método/material sin acabado (Conv - Impresa)	78,98	[67,23, 90,74]	5,561e-13	2,224e-12	4,93
B2 - A2	Efecto método/material con acabado (Conv - Impresa)	54,17	[45,80, 62,55]	1,604e-12	4,812e-12	4,75

A1: Resina impresa sin acabado y pulido; A2: Resina impresa con acabado y pulido; B1: Resina convencional sin acabado y pulido; B2: Resina convencional con acabado y pulido

Figura 2. Distribución de la influencia del acabado y pulido (Tto) en la resistencia a la compresión (MPa) entre resinas impresas y convencionales.



Se muestra la resistencia a la compresión de los cuatro grupos experimentales: **A1**, resina impresa 3D Voxel Print Ceramic sin acabado ni pulido; **A2**, resina impresa 3D Voxel Print Ceramic con acabado y pulido; **B1**, resina compuesta convencional Filtek Z350 XT sin acabado ni pulido; y **B2**, resina compuesta convencional Filtek Z350 XT con acabado y pulido. Se observó que los grupos de resina convencionales (B1 y B2) presentan valores superiores de resistencia a la compresión en comparación con los grupos de resina impresa (A1 y A2), y que, en ambos materiales, los especímenes sin tratamiento superficial (A1 y B1) muestran mayores resistencias que sus respectivos grupos pulidos (A2 y B2), lo que evidencia la influencia del acabado y pulido sobre el comportamiento mecánico del material.

Microscopía electrónica de barrido (SEM) de resinas impresas 3D Voxel Print Ceramic MT A2 (FGM, Brasil), y resinas convencionales 3M Filtek Z350 XT, (Solventum, Brasil) con y sin acabado y pulido

Las micrografías tomadas a muestras de cada tratamiento (**Figura 3**) mostraron que en el **Grupo A1** (resina impresa en 3D Voxel Print Ceramic sin acabado ni pulido), la micrografía **1A1 (267×)** reveló una morfología global marcadamente irregular, con márgenes poco definidos y distribución heterogénea del material; en **2A1 (533×)** se observaron agrupaciones de partículas finas adheridas a la superficie, microrelieves dispersos y microdepresiones superficiales, mientras que en **3A1 (1330×)** se identificaron microporosidades, aglomerados particulados y defectos distribuidos de forma irregular, configurando una textura granular altamente heterogénea.

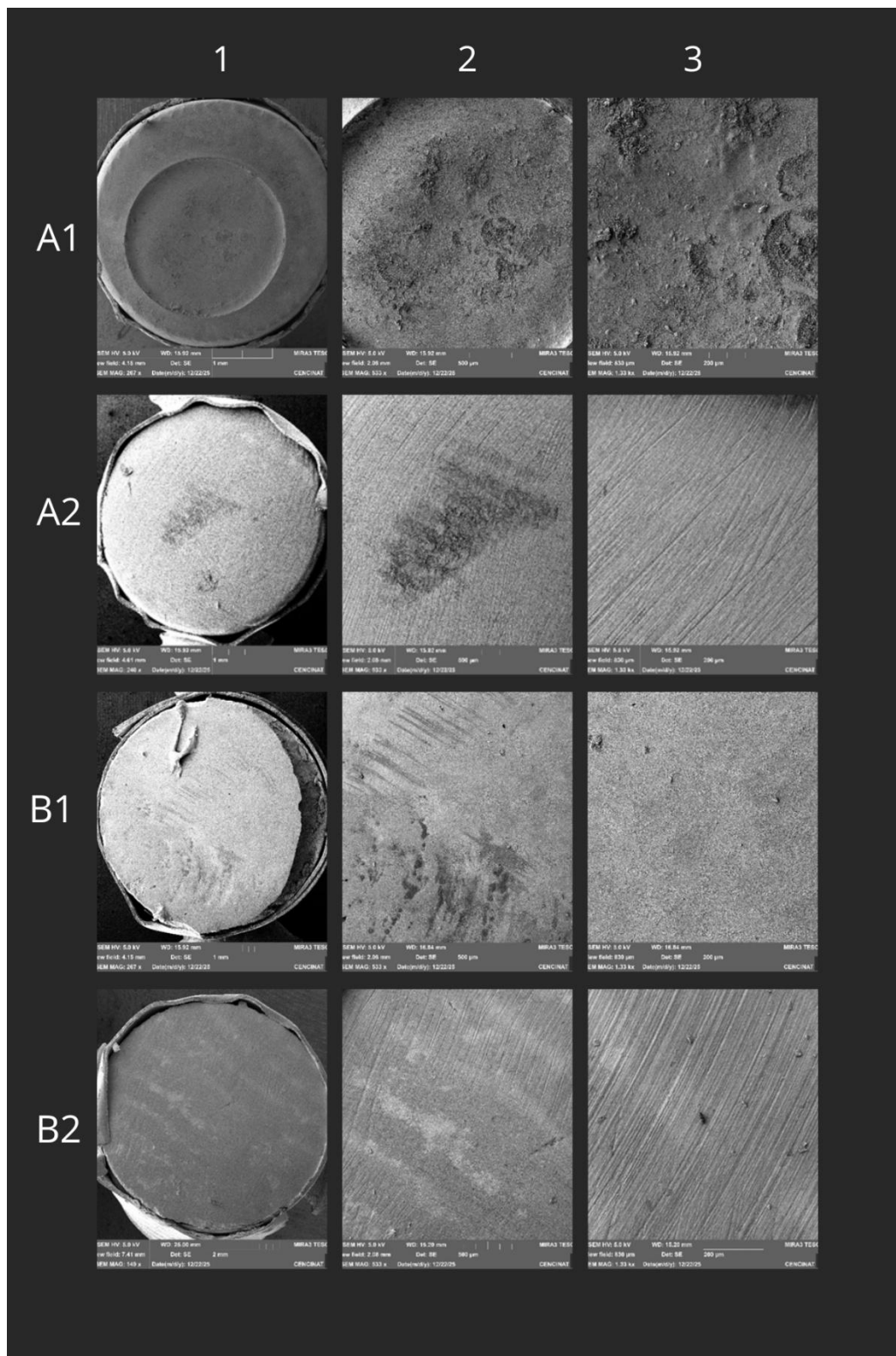
En el **Grupo A2** (resina impresa en 3D Voxel Print Ceramic con acabado y pulido), la micrografía **1A2 (240×)** mostró una superficie comparativamente más uniforme, aunque con restos particulados residuales; en **2A2 (533×)** se registraron microrelieves, microporos y microabrasiones asociadas al procedimiento de pulido, y en **3A2 (1330×)** se evidenció la coexistencia de regiones con alteración superficial caracterizadas por densos aglomerados

particulados y desprendimientos de la matriz junto con áreas con estrías longitudinales más regulares y menor microporosidad, indicando heterogeneidad espacial del tratamiento superficial.

En el **Grupo B1** (resina compuesta convencional Filtek Z350 XT sin acabado ni pulido), la micrografía **1B1 (267×)** evidenció una superficie continua y relativamente homogénea; en **2B1 (533×)** se identificaron estrías superficiales suaves compatibles con la conformación del espécimen y una matriz compacta con escasa porosidad visible, mientras que en **3B1 (1330×)** se observó una microtextura fina y densa con microporos aislados y ausencia de microfisuras evidentes.

Finalmente, en el **Grupo B2** (resina compuesta convencional Filtek Z350 XT con acabado y pulido), la micrografía **1B2 (149×)** mostró una topografía uniforme con marcas abrasivas finas y paralelas propias del procedimiento; en **2B2 (533×)** se registraron estrías longitudinales regulares con reducción de irregularidades y presencia ocasional de depósitos particulados finos, y en **3B2 (1330×)** se observó una superficie relativamente homogénea con microporos dispersos y microabrasiones controladas.

Figura 3. Análisis microestructural mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de resinas impresas en 3D y convencionales con y sin protocolo de acabado y pulido.



Micrografías obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) de los grupos A1 (resina 3D impresa sin acabado/pulido), A2 (resina 3D impresa con acabado/pulido), B1 (resina compuesta convencional sin acabado/pulido) y B2 (resina compuesta convencional con acabado/pulido), a diferentes magnificaciones. Se observa mayor irregularidad superficial en los grupos sin pulido y una superficie más homogénea en los grupos pulidos.

Perfilometría superficial de resinas impresas en 3D Voxel Print Ceramic y resinas convencionales 3M Filtek Z350 XT con y sin acabado y pulido

El análisis perfilométrico **Tabla 8** evidenció diferencias marcadas entre los cuatro grupos evaluados. En el Grupo A1 (resina impresa en 3D Voxel Print Ceramic A2 sin acabado ni pulido) se registraron valores de rugosidad promedio elevados y altamente variables, así como amplitudes zonales extremadamente altas, con picos y valles que alcanzaron hasta 8791,79 nm, lo que describe una topografía superficial irregular y heterogénea compatible con líneas de estratificación propias del proceso aditivo.

En contraste, el Grupo A2 (resina impresa con acabado y pulido) mostró una reducción notable de la rugosidad promedio y zonal, reflejando una eliminación parcial de las capas de impresión y una superficie más homogénea, aunque persistieron picos aislados que indican que el tratamiento superficial no eliminó completamente los defectos intrínsecos del material.

El Grupo B1 (resina compuesta convencional Filtek Z350 XT sin acabado ni pulido) presentó valores de rugosidad moderados, con defectos zonales localizados asociados a matriz orgánica expuesta, partículas de relleno sobresalientes e irregularidades derivadas de la manipulación, configurando una superficie más regular que la de las resinas impresas sin tratamiento.

Finalmente, el Grupo B2 (resina compuesta convencional Filtek Z350 XT con acabado y pulido) exhibió los valores más bajos de rugosidad promedio y zonal, describiendo una

topografía altamente homogénea con mínimos picos y valles, atribuible a una distribución uniforme del relleno y adecuada cohesión matriz-partícula.

Tabla 8. Parámetros de rugosidad superficial obtenidos por perfilometría en los grupos experimentales según material y protocolo de acabado y pulido.

Grupo	Repetición	Rugosidad Promedio (Pa) (nm)	Rugosidad Zonal: Pico o valle más intenso (Pa) (nm)
Grupo A1 Resina impresa sin acabado y pulido	p1	3006,24	4677,56
	p2	1404,52	2680,27
	p3	2605,23	8791,79
	p4	825,45	1601,17
	p5	562,62	3812,38
	p6	1627,06	3563,76
Grupo A2 Resina impresa con acabado y pulido	p1	214,51	740,37
	p2	1797,04	3380,81
	p3	168,18	520,92
	p4	245,18	90,94
	p5	630,14	1302,71
	p6	379,51	2511,164
Grupo B1 Resina convencion al sin acabado y pulido	p1	381,41	1495,33
	p2	277,11	864,95
	p3	164,44	2611,56
	p4	2120,45	4782,56
	p5	2894,88	7470,71
	p6	3874,29	6927,22
Grupo B2 Resina convencion al con acabado y pulido	p1	122,39	1560,85
	p2	198,59	679,06
	p3	9,42	1549,48
	p4	926,91	324,01
	p5	201,46	1517,6
	p6	44,50	603,39

Discusión

La odontología biomimética impulsó el desarrollo de restauraciones adhesivas mínimamente invasivas mediante resinas convencionales e impresas en 3D, cuyas propiedades mecánicas continuaron siendo objeto de análisis. La naturaleza aditiva de la impresión 3D influyó en la microestructura del material y en parámetros como la resistencia a la compresión,

flexión y desgaste (Salonen et al., 2025). Voxel Print Ceramic (FGM) fue descrita como un composite fotopolimerizable con alto contenido de cargas vitrocerámicas y estabilidad cromática, indicado para restauraciones sometidas a carga funcional (FGM Dental, 2021). Filtek Z350 XT (3M ESPE) fue reportada como un nanocompuesto con elevada retención de pulido y resistencia al desgaste, empleado ampliamente en restauraciones directas (3M ESPE, 2019).

El análisis de resistencia a la compresión evidenció valores superiores para la resina convencional en comparación con la resina impresa, así como una disminución tras el acabado y pulido en ambos materiales, fenómeno atribuido a modificaciones superficiales inducidas por instrumentos rotatorios como fresas de diamante y discos Sof-lex y a irregularidades propias del proceso de impresión. Hallazgos similares fueron informados por Salonen et al., 2025., quienes registraron en su estudio un análisis de resinas impresas Crowntec y Tem PRINT donde se observa un comportamiento similar en la disminución de la resistencia a la compresión tras la aplicación de tratamientos o condiciones que alteran la estructura del material, de 194,33 MPa en especímenes sin tratamiento y 162,58 MPa tras inmersión en agua destilada. Asimismo, los valores obtenidos en el presente estudio alcanzaron 151,31 MPa en especímenes sin tratamiento y 131,95 MPa luego del acabado y pulido, confirmando que los tratamientos y condiciones que modifican la superficie del material influyen negativamente en su resistencia a la compresión. En cambio, Alanazi et al., 2024., reportaron incrementos tras el pulido en resinas impresas CROWNTEC y NextDent, con valores de hasta 375,54 MPa lo que podría deberse a la eliminación de la capa superficial rica en monómeros no polimerizados, reduciendo la rugosidad y sellando microporos, permitiendo de esta manera una distribución más homogénea de las tensiones, mientras que en esta investigación el pulido se asoció con reducción de resistencia a

la compresión; lo que sugirió diferencias en protocolos y en la susceptibilidad superficial de las matrices poliméricas.

Kaur et al., 2022., utilizando especímenes del mismo tamaño que en el presente estudio, reportaron, para la resina bulk – fill alkasite Cention N, valores de resistencia a la compresión de $150,07 \pm 22,22$ MPa y para amalgama $90,56 \pm 15,23$ MPa (Kaur et al., 2022), mientras que Filtek Z350 XT presentó 230,29 MPa sin tratamiento y 186,12 MPa tras el acabado y pulido, lo que se relacionó posiblemente debido a su mayor contenido de relleno inorgánico, su matriz orgánica altamente reticulada y mayor grado de conversión. Paradowska-Stolarz et al., 2022., comunicaron un desempeño favorable de BioMed Amber, una resina impresa con adecuada rigidez y resistencia frente a cargas compresivas, gracias a su modulo elástico; mientras que Pantea et al., 2022 informaron 110 ± 9 MPa para NextDent C&B MFH, situando a Voxel Print Ceramic y Filtek Z350 XT por encima de esta última.

Por otro lado, Chen et al., 2016., empleando especímenes de 4×6 mm, reportaron que Quixfil alcanzó 244 ± 13 MPa, valor comparable al obtenido para Filtek Z350 XT sin tratamiento, confirmando así la elevada resistencia de los composites convencionales. Tribst et al., 2024., describieron valores entre 118 y 128 MPa para Permanent Crown Resin, entre 128 y 151 MPa para Tetric CAD y entre 32 y 45 MPa para Clearfil AP-X, mientras que Voxel Print Ceramic y Filtek Z350 XT presentaron resistencias mayores. A pesar de esto, Pot et al., 2024., indicaron un mejor comportamiento mecánico de la resina impresa VarseoSmile Crown Plus frente a la resina convencional Clearfil AP-X, en contraste con la superioridad compresiva observada en las resinas convencionales del presente estudio.

En un estudio relativo, realizado Sulaiman et al., 2022., se reportaron valores de 460 – 480 MPa para la cerámica híbrida Vita Enamic, 290 – 310 MPa para la resina convencional

Filtek Supreme Ultra y 260 – 280 MPa para LuxaCrown, superiores a los obtenidos en el estudio, confirmando la influencia de las cerámicas híbridas CAD/CAM que presentan el mejor desempeño mecánico. De igual manera, Paradowska-Stolarz et al., 2023., comunicaron valores extremadamente elevados (> 2400 MPa) para resinas industriales como BioMed Amber y Dental LT Clear. Estos valores se encuentran por encima de las capacidades fisiológicas dentarias que soportan cargas de 40 MPa, mientras que los valores registrados en el presente estudio se mantuvieron dentro del rango funcional del sistema estomatognático, inclusive bajo condiciones de bruxismo (70 MPa) (Todiç et al., 2017). En otro estudio, Paradowska-Stolarz, Wezgowiec, et al., 2023., reportaron para BioMed Amber (880 ± 30 MPa) sin pulido, (840 ± 40 MPa) tras pulido y (720 ± 30 MPa) luego del envejecimiento, tendencia coincidente con la reducción posterior al acabado y pulido observada aquí en el estudio.

La evaluación microscópica mostró que las resinas impresas sin tratamiento presentaron superficies irregulares con microporos y aglomerados, mientras que tras el pulido se observó una mejoría parcial acompañada de microdefectos residuales, en contraste con las resinas convencionales, que exhibieron superficies más homogéneas y compactas, lo que explicó su mejor desempeño mecánico (Perdigão et al., 2025.). Resultados similares fueron descritos por Alharbi et al., 2024., Karakaş et al., 2025., Vinagre et al., 2023., Albrecht et al., 2024., y Chowdhury et al., 2023., quienes destacaron la influencia del sistema y del momento del pulido en la topografía superficial.

La perfilometría confirmó estas observaciones, ya que la muestra A1 (resina impresa Voxel Print 3D sin acabado y pulido) presentó los valores de rugosidad más elevados y B2 (resina convencional Filtek Z350 XT con acabado y pulido) la superficie más homogénea, patrón coherente con lo descrito por Marghalani, 2010., y con estudios que atribuyen las irregularidades

de materiales impresos a la estratificación por capas del proceso aditivo. En cuanto la retención de microorganismos Dutra et al., 2018., reportaron que el acabado incrementó la rugosidad y la adhesión bacteriana, mientras que el pulido posterior redujo la retención de placa dependiendo del material y del sistema empleado. Ismail y Ali, 2023., indicaron que protocolos multietapa y fresas de carburo generaron superficies más lisas que las diamantadas y que la adhesión microbiana también dependió de la química y energía libre superficial. Por ello, se sugiere que el acabado y pulido, aunque disminuye la resistencia a la compresión, permite una menor acumulación de placa, lo que se traduce en una mejor salud oral al evitar complicaciones por infecciones microbianas.

Conclusiones

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a la compresión entre los grupos A1, A2, B1 y B2, lo que confirma que tanto el tipo de resina como el tratamiento superficial influyen de manera significativa en el comportamiento mecánico del material restaurador.

El tratamiento de acabado y pulido se asoció con una disminución significativa de la resistencia a la compresión en ambos tipos de resina, siendo esta reducción de mayor magnitud en la resina compuesta convencional (Filtek Z350 XT) que en la resina impresa en 3D (VoxelPrint). Sin embargo, a pesar de dicha disminución, la resina convencional mantuvo valores de resistencia significativamente superiores a los de la resina impresa tanto en los especímenes sin acabado ni pulido, como en aquellos sometidos a tratamiento superficial, lo que pone de manifiesto la influencia dominante del material en la respuesta mecánica.

El análisis mediante SEM y perfilometría demostró que las resinas impresas Voxel Print 3D presentan superficies más irregulares que las resinas convencionales, especialmente cuando

no reciben acabado y pulido. El tratamiento superficial redujo la rugosidad en ambos materiales; sin embargo, la resina convencional Filtek Z350 XT alcanzó las superficies más lisas, lo que se asoció con su microestructura nanorrellena y su mejor respuesta al pulido. En contraste, las resinas impresas conservaron irregularidades residuales incluso tras el tratamiento, evidenciando limitaciones del posprocesamiento para eliminar completamente los defectos derivados de la impresión 3D.

A pesar de la variabilidad observada en los valores de resistencia a la compresión, tanto la resina compuesta convencional como la resina impresa en 3D, demostraron un desempeño mecánico compatible con las cargas compresivas funcionales presentes en la cavidad oral. Incluso después de la aplicación del acabado y pulido, los valores de resistencia a la compresión se mantuvieron dentro de rangos considerados adecuados para su uso clínico. Si bien el acabado y pulido se asoció con una disminución de la resistencia a la compresión, este procedimiento continúa siendo clínicamente beneficioso por sus efectos positivos sobre la lisura superficial, la estética y el comportamiento biológico del material, sin comprometer la integridad funcional de las restauraciones.

Referencias

- 3M ESPE. (2019). *Filtek Z350 XT Restaurador Universal, Soluciones Versátiles y sencillas con resultados estéticos* (pp. 1–6), <https://multimedia.3m.com/mws/media/1359114O/folleto-restaurador-universal-filtek-z350-xt.pdf>
- Alanazi, K. K., Alzaid, A. A., Elkaffas, A. A., Bukhari, S. A., Althubaitiy, R. O., Alfaihi, K. A., Alfahdi, I. M., & Alqahtani, H. A. (2024). Mechanical Assessment of CAD/CAM Fabricated Hybrid Ceramics: An In Vitro Study. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14, (17-29) <https://doi.org/10.3390/app14177939>
- Albrecht, M., Schmidt, F., Menzel, F., Yassine, J., Beuer, F., & Unkovskiy, A. (2024). Comparative Analysis of Modern 3D-Printed Hybrid Resin-Ceramic Materials for Indirect Restorations: An In Vitro Study. *Polymers*, 16, (22-39). <https://doi.org/10.3390/polym16223161>
- 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), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-03958-8>
- Alshamrani, A., Alhotan, A., Owais, A., & Ellakwa, A. (2023). The Clinical Potential of 3D-Printed Crowns Reinforced with Zirconia and Glass Silica Microfillers. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(5), 267-284. <https://doi.org/10.3390/jfb14050267>
- Batmaz, S. G., Karakaş, S. N., & Küden, C. (2024). Surface characteristics and bacterial adhesion on single-shade composite resins: A comparative in vitro study of one-step versus multi-step polishing techniques. *Dental Materials Journal*, 43(6), 850–860. <https://doi.org/10.4012/dmj.2024-041>

- Baytur, S. (2025). Effects of post-polymerization conditions on color properties, surface roughness, and flexural strength of 3D-printed permanent resin material after thermal aging. *Journal of Prosthodontics*, 34(3), 298–307. <https://doi.org/10.1111/jopr.13818>
- Bhuyan, S., Swain, P. K., Mohanty, S., & ... (2023). Comparison of Compressive Strength of Bulk Filled Composite and Nano Hybrid Composite-an in-Vitro Study. *Student's Journal of*, 4(6), 1–15. <http://sjhresearchafrica.org/index.php/public-html/article/view/486>
- Chen, S., Öhman, C., Jefferies, S. R., Gray, H., Xia, W., & Engqvist, H. (2016). Compressive fatigue limit of four types of dental restorative materials. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 61, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2016.03.031>
- Chowdhury, D., Mukherjee, S., Maity, I., & Mazumdar, P. (2023). Surface roughness and microhardness evaluation of composite resin restorations subjected to three different polishing systems immediately and after 24 h: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*, 26(6), 639–645. https://doi.org/10.4103/JCDE.JCDE_106_23
- Della Bona A, Cantelli V, Britto VT, Collares KF, Stansbury JW (2020). 3D printing restorative materials using a stereolithographic technique: a systematic review. *Dental Materials*. 2021 Feb;37(2):336-350. doi: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.030> PMID: 33353734; PMCID: PMC7855936.
- Dutra, D. A. M., Pereira, G. K. R., Kantorski, K. Z., Valandro, L. F., & Zanatta, F. B. (2018). Does finishing and polishing of Restorative materials affect bacterial adhesion and biofilm formation. A systematic Review. *Operative Dentistry*, 43(1), 37–52. <https://doi.org/10.2341/17-073-L>

Voxel Print FGM. (2025). Voxelprint Resina 3D, Perfil Técnico (pp. 1–18).

https://fgmdentalgroup.com/wp-content/uploads/2025/02/92164_Perfil_Tecnico_Voxelprint_ES_Final-v2.pdf

International Organization for Standardization. (2009). *ISO 4049:2009 Dentistry Polymer based restorative materials, 1-58*.

Ismail, H. S., & Ali, A. I. (2023). The Effect of Finishing and Polishing Systems on Surface Roughness and Microbial Adhesion of Bulk Fill Composites: A Systematic Review and Meta-analysis. *Frontiers in Dentistry, 20*, 2–18.

<https://doi.org/10.18502/fid.v20i26.13344>

Karakas, S. N., Batmaz, S. G., Çiftçi, V., & Küden, C. (2025). Experimental study of polishing systems on surface roughness and color stability of novel bulk-fill composite resins.

BMC Oral Health, 25(1), 25-74. <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05465-w>

Kaur, G., Shetty, C., & Hegde, M. N. (2022). Comparative Evaluation of Compressive Strength and Fracture Resistance of Posterior Restorative Materials Alkasite and Newer Glass Ionomers with Amalgam: An In Vitro Study. *Journal of International Oral Health, 14*(6), 566–573. https://doi.org/10.4103/jioh.jioh_95_22

Lankes, V., Reymus, M., Liebermann, A., & Stawarczyk, B. (2023). Bond strength between temporary 3D printable resin and conventional resin composite: influence of cleaning methods and air-abrasion parameters. *Clinical Oral Investigations, 27*(1), 31–43.

<https://doi.org/10.1007/s00784-022-04800-7>

Marghalani, H. Y. (2010). Effect of finishing/polishing systems on the rough surface of novel posteriores composites. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, 22*(2), 127–138.

<https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2010.00324.x>

- Myagmar, G., Lee, J. H., Ahn, J. S., Yeo, I. S. L., Yoon, H. I., & Han, J. S. (2021). Wear of 3D printed and CAD/CAM milled interim resin materials after chewing simulation. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 13(3), 144–151. <https://doi.org/10.4047/JAP.2021.13.3.144>
- Pantea, M., Ciocoiu, R. C., Greabu, M., Totan, A. R., Imre, M., Țâncu, A. M. C., Sfeatcu, R., Spînu, T. C., Ilinca, R., & Petre, A. E. (2022). Compressive and Flexural Strength of 3D-Printed and Conventional Resins Designated for Interim Fixed Dental Prostheses: An In Vitro Comparison. *Materials*, 15(9), 3075-3090. <https://doi.org/10.3390/ma15093075>
- Paradowska-Stolarz, A., Malysa, A., & Mikulewicz, M. (2022). Comparison of the Compression and Tensile Modulus of Two Chosen Resins Used in Dentistry for 3D Printing. *Materials*, 15(24), 1-5. <https://doi.org/10.3390/ma15248956>
- Paradowska-Stolarz, A., Wezgowiec, J., Malysa, A., & Wieckiewicz, M. (2023). Effects of Polishing and Artificial Aging on Mechanical Properties of Dental LT Clear® Resin. *Journal of Functional Biomaterials*, 14(6), 1-7. <https://doi.org/10.3390/jfb14060295>
- Paradowska-Stolarz, A., Wieckiewicz, M., Kozakiewicz, M., & Jurczyszyn, K. (2023). Mechanical Properties, Fractal Dimension, and Texture Analysis of Selected 3D-Printed Resins Used in Dentistry That Underwent the Compression Test. *Polymers*, 15(7), 1-5. <https://doi.org/10.3390/polym15071772>
- Park, J. M., Ahn, J. S., Cha, H. S., & Lee, J. H. (2018). Wear resistance of 3D printing resin material opposing zirconia and metal antagonists. *Materials*, 11(6), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ma11061043>
- Perdigão, J., Zatt, F. P., Lopes, G. C., Caon, N. B., & Chen, R. (2025). Characterization of Universal Composite Resin Filler Particles. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 37(11), 2472–2480. <https://doi.org/10.1111/jerd.70009>

- Pot, G. J., Van Overschelde, P. A., Keulemans, F., Kleverlaan, C. J., & Tribst, J. P. M. (2024). Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials*, 17(16), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ma17163951>
- Saini, R. S., Gurumurthy, V., Quadri, S. A., Bavabeedu, S. S., Abdelaziz, K. M., Okshah, A., Alshadidi, A. A. F., Yessayan, L., Mosaddad, S. A., & Heboyan, A. (2024). The flexural strength of 3D-printed provisional restorations fabricated with different resins: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 24(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03826-x>
- Salonen, R., Garoushi, S., Vallittu, P., & Lassila, L. (2025). Characterization of temporary and permanent 3D-printed crown and bridge resins. *Biomaterial Investigations in Dentistry*, 12, 68–79. <https://doi.org/10.2340/biid.v12.43584>
- Shishehian, A., Firouz, F., Khazaei, S., Rajabi, H., Farhadian, M., & Niaghiha, F. (2023). Evaluating the color stability of 3D-printed resins against various solutions. *European Journal of Translational Myology*, 33(3), 1–7. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2023.11493>
- Silva, J. P., Coelho, A., Paula, A., Amaro, I., Saraiva, J., Ferreira, M. M., Marto, C. M., & Carrilho, E. (2021). The Influence of Irrigation during the Finishing and Polishing of Composite Resin Restorations—A Systematic Review of In Vitro Studies. *Materials*, 14(7), 1675-1687. <https://doi.org/10.3390/ma14071675>
- Sulaiman TA, Suliman AA, Mohamed EA, Rodgers B, Altak A, Johnston WM. Mechanical Properties of Bisacryl-, Composite-, and Ceramic-resin Restorative Materials. *Operative Dentistry*, 97–106. 2022 Jan 1;47(1):97-106. doi: 10.2341/20-191-L. PMID: 35029680.

- Tian, Y., Chen, C. X., Xu, X., Wang, J., Hou, X., Li, K., Lu, X., Shi, H. Y., Lee, E. S., & Jiang, H. B. (2021). A Review of 3D Printing in Dentistry: Technologies, Affecting Factors, and Applications. *Scanning*, 2021, 1–16. <https://doi.org/10.1155/2021/9950131>
- Todić, J. T., Mitić, A., Lazić, D., Radosavljević, R., & Staletović, M. (2017). Effects of bruxism on the maximum bite force. *Vojnosanitetski Pregled*, 74(2), 138–144. <https://doi.org/10.2298/VSP150327165T>
- Tribst, J. P. M., Veerman, A., Pereira, G. K. R., Kleverlaan, C. J., & Dal Piva, A. M. de O. (2024). Comparative Strength Study of Indirect Permanent Restorations: 3D-Printed, Milled, and Conventional Dental Composites. *Clinics and Practice*, 14(5), 1940–1952. <https://doi.org/10.3390/clinpract14050154>
- Vinagre, A., Barros, C., Gonçalves, J., Messias, A., Oliveira, F., & Ramos, J. (2023). Surface Roughness Evaluation of Resin Composites after Finishing and Polishing Using 3D-Profilometry. *International Journal of Dentistry*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2023/4078788>
- Yıldırım, M., Aykent, F., & Özdoğan, M. S. (2024). Comparison of fracture strength, surface hardness, and color stain of conventionally fabricated, 3D printed, and CAD-CAM milled interim prosthodontic materials after thermocycling. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 16(2), 115–125. <https://doi.org/10.4047/jap.2024.16.2.115>

Anexos

