

**RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES:
COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA,
ESTUDIO *in vitro***

**AUTORES
ENZO GABRIEL CORTES BONILLA
HELENA MARYEL ERAZO ZEPEDA**

**COLEGIO ODONTOLÓGICO
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACION ORAL
SANTIAGO DE CALI
20 DE MAYO DE 2026**

**RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES:
COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA,
ESTUDIO *in vitro***

AUTORES

CORTES BONILLA ENZO GABRIEL
ERAZO ZEPEDA HELENA MARYEL

DIRECTOR

EDGAR HERNÁN MENESES SILVA
ESPECIALISTA EN REHABILITACIÓN ORAL

ASESOR METODOLÓGICO

ALEJANDRA ORDOÑEZ MOLINA
MAGISTER EN EPIDEMIOLOGÍA

ASESOR ESTADÍSTICO

JULIAN ANDRES TAMAYO
MAGISTER EN LOGÍSTICA

COLEGIO ODONTOLÓGICO

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA COLEGIOS DE COLOMBIA - UNICOC
REHABILITACION ORAL



RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES: COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA, ESTUDIO *IN VITRO*

Compressive strength in posterior restorations: comparison between 3D-printed resin and milled resin, In vitro study

Erazo Zepeda Helena Maryel ¹, Cortés Bonilla Enzo Gabriel ¹, Ordóñez Molina Alejandra ², Tamayo Andrés Julián ³, Meneses Silva Edgar Hernán ⁴

1. Residente de Especialidad en Rehabilitación Oral, Institución Universitaria Colegios de Colombia.
2. Magister en Epidemiología, Docente en Institución Universitaria Colegios de Colombia.
3. Magister en Logística, Docente en Institución Universitaria Colegios de Colombia
4. Especialista en Rehabilitación Oral, Docente en Institución Universitaria Colegios de Colombia.

RESISTENCIA COMPRESIVA EN RESTAURACIONES POSTERIORES: COMPARACIÓN ENTRE RESINA IMPRESA 3D Y RESINA FRESADA, ESTUDIO *in vitro*

Resumen

Antecedentes: La odontología digital ha introducido dos métodos principales para fabricar restauraciones indirectas: el fresado el cual se da bajo tecnología sustractiva y la impresión 3D que es bajo capas aditivas. Aunque las resinas fresadas por CAD/CAM son el estándar actual con alta durabilidad, la impresión 3D surge como una alternativa con ventajas como menor costo y desperdicio de material. Sin embargo, existe evidencia limitada sobre si las resinas impresas 3D para restauraciones definitivas pueden igualar el rendimiento mecánico de las fresadas bajo cargas masticatorias y envejecimiento artificial. El mayor grado de conversión de monómeros y la menor porosidad intrínseca de los bloques industriales fresados podrían conferirles una mayor estabilidad mecánica en comparación con las estructuras polimerizadas por capas de la impresión 3D.

Objetivo: Comparar la resistencia a la compresión de restauraciones indirectas para el sector posterior elaboradas con resina de impresión PriZma Bio Crown Diamond (Makertech Labs) y resina Hyramic (Upcera) fresada mediante CAD-CAM, sometidas y no sometidas a envejecimiento artificial.

Métodos: Se realizó un estudio experimental *in vitro* con 20 muestras divididas en cuatro grupos (n=5): resina 3D sin termociclado, resina 3D con termociclado, resina CAD/CAM con termociclado y resina CAD/CAM sin termociclado. Se duplicó un molar humano con una preparación overlay en resina 3D impresa Portux model (New Stetic, Colombia) simulando el ligamento periodontal con silicona de adición Elite HD+® (Zhermak, Italia). El envejecimiento artificial consistió en un proceso de 5000 ciclos de termociclado (5-55°) en saliva artificial Salivar NF (Farpag) . Las pruebas de resistencia compresiva se ejecutaron en una máquina universal de ensayos Tinius Olsen (Carga axial, 0.5mm/min) hasta la fractura. Los datos obtenidos no siguieron una distribución normal, por lo que se emplearon pruebas no

paramétricas. La comparación de la resistencia compresiva entre los cuatro grupos experimentales se realizó mediante la prueba de Kruskal-Wallis, mientras que las comparaciones pareadas entre grupos independientes se llevaron a cabo con la prueba U de Mann-Whitney. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

Resultados: No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia compresiva global entre ambos materiales ($p=0,089$). No obstante, el termociclado redujo significativamente la resistencia de la resina impresa 3D (mediana de 11,91 MPa sin termociclado a 8,79 MPa con termociclado; $p=0,047$). Por el contrario, la resina fresada CAD/CAM mostró mayor estabilidad frente al envejecimiento, manteniendo valores constantes (13,02 MPa sin termociclado vs. 12,95 MPa con termociclado; $p=0,465$).

Conclusión: Ambos materiales presentan valores de resistencia compresiva clínicamente aceptables. Sin embargo, la resina fresada (CAD/CAM) demostró ser mecánicamente más estable y predecible a largo plazo frente al envejecimiento artificial en comparación con la resina impresa 3D. La degradación significativa de la resina impresa 3D tras el termociclado sugiere que su estructura polimerizada capa por capa podría conferir un menor grado de conversión final y mayor susceptibilidad a la degradación hidrotérmica, por lo que su uso en zonas de alta carga oclusal debe ser cauteloso hasta contar con mayor evidencia clínica.

Palabras clave:

CAD/CAM, resinas fresadas, impresión 3D, resistencia a la compresión, Resinas 3D, Overlay, Materiales dentales, Envejecimiento artificial.

COMPRESSIVE STRENGTH IN POSTERIOR RESTORATIONS: COMPARISON BETWEEN 3D-PRINTED RESIN AND MILLED RESIN, *in vitro* STUDY

Abstract

Background: Digital dentistry has introduced two main methods for fabricating indirect restorations: milling, which uses subtractive technology, and 3D printing, which uses additive layering. Although CAD/CAM milled resins are the current standard with high durability, 3D printing is emerging as an alternative with advantages such as lower cost and less material waste. However, there is limited evidence on whether 3D-printed resins for definitive restorations can match the mechanical performance of milled resins under masticatory loads and artificial aging. The higher degree of monomer conversion and lower intrinsic porosity of milled industrial blocks could confer greater mechanical stability compared to the layer-polymerized structures of 3D printing.

Objective: To compare the compressive strength of indirect restorations for the posterior sector made with PriZma Bio Crown Diamond printing resin (Makertech Labs) and Hyramic resin (Upcera) milled using CAD-CAM, subjected and not subjected to artificial aging.

Methods: An *in vitro* experimental study was conducted with 20 samples divided into four groups (n=5): 3D resin without thermocycling, 3D resin with thermocycling, CAD/CAM resin with thermocycling, and CAD/CAM resin without thermocycling. A human molar was duplicated with an overlay preparation in 3D-printed Portux model resin (New Stetic, Colombia), simulating the periodontal ligament with Elite HD+® addition silicone (Zhermak, Italy). Artificial aging consisted of a 5000-cycle thermocycling process (5-55°C) in Salivar NF artificial saliva (Farpag). Compressive strength tests were performed on a Tinius Olsen universal testing machine (axial load, 0.5 mm/min) until fracture. The data obtained did not follow a normal distribution; therefore, non-parametric tests were used. The Kruskal-Wallis test was used to compare compressive strength among the four experimental groups, while

paired comparisons between independent groups were performed using the Mann-Whitney U test. The level of statistical significance was set at $p < 0.05$.

Results: No statistically significant differences were found in the overall compressive strength between both materials ($p=0.089$). However, thermocycling significantly reduced the strength of the 3D-printed resin, decreasing from a median of 11.91 MPa to 8.79 MPa ($p=0.047$). In contrast, the milled CAD/CAM resin demonstrated greater stability against artificial aging, maintaining constant values (13.02 MPa without thermocycling vs. 12.95 MPa. with thermocycling ($p=0.465$).

Conclusion: Both materials exhibit clinically acceptable compressive strength values. However, the milled (CAD/CAM) resin proved to be mechanically more stable and predictable in the long term against artificial aging compared to the 3D-printed resin. The significant degradation of the 3D-printed resin after thermocycling suggests that its layer-by-layer polymerized structure may result in a lower degree of final conversion and greater susceptibility to hydrothermal degradation. Therefore, its use in areas of high occlusal load should be approached with caution until further clinical evidence is available.

Keywords

Milled Resins, CAD-CAM Printing, Three-Dimensional, Compressive Strength, Dental Restoration, Permanent, Dental materials, Artificial aging.

Introducción

Las restauraciones indirectas en el sector posterior constituyen una alternativa ampliamente utilizada para dientes con pérdida significativa de estructura dental. La correcta selección del material y la resistencia a la compresión del material restaurador son aspectos cruciales para asegurar durabilidad y funcionalidad de estas restauraciones, ya que deben soportar cargas masticatorias intensas que en, la zona molar, pueden alcanzar hasta 900N (1,2).

La digitalización se ha convertido en un elemento fundamental de la odontología moderna, integrándose cada vez más en la práctica diaria. Dentro de este flujo de trabajo, dichas aplicaciones facilitan la creación del producto final mediante dos enfoques de fabricación distintos: la fabricación sustractiva y la fabricación aditiva (3–5)

En la última década, las tecnologías CAD/CAM (Diseño y Fabricación Asistida por Computadora) que consisten en la recopilación y el procesamiento de datos, así para la fabricación de restauraciones han mejorado la precisión y la adaptabilidad clínica de las restauraciones definitivas, las tecnologías CAD/CAM incluyen tanto métodos de producción aditiva como sustractiva (4,5).

La fabricación sustractiva en odontología es un proceso en el que una restauración se obtiene a partir de un bloque de material mediante fresado controlado por computadora, permitiendo crear estructuras tridimensionales precisas a través de sistemas CAD/CAM, una de sus principales limitaciones es que generan pérdida de material y la imposibilidad de reutilizar estos residuos plantea desafíos tanto ambientales como económicos (3,6–8).

La impresión tridimensional (3D) ha surgido como una alternativa eficiente que consiste en crear estructuras capa por capa a partir de modelos digitales, permitiendo restauraciones dentales personalizadas con menor costo, tiempo y desperdicio de material, permitiendo además restauraciones más complejas (8–12).

Actualmente las resinas 3D nanohíbridas reforzadas con partículas cerámicas se proponen como materiales para restauraciones definitivas, sin embargo, existen

dudas sobre la resistencia y durabilidad de las restauraciones definitivas impresas en resina 3D en comparación con otros materiales para restauraciones definitivas como lo son, las resinas fresadas mediante CAD-CAM. Los bloques de resina compuesta CAD/CAM presentan una estructura más homogénea y resistente debido a su fabricación industrial, mientras que la impresión 3D puede generar variaciones en la resistencia por su polimerización capa por capa (13,14). Las resinas fresadas han establecido un estándar con tasas de supervivencia de 90-95% a 5 años (2), mientras que estudios recientes reportan que las resinas impresas 3D para restauraciones definitivas presentan valores de resistencia compresiva aproximados entre 128 y 143 Mpa, inferiores a los de las fresadas 155-244 Mpa (15). No obstante, la mayoría de los estudios han evaluado estas propiedades sin considerar el efecto del envejecimiento artificial, ni la simulación del ligamento periodontal, el cual actúa como un amortiguador de tensiones en los dientes naturales por lo que es importante simular esta situación clínica (2)

Por lo tanto, este estudio se planteó evaluar comparativamente la resistencia compresiva de restauraciones indirectas tipo overlay en el sector posterior, fabricadas con resina de impresión 3D (Prizma Bio Crown Diamond, Makertech Labs) y resina en bloque fresada mediante CAD-CAM (Hyramic, Upcera), considerando el efecto del termociclado en saliva artificial para simular el envejecimiento que estas restauraciones sufren en la cavidad oral, así como la simulación del ligamento periodontal.

Materiales y Métodos

Se realizó un estudio experimental comparativo *in vitro*, realizado en el laboratorio de materiales cerámicos y compuestos de la facultad de ingeniería de la Universidad del Valle, cuya población estuvo constituida por restauraciones indirectas tipo overlay elaboradas con resina de impresión 3D (Prizma Bio Crown Diamond, Makertech Labs) y resina CAD/CAM (Hyramic, Upcera) su composición química se puede ver en la tabla 1, cementadas sobre dientes de resina impresa 3D Portux

model (New Stetic, Colombia) estandarizados obtenidos por el escaneo y la duplicación de un molar humano al cual previamente se le realizó una preparación overlay.

El cálculo del tamaño de muestra se realizó a partir de los resultados obtenidos en la prueba piloto, por medio de la calculadora de tamaño muestral Granmo mediante un procedimiento para dos medias independientes. Considerando un riesgo α de 0.05 ($Z = 1.96$), un poder estadístico del 80 % ($Z = 0.84$), una desviación estándar común σ^2 de 222.35 N y una diferencia mínima a detectar Δ de 282.66 N, se determinó que serían necesarias 10 muestras para cada grupo de resina, es decir, 10 para las restauraciones de resina 3D y 10 para las restauraciones CAD/CAM, las cuales fueron distribuidas en 4 subgrupos ($n=5$):

- 3D: Resina 3D impresa (PriZma Bio Crown Diamond de Makertech) sin termociclado.
- 3D termo: Resina 3D impresa (PriZma Bio Crown Diamond de Makertech) con termociclado.
- CAD/CAM: Resina en bloque fresada mediante CAD/CAM (HYRAMIC de UPCERA) sin termociclado.
- CAD/CAM termo: Resina en bloque fresada mediante CAD/CAM (HYRAMIC de UPCERA) con termociclado.

Esta distribución fue realizada mediante muestreo aleatorio simple.

Se incluyeron restauraciones overlay sin imprecisiones, burbujas o deformidades, cementadas en dientes de resina impresa y se excluyeron especímenes fracturados antes del ensayo.

Las variables independientes fueron: material restaurador y envejecimiento artificial y la variable dependiente fue resistencia compresiva.

Fabricación de las muestras:

Para la elaboración de las muestras se obtuvo un molar humano el cual fue preparado para una restauración tipo overlay siguiendo el protocolo de preparación

guiada por la morfología dental de Veneziani (16) con reducción oclusal anatómica de 1.5 mm utilizando matrices guías de silicona por condensación (Z Labor) y márgenes biselados (17) (Figura 1). El diente fue escaneado con un escáner 3shape de Trios y con los datos STL se obtuvieron 20 duplicados en resina para modelos (Portux model, New Stetic). En todos los especímenes se simuló el ligamento periodontal utilizando cera (Geo classic Renfert) calibrada a 0.3 mm a 2 mm por debajo de la unión amelocementaria, los dientes se montaron en acrílico (Veracryl®, New Estetic, Colombia) y posteriormente se reemplazó la cera por silicona de adición (Elite HD+®, Zhermak, Italia), recolocando el diente en el molde de acrílico y eliminando los excesos de silicona con un bisturi una vez este polimerizó, siguiendo la metodología del estudio realizado por Torres (2) (Figura 2), las muestras se marcaron de 1 al 5 indicando el material de la restauración y si se aplicó o no termociclado.

Las restauraciones fueron diseñadas con el software Exocad 3.2, los parámetros del diseño fueron estandarizados para ambos grupos, se realizó un diseño único para las incrustaciones (Figura 3).

Para el grupo de resina 3D las restauraciones fueron fabricadas mediante una impresora de resina 3D de resina de marca ELEGOO serie Mars (Figura 4A) utilizando la resina PriZma Bio Crown Diamond (Makertech), siguiendo el protocolo de post-procesado y curado: Se lavaron las incrustaciones con alcohol isopropílico al 95% por 5 minutos para eliminar la resina sin polimerizar y luego se secaron y se realizó un proceso de post-curado UV de 380-405 nm durante 15 minutos, esto se realizó en una cámara de curado ELEGOO Mercury Plus (Figura 4B), se retiraron los pines de soporte, se realizaron ajustes y pulido mecánico (Figura 5A).

Para las resinas fresadas se fabricaron 10 restauraciones indirectas de resina en bloque HYRAMIC de UPCERA) utilizando una fresadora dental (Fresadorav42 de UPCERA) siguiendo las recomendaciones del fabricante, se recortaron los excesos y se pulieron (Figura 5B).

Para la cementación se arenaron las restauraciones y los dientes impresos con óxido de aluminio de 50 μm a 10 mm de distancia por 10 segundos y se lavaron y secaron. Las superficies de resina 3D de las restauraciones y los dientes duplicados se grabaron con ácido fosfórico al 37% (Zafira, New Esthetic) por 45 segundos, mientras que a las restauraciones CAD-CAM se aplicó silano por 1 minuto y se aplicó adhesivo universal (All bond, Bisco), se fotopolimerizó 20 segundos con una lámpara de fotocurado (Curing pen, eighteen), se colocó cemento resinoso dual (Duolink, Bisco), tras asentar la restauración, se retiraron excesos con pincel, se esperó autopolimerización 60 segundos y luego se fotopolimerizó 40 segundos por cada cara (Figura 6).

Envejecimiento artificial: La mitad de las muestras de cada material (n=5) fueron sometidas a 5,000 ciclos (5°-55°) de termociclado en saliva artificial (Salivar NF, Farpag) equivalente a 6 meses en la cavidad oral aproximadamente (Figura 7).

Prueba de resistencia compresiva: Se utilizó una máquina universal de ensayos (Tinius Olsen) con celda de carga de 50kN con incertidumbre 0.21% lo que significa que el valor de fuerza que mide puede variar hasta un 0.21% más o menos del valor real. Se colocó un balón metálico de 3.8 mm sobre la cara oclusal de las restauraciones y se aplicó una fuerza uniaxial de 90° con velocidad constante 0.5 mm/min hasta la fractura. Se registró la fuerza máxima (N) y se calculó el esfuerzo máximo (Mpa) el esfuerzo a través de la siguiente ecuación: $\text{Esfuerzo} = F / A$, donde F es la fuerza (N) y A el área transversal ($\text{ancho 1} \times \text{ancho 2}$ en mm^2) y se registraron los resultados (Figura 8).

Análisis estadístico: Se realizó análisis descriptivo con medianas y rangos intercuartílicos (RIC). La comparación entre grupos se efectuó con pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whitney. El nivel de significancia fue $p < 0.05$.

Consideraciones éticas: El estudio fue clasificado como riesgo mínimo según la resolución 8430 de 1993. Se obtuvo consentimiento informado para el uso del único

diente extraído. El protocolo fue aprobado por el comité de ética de la Institución Universitaria Colegios de Colombia.

Resultados

Descripción de la muestra

La muestra de este estudio consistió en 20 restauraciones de técnica indirecta de tipo overlay para el sector posterior, fabricadas mediante tecnología aditiva (impresión 3D) y sustractiva (fresado CAD/CAM). Las restauraciones fueron distribuidas en cuatro grupos (n=5 cada uno): 3D, 3D Termo, CAD-CAM y CAD-CAM Termo.

Comparación según el tipo de material

Al consolidar los resultados por tecnología de fabricación, la resina fresada mediante CAD/CAM (Hyramic) mostró una mediana de resistencia superior (12,99 MPa) frente a la resina de impresión 3D (PriZma Bio Crown Diamond), que obtuvo una mediana de 10,34 MPa. A pesar de esta diferencia numérica a favor del sistema sustractivo, el análisis estadístico arrojó un valor de $p = 0,089$, lo que indica que la diferencia en la resistencia compresiva entre ambos materiales no alcanzó niveles de significancia estadística (Tabla 2).

Resistencia compresiva entre grupos: La prueba de Kruskal- Wallis no mostró diferencias significativas entre los cuatro grupos ($p = 0.071$). El grupo 3D presentó una mediana de 11,91 Mpa (RIC: 10,66-13,72 MPa), mientras que el grupo 3D Termociclado mostró una mediana de 8,79 MPa (RIC: 7,76-8,97 MPa). En los grupos CAD-CAM, las medianas fueron 13,02 MPa (RIC; 11,22-13,72 MPa) para el grupo sin termociclado y 12,95 MPa (RIC: 11,84-14,48 Mpa) para el grupo con termociclado (Tabla 3) (Gráfico 1).

Comparación de la resistencia compresiva según el tipo de material: Según el tipo de material restaurador, independientemente del termociclado, la resina CAD-CAM presentó una mediana de 12,99 MPa (RIC: 11,33-13,84 MPa), mientras que la resina impresa 3D mostró una mediana de 10,34 MPa (RIC: 8,79 – 12,05 MPa).

No se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos materiales ($p=0,089$). (Tabla 2) (Gráfico 2). Las comparaciones entre los materiales sin termociclado ($p=1,00$) y con termociclado ($p=0,28$) tampoco fueron significativas. (Tabla 4).

Comparación de la resistencia compresiva según el efecto del envejecimiento artificial de cada resina: En la resina impresa 3D, la comparación entre grupos con y sin termociclado evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.047$), indicando una reducción de la resistencia compresiva tras el envejecimiento artificial. En contraste, la resina fresada CAD-CAM no mostró diferencias significativas entre grupos ($p=0,0465$). (Tabla 5) (Gráfico 3).

Discusión

El propósito del estudio fue comparar la resistencia compresiva de incrustaciones indirecta tipo overlay fabricadas mediante dos sistemas diferentes de fabricación como son: impresión 3D y fresado CAD/CAM.

Los resultados indicaron que, aunque el sistema de fresado con la cerámica híbrida Hylamic mostró una mediana de resistencia superior (12,99 MPa) frente a la resina impresa PriZma Bio Crown Diamond (10,34 MPa), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,089$) entre los dos materiales, aunque ambos materiales presentaron valores clínicamente aceptables, la resina fresada mostró una mayor estabilidad mecánica frente al fresado. Esta tendencia concuerda con estudios previos que reportan propiedades mecánicas superiores en materiales CAD-CAM. Dicha superioridad se explica por su fabricación industrial bajo condiciones controladas de presión y temperatura, lo que resulta en un mayor grado de conversión de monómeros, una red de polímeros más densa y entrecruzada, y una menor porosidad estructural en comparación con la naturaleza laminar y la polimerización secuencial de los materiales impresos en 3D(13,14).

La mayor estabilidad mecánica observada en Hylamic (Upcera) podría estar relacionada con su mayor contenido de relleno inorgánico (55-85%), en comparación con PriZma 3D Bio Crown (52%). Una mayor proporción de partículas

inorgánicas se asocia con mejor resistencia mecánica y menor degradación por envejecimiento, lo que podría explicar la estabilidad de la resina CAD-CAM tras el termociclado (14).

Uno de los hallazgos más relevantes fue la disminución significativa de la resistencia compresiva de la resina impresa tras el termociclado (de 11,91 Mpa a 8,79 Mpa; $p=0,047$), mientras que la resina fresada mantuvo sus valores estables (13,02 Mpa vs. 12,95 Mpa; $p=0,465$). Este comportamiento puede atribuirse a la mayor susceptibilidad de las estructuras poliméricas impresas al estrés térmico y la absorción de agua que generan degradación de la matriz polimérica y debilitamiento de las capas de impresión (18–20). La resina fresada, al poseer un mayor entrecruzamiento y polimerización industrial, presenta mayor resistencia a estos fenómenos (21).

Por lo que se puede considerar que la superioridad numérica de la tecnología sustractiva puede explicarse por su composición química. Como se detalla en la Tabla 5, el material Hylamic posee un alto contenido de relleno inorgánico (55-85%) (22,23) factor que es determinante para la dureza y la estabilidad estructural (24,25). En contraste, la resina PriZma Bio Crown Diamond, clasificada como nanohíbrida, depende de una polimerización capa por capa que, aunque es eficiente, puede presentar una menor densidad de entrecruzamiento polimérico en comparación con los bloques industriales (18,26,27).

Desde el punto de vista clínico los valores de resistencia compresiva observados en ambos materiales superan las fuerzas masticatorias funcionales reportadas en el sector posterior (400-890 N, equivalentes a 8-12 Mpa considerando el área de contacto) independientemente del método de fabricación (2,28). Sin embargo, la degradación significativa de la resina impresa 3D tras el envejecimiento artificial sugiere su uso preferiblemente en restauraciones provisionales a largo plazo y si se hace uso en restauraciones definitivas en zonas de alta carga debe realizarse con precaución y acompañado de seguimiento clínico estrecho, hasta que exista mayor evidencia clínica a largo plazo (29).

Por tanto, la elección entre fresado o impresión 3D debe basarse en la complejidad del caso y el flujo de trabajo digital preferido, dado que mecánicamente ambos sistemas ofrecen un soporte confiable para restauraciones indirectas posteriores (15,19,21,25).

Entre las limitaciones del estudio se encuentra el tamaño de muestra reducido ($n=5$ por subgrupo) y la naturaleza *in vitro*, que no reproduce completamente las condiciones orales (fuerzas cíclicas, cambios de pH, carga bacteriana). Así mismo el número de ciclos de termociclado (5.000) que equivalen a 6 meses, se requieren estudios con un mayor número de ciclos para evaluar la degradación a largo plazo. Como fortaleza se debe destacar la aplicación de un simulador de ligamento periodontal y el uso de saliva artificial en este ensayo permitió una distribución de cargas más realista.

Conclusiones

Bajo las condiciones controladas de este estudio *in vitro*, se concluye que:

La resina fresada (CAD-CAM) como la de impresión 3D muestran una resistencia compresiva inicial comparable. Sin embargo, la resina fresada (Hyramic Upcera) demostró una estabilidad mecánica superior y un comportamiento más predecible, manteniendo sus valores de resistencia sin alteraciones significativas ($p=0,465$) tras ser sometida a envejecimiento artificial mediante termociclado.

La resina impresa 3D es significativamente más susceptible a la degradación por estrés térmico e hídrico, evidenciado por una caída importante en su resistencia compresiva tras el termociclado (de 11.91 MPa a 8.79 MPa; $p=0.047$), lo que sugiere un menor grado de conversión efectivo en comparación con su contraparte industrial.

Si bien la impresión 3D ofrece ventajas en eficiencia y desperdicio de material, su susceptibilidad a la degradación hidrotérmica plantea interrogantes sobre su longevidad. La resina fresada, al ser procesada industrialmente bajo condiciones óptimas, ofrece una estructura más densa que limita la degradación. Por lo tanto, la

resina fresada se posiciona como una opción más ideal para el sector posterior, mientras que el uso de resinas impresas para restauraciones definitivas en el sector posterior requiere una evaluación más profunda y un seguimiento clínico riguroso.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar estudios con tamaños de muestras mayores y protocolos de envejecimiento más prolongados (mayor número de ciclos de termociclado) para determinar si la degradación de la resina impresa 3D progresa o se estabiliza con el tiempo.
2. Es aconsejable evaluar otras propiedades mecánicas complementarias (resistencia a la flexión, dureza superficial, resistencia al desgaste) y analizar la interfaz adhesiva de estos materiales.
3. Para la práctica clínica se recomienda el uso de la resina PriZma Bio Crown Diamond en restauraciones definitivas del sector posterior a casos con demandas funcionales moderadas y con seguimiento clínico estrecho, hasta que exista mayor evidencia que respalde su uso a largo plazo.
4. Se recomienda evaluar diferentes marcas comerciales de resina de impresión 3D y resina en bloque CAD-CAM para determinar si los hallazgos obtenidos son generalizables.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Edgar Hernán Meneses Silva por su dirección y orientación en el desarrollo de esta investigación; a la Mg. Alejandra Ordoñez Molina y al Mg. Julián Andrés Tamayo por su asesoría metodológica y estadística. Asimismo, agradecen al Laboratorio de Materiales Cerámicos de la Universidad del Valle y al Laboratorio de Investigación en Materiales y Ciencias Básicas de la Universidad Nacional de Colombia por facilitar las instalaciones y el apoyo técnico para la realización de las pruebas de termociclado y resistencia a la compresión.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la realización de este estudio. Los materiales utilizados fueron adquiridos comercialmente sin patrocinio por parte de los fabricantes.

Referencias

1. Alshargawi WK, Tawhari FE, Aladwani AS, Hassanein ZA, Fageeh SN, Almeshrf AW, et al. The effectiveness of direct versus indirect restoration techniques following canal therapy. *Int J Community Med Public Health*. 2024 Sep 18;11(10):4077–80. doi:10.18203/2394-6040.ijcmph20242686
2. Torres E. Comparación de la resistencia a la fractura de tres materiales CAD-CAM para incrustaciones: VITA ENAMIC®, CERASMART™ GC E IPS E.MAX® CAD. Estudio in-vitro [Internet]. 2018 Feb. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/349475254>
3. Peskersoy C, Oguzhan A. Evaluation of the Mechanical and Adhesion Characteristics of Indirect Restorations Manufactured with Three-Dimensional Printing. *Polymers (Basel)*. 2024 Mar 1;16(5). doi:10.3390/polym16050613
4. Pot GJ, Van Overschelde PA, Keulemans F, Kleverlaan CJ, Tribst JPM. Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2024. doi:10.3390/ma17163951
5. Rafal Kareem Rasheed, Nidhal Sahib Mansoor, Nihad Hasan Mohammed, Syed Saad B Qasim. Subtractive and Additive Technologies in Fixed Dental Restoration: A Systematic Review. *Journal of Techniques*. 2023 Dec 31;5(4):162–7. doi:10.51173/jt.v5i4.1034
6. Daher R, Ardu S, di Bella E, Krejci I, Duc O. Efficiency of 3D printed composite resin restorations compared with subtractive materials: Evaluation of fatigue behavior, cost, and time of production. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024 May 1;131(5):943–50. doi:10.1016/j.prosdent.2022.08.001 PubMed PMID: 36333176.
7. Pantea M, Ciocoiu RC, Greabu M, Totan AR, Imre M, Țâncu AMC, et al. Compressive and Flexural Strength of 3D-Printed and Conventional Resins

Designated for Interim Fixed Dental Prostheses: An In Vitro Comparison. *Materials*. 2022 May 1;15(9). doi:10.3390/ma15093075

8. Mandurino M, Cortili S, Coccoluto L, Greco K, Cantatore G, Gherlone EF, et al. Mechanical Properties of 3D Printed vs. Subtractively Manufactured Composite Resins for Permanent Restorations: A Systematic Review. *Materials*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI); 2025. doi:10.3390/ma18050985
9. Barazanchi A, Li KC, Al-Amleh B, Lyons K, Waddell JN. Additive Technology: Update on Current Materials and Applications in Dentistry. *Journal of Prosthodontics*. 2017 Feb 1;26(2):156–63. doi:10.1111/jopr.12510 PubMed PMID: 27662423.
10. M. Beleges Essa, A. Khurayzi T, A. Dallak S, M.A. Hadi R, M. Akkam A, J. Okiry A, et al. Applications of 3D Printing in Restorative Dentistry: The Present Scenario. *Saudi Journal of Oral and Dental Research*. 2021 Jan 9;6(1):15–21. doi:10.36348/sjodr.2021.v06i01.003
11. Alenezi A, Yehya M. Evaluating the Accuracy of Dental Restorations Manufactured by Two CAD/CAM Milling Systems and Their Prototypes Fabricated by 3D Printing Methods: An In Vitro Study. *Int J Prosthodont*. 2023 May;36(3):293–300. doi:10.11607/ijp.7633 PubMed PMID: 34919097.
12. Prause E, Malgaj T, Kocjan A, Beuer F, Hey J, Jevnikar P, et al. Mechanical properties of 3D-printed and milled composite resins for definitive restorations: An in vitro comparison of initial strength and fatigue behavior. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2024 Feb 1;36(2):391–401. doi:10.1111/jerd.13132 PubMed PMID: 37680013.
13. Prpić V, Schauperl Z, Čatić A, Dulčić N, Čimić S. Comparison of Mechanical Properties of 3D-Printed, CAD/CAM, and Conventional Denture Base Materials. *Journal of Prosthodontics*. 2020 Jul 1;29(6):524–8. doi:10.1111/jopr.13175 PubMed PMID: 32270904.

14. Mahran GA, El-Banna A, El-Korashy DI. Evaluation of a 3D-printed nanohybrid resin composite versus a milled resin composite for flexural strength, wear and color stability. *BMC Oral Health*. 2025 Dec 1;25(1). doi:10.1186/s12903-025-05861-2 PubMed PMID: 40234948.
15. Tayeb HK, Silikas N, Alhaddad AJ, Satterthwaite J. Flexural Strength and Hardness Analysis of 3D-Printed vs. Milled Resin Composites Indicated for Definitive Crowns. *J Funct Biomater*. 2025 Dec 1;16(12). doi:10.3390/jfb16120468
16. Veneziani M. Posterior indirect adhesive restorations: updated indications and the Morphology Driven Preparation Technique [Internet]. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/317022052>
17. Di Fiore A, Stellini E, Alageel O, Alhotan A. Comparison of mechanical and surface properties of two 3D printed composite resins for definitive restoration. *J Prosthet Dent*. 2024 Jul 3 [Epub ahead of print]. doi: 10.1016/j.prosdent.2024.07.003
18. Xiao S, Zhang RJ, Tan FB. Effect of thermal cycling on the mechanical properties of conventional, milled, and 3D-printed base resin materials: a comparative in vitro study. *PeerJ*. 2025;13(3). doi:10.7717/peerj.19141
19. Nunes Sampaio G, Pedro J, De J, Limírio O, Marcela J, Gomes L, et al. Evaluation of mechanical properties of CAD-CAM composite resins for milled versus 3D printed definitive restorations: A systematic review and meta-analysis [Internet]. Available from: <https://osf.io/gps2f/>
20. Azab A, Abdelhady WA, Elwakeel E, Ashraf M, Wally R, Soliman A, et al. Systematic review and meta analysis of mechanical properties of 3D printed denture bases compared to milled and conventional materials. *Sci Rep*. 2025 Dec 1;15(1). doi:10.1038/s41598-025-14288-2 PubMed PMID: 40783443.
21. Hyramic Reliable Materials Expert.

22. CERÁMICA HÍBRIDA HYRAMIC DE UPCERA.
23. Suksuphan P, Krajangta N, Didron PP, Wasanapiarnpong T, Rakmanee T. Marginal adaptation and fracture resistance of milled and 3D-printed CAD/CAM hybrid dental crown materials with various occlusal thicknesses. *J Prosthodont Res.* 2024;68(2):326–35. doi:10.2186/jpr.JPR_D_23_00089 PubMed PMID: 37438119.
24. Berar AM, Dulescu MC, Carbonel M, Bocanet V, Buduru SD. In-Vitro Comparative Study of Compressive Strength in CAD/CAM Dental Materials [Internet]. 2023. Available from: <https://www.preprints.org/manuscript/202309.1181/v1> doi:10.20944/preprints202309.1181.v1
25. Soares L de M, Romano B de C, André CB, Giannini M. Effect of glycerin gel application for post-curing process on the flexural strength, elastic modulus, and microhardness of 3D printing resins. *Braz Dent J.* 2025;36. doi:10.1590/0103-644020256361
26. Tozo-Burgos JG, Juárez-Vizcarra CF, Calla-Poma R, Sánchez-Tito M. Fracture Resistance of CAD/CAM Nanohybrid Resin Occlusal Veneers Based on Bonding Surface: Enamel vs. Enamel-Dentin vs. Enamel-Resin Coating. *J Clin Exp Dent.* 2025;17(6):e675–82. doi:10.4317/jced.62793
27. Pot GJ, Van Overschelde PA, Keulemans F, Kleverlaan CJ, Tribst JPM. Mechanical Properties of Additive-Manufactured Composite-Based Resins for Permanent Indirect Restorations: A Scoping Review. *Materials. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI);* 2024. doi:10.3390/ma17163951
28. Balestra D, Lowther M, Goracci C, Mandurino M, Cortili S, Paolone G, et al. 3D Printed Materials for Permanent Restorations in Indirect Restorative and Prosthetic Dentistry: A Critical Review of the Literature. *Materials.*

Anexos

Figuras

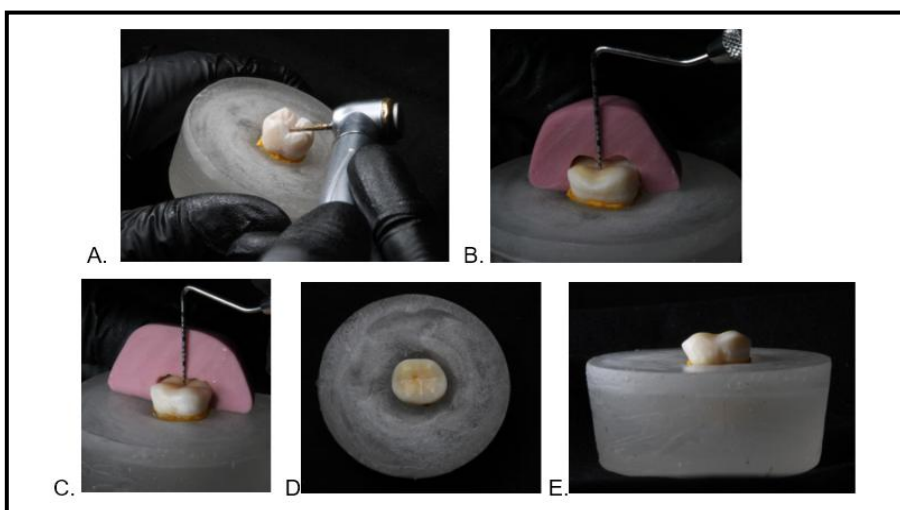


Figura 1. A. Realización reparaciones anatómicas overlay, B. Matriz sagital con desgaste a 1.5 mm, C. Matriz vestibular con desgaste a 1.5 mm, D. Preparación overlay vista oclusal, E. preparación overlay vista vestibular. Fuente: elaborado por el autor 2025.

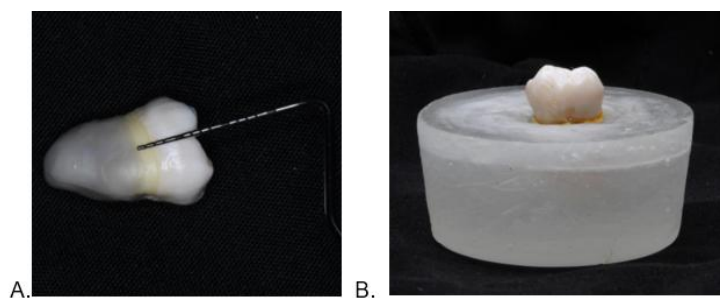


Figura 2. Simulación del ligamento periodontal

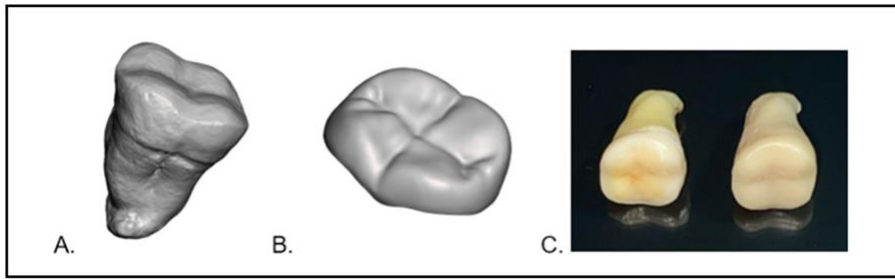


Figura 3. A. Diente natural escaneado B. diseño de incrustación overlay C. Diente natural y diente escaneado. Fuente: elaborado por el autor 2025.

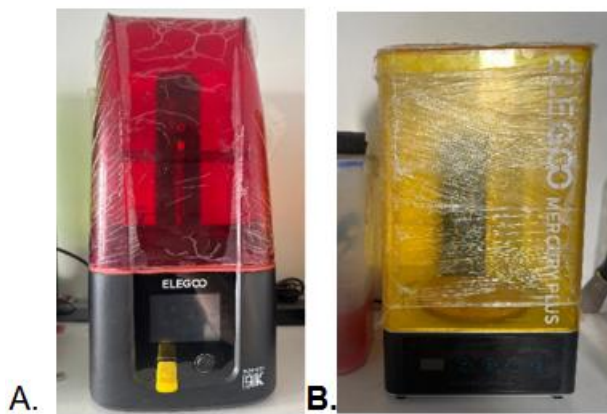


Figura 4. A. Impresora 3D ELEGOO serie Mars B. Cámara de curado ELEGOO Mercury Plus. Fuente: elaborada por el autor 2025.

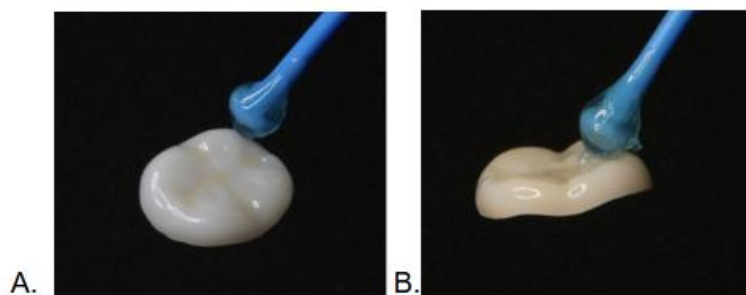


Figura 5. A. Restauración de resina 3D PryZma Crown de Makertech, B. Restauración de resina fresada Hyramic. de Upcera. Fuente: Elaborada por autor.

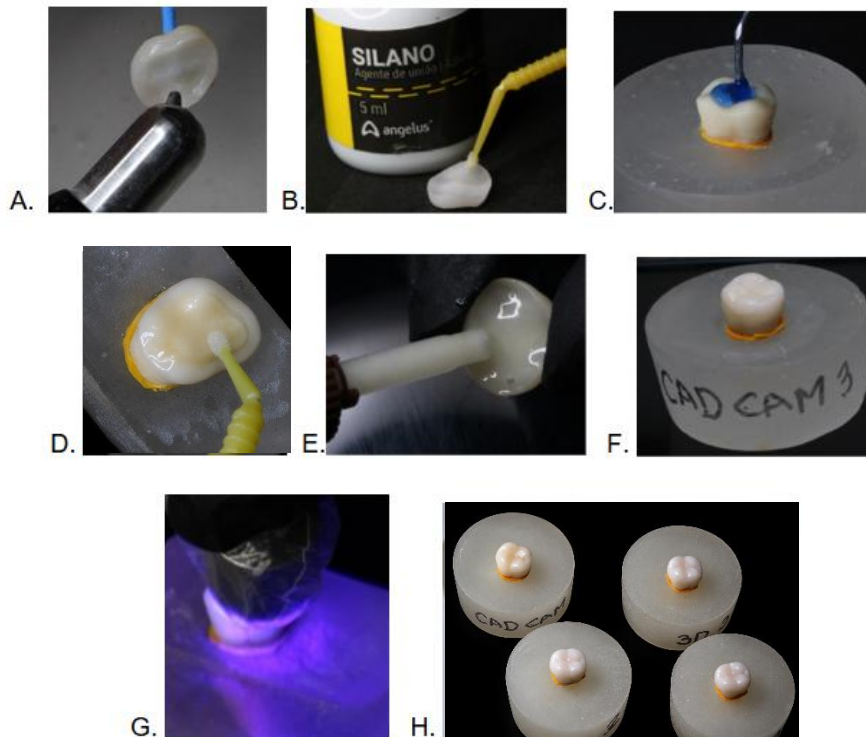


Figura 6. Protocolo de cementación: **A:** Proceso de micro-arenado **B:** Aplicación de silano en la cara interna de la incrustación **C:** Grabado ácido fosforico al 37% **D:** Aplicación de adhesivo universal **E:** Colocación del cemento resinoso dual (Duolink, Bisco) en la restauración **F:** Unión de la incrustación y el diente con presión táctil. **G:** proceso de fotocurado del cemento **H:** muestras con incrustaciones cementadas.

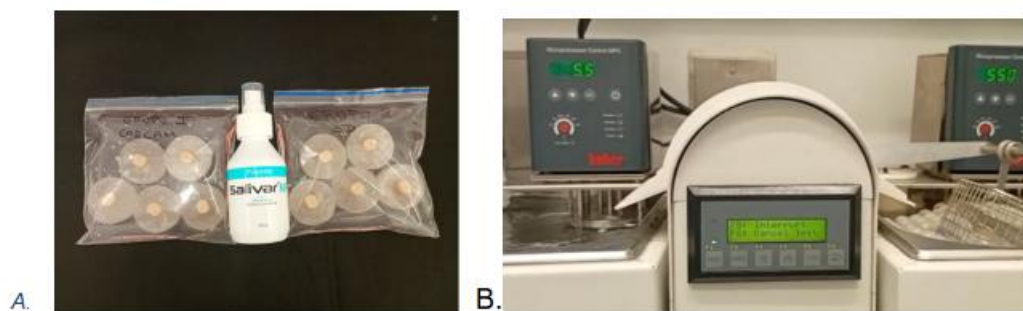


Figura 7. Termociclado **A.** Muestras de 3D y CAD-CAM en saliva artificial **B:** Proceso de termociclado.

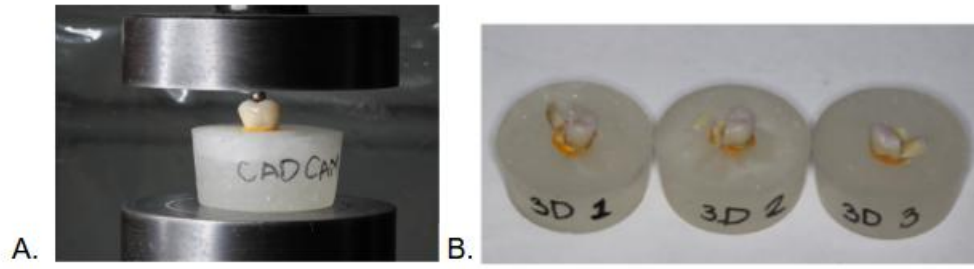


Figura 8. Prueba de compresión: **A.** Incrustación con balón de 3.8 mm en máquina universal de pruebas Tinius Olson. **B.** Incrustaciones fracturadas

Gráficos

Gráfico 1. Resistencia compresiva entre grupos experimentales.

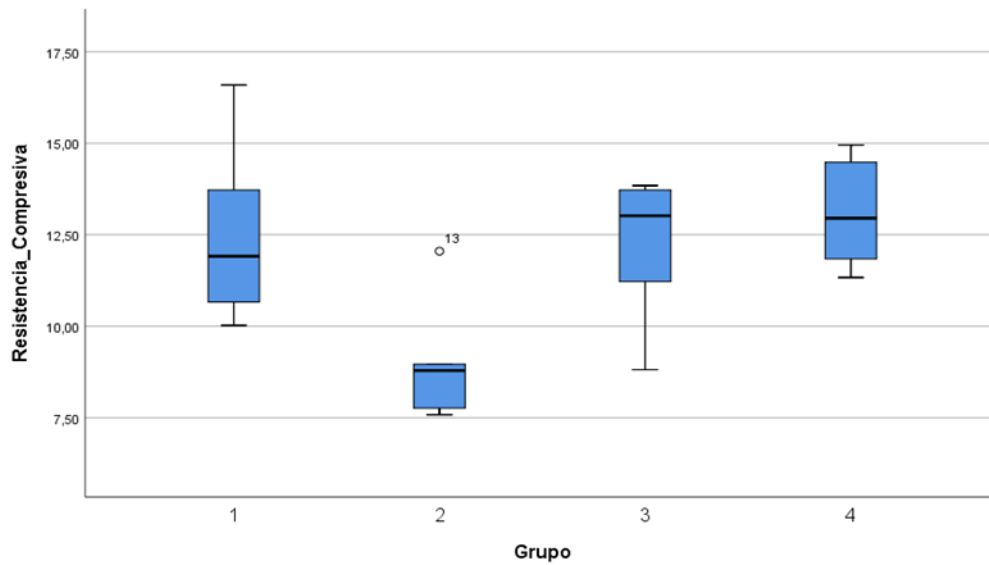


Gráfico 2. Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina 3D y CADCAM

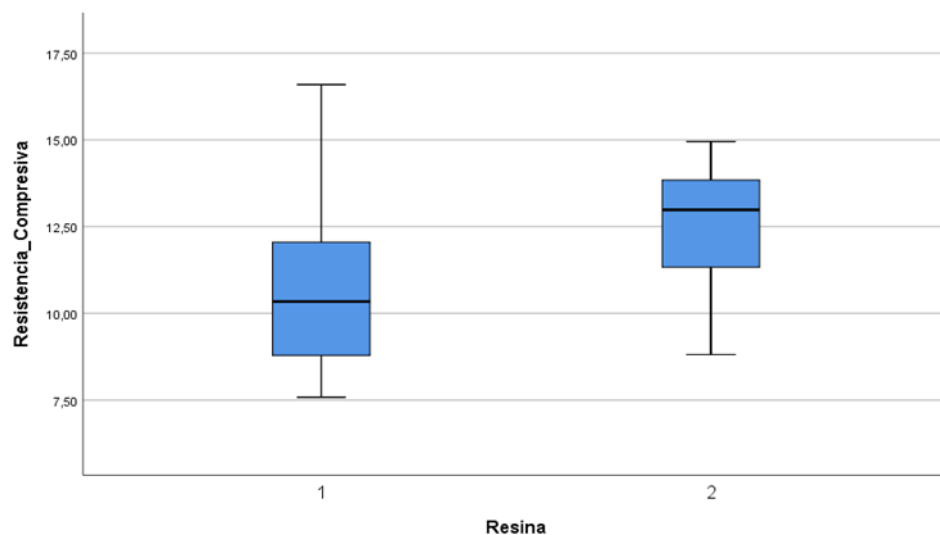
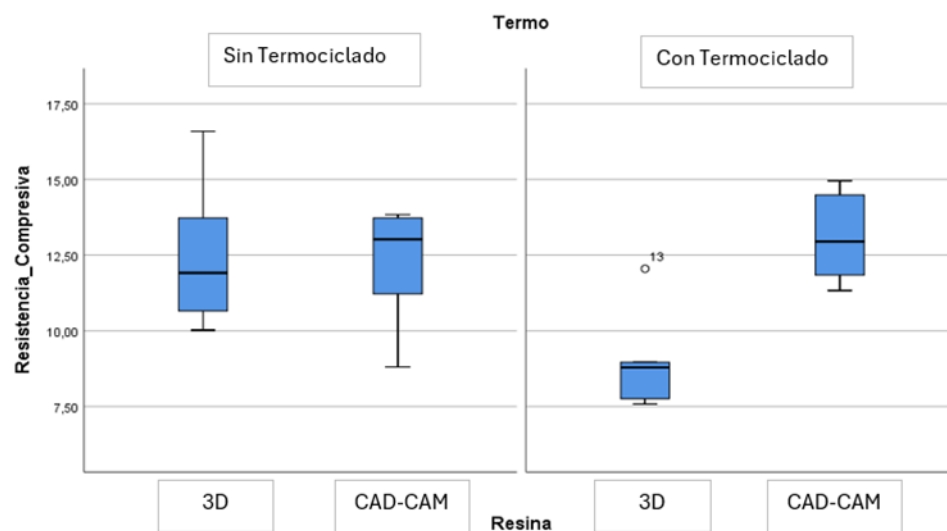


Gráfico 3. Resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina



Tablas

Tabla 1. Composición química de materiales evaluados

Material de Estudio	Composición Química Principal	Características Técnicas	Método de Procesamiento
Hyramic (Upcera)	55-85% relleno inorgánico, 13-43% polímeros de resina.	Cerámica híbrida multicapa, ≥ 180 MPa fuerza flexible.	Fresado CAD/CAM (Sustractivo).
PriZma Bio Crown Diamond	Monómeros metacrilados, sílice amorfa ($\leq 18\%$), uretano dimetacrilato ($<75\%$), zirconia silanizada.	Resina nanohíbrida, resistencia flexural 76-96 MPa.	Impresión 3D DLP (Aditivo).

Tabla 2. Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina 3D y CAD/CAM

Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina 3D y CAD/CAM									
Grupo		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75	P valor
1	3D + 3D Termo	7,58	16,59	10,8	10,34	2,84	8,79	12,05	0,089
2	CAD/CAM + CAD/CAM Termo	8,81	14,95	12,62	12,99	1,84	11,33	13,84	

Prueba Mann-Whitney **no mostró diferencias significativas** entre los 2 tipos de resina.

Tabla 3. Resistencia compresiva según grupos experimentales

Resistencia Compresiva entre Grupos									
		Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación estándar	Percentil 25	Percentil 75	P Valor
Grupo	1 3D	10,02	16,59	12,58	11,91	2,65	10,66	13,72	0,071
	2 3D Termo	7,58	12,05	9,03	8,79	1,8	7,76	8,97	
	3 CADCAM	8,81	13,84	12,12	13,02	2,13	11,22	13,72	
	2 CADCAM Termo	11,33	14,95	13,11	12,95	1,59	11,84	14,48	

Prueba de Kruskal-Wallis **no mostró diferencias significativas** entre los 4 grupos ($p = 0.071$).

Tabla 4. Resistencia entre ambos tipos de resina con y sin termociclado

Resistencia Compresiva entre ambos tipos de resina con y sin termociclado	
Grupo	P valor
3D VS CAD-CAM	1
3D VS CAD-CAM Termo	0,28

Prueba Mann-Whitney **no mostró diferencia significativa** entre resina 3D y CAD-CAM sin termociclado y tampoco entre resina 3D y CAD-CAM con termociclado.

Tabla 5. Comparación de resistencia compresiva según el efecto de termociclado de cada resina

Comparación de Resistencia Compresiva según el efecto de termociclado entre el mismo tipo de resina				
Grupo	Mediana	Percentil 25	Percentil 75	P Valor
3D	11,91	10,66	13,72	0,047
3D Termociclado	8,79	7,76	8,97	
CADCAM	13,02	11,22	13,72	0,465
CADCAM Termociclado	12,95	11,84	14,48	

Prueba Mann-Whitney **mostró diferencia significativa** entre resina 3D sin termociclado y resina 3D con termociclado, resina CAD-CAM **no mostró diferencias significativas** después del termociclado.