



Universidad Católica de Santa María

Facultad de Odontología

Escuela Profesional de Odontología

**Estudio comparativo de la microdureza de la resina FGM Voxelprint
Ceramic Resina 3D procesada con y sin Gel Hidrosoluble, Arequipa 2025**

Tesis presentada por:

Perez Rodriguez, Yandery Milagros

ORCID: 0009-0003-1144-1602

para optar el Título Profesional de Cirujano Dentista

Asesor (a):

Dr. Palomino Valverde, Ivo Alvaro

ORCID: 0000-0003-4715-3613

Arequipa - Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 02 de Mayo del 2026

Dictamen: 017266-C-EPO-2026

Visto el borrador del expediente 017266, presentado por:

2020229822 - PEREZ RODRIGUEZ YANDERY MILAGROS

Titulado:

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA MICRODUREZA DE LA RESINA FGM VOXELPRINT CERAMIC
RESINA 3D PROCESADA CON Y SIN GEL HIDROSOLUBLE, AREQUIPA 2025**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**29649041 - ZEVALLOS CHAVEZ MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**



**29651004 - PAREDES MUÑOZ GILMAR HUGO
DICTAMINADOR**



**29601395 - CACERES BELLIDO LENIA VICTORIA TERESA
DICTAMINADOR**



Estudio comparativo de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesada con y sin gel hidrosoluble, Arequipa 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
2	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorioinstitucional.uaslp.mx Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, amado padre, por ser mi fortaleza en cada paso que logré en mi vida y por siempre estar conmigo todo el tiempo, por darme esa fuerza para no rendirme y seguir adelante.

*A mi madre **Antonia Rodriguez**, por siempre apoyarme en cada paso que doy en esta hermosa carrera. Gracias por darme luz en mis momentos más difíciles y por enseñarme absolutamente todo lo que he logrado, tanto en lo personal como en lo profesional, gracias por enseñarme a nunca dejar de creer que los sueños se hacen realidad; este logro te lo dedico a ti porque también es tuyo. ¡Te amo!*

*A mi hermano **Ángelo Perez**, por estar siempre apoyándome en todos los aspectos de mi vida, por sus consejos, por cuidarme y creer en mí siempre.*

*A mis abuelos **Dora y Saturnino**, por apoyarme siempre en cada etapa de mi vida y por creer siempre que yo lo lograría.*

*A mis mascotas **Masi, Beto, Terry y Negris** por darme ese amor incondicional, por estar conmigo en las buenas y en las malas y por esperarme siempre en casa con su ternura, a **Bitxy y Bombi**, mis conejitas, por llenar mi vida de alegría con sus brincos y a mis dos amados cachorros que se encuentran en el otro lado del cielo, **Chester y Negrito**, sé que nos volveremos a encontrar.*

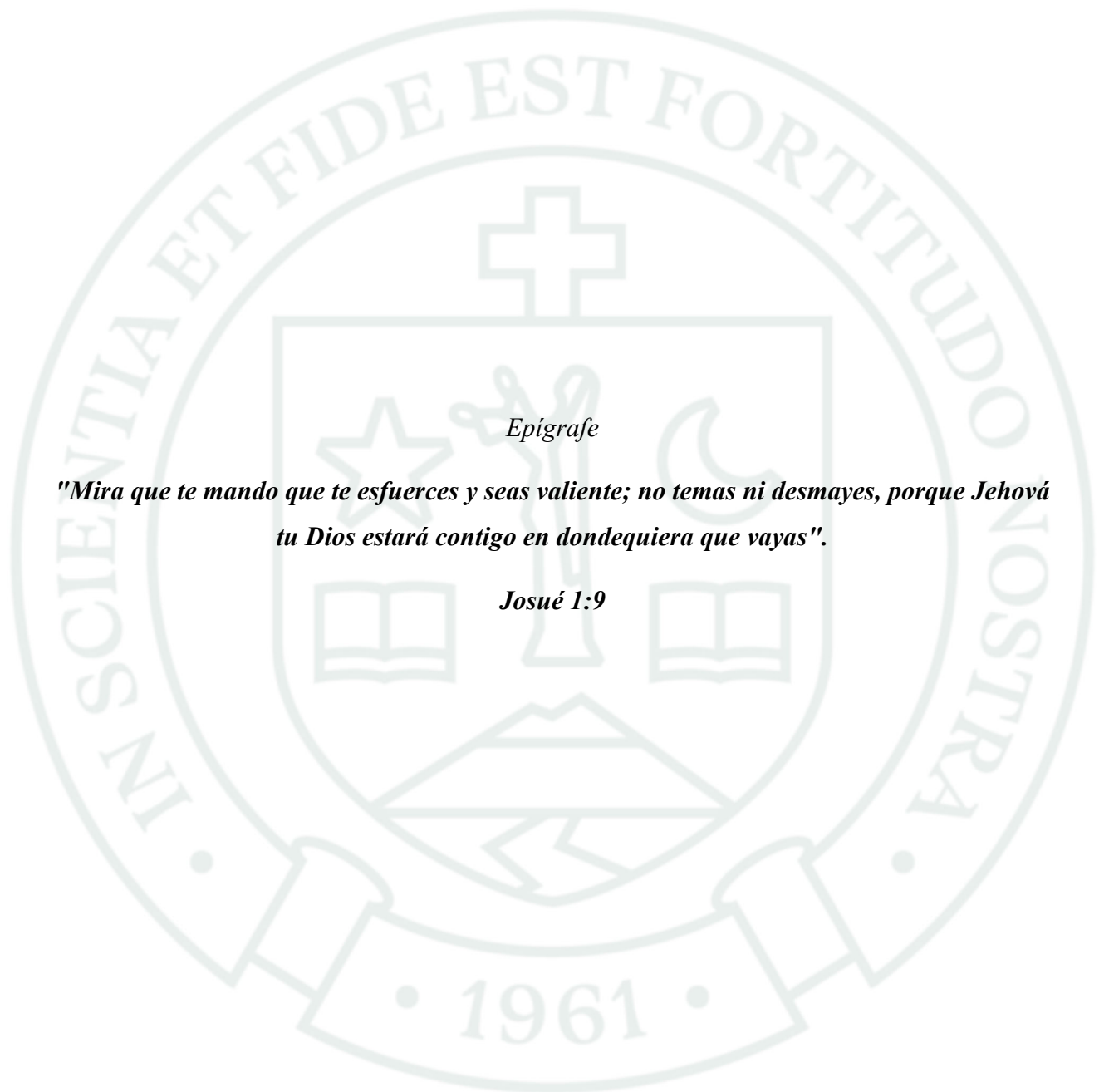
Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi Dios, por iluminar mi camino y llenarlo de valentía en cada momento de mi vida, por darme la familia que tengo, sobre todo por siempre darme la fuerza para salir adelante y por acompañarme cuando más te necesito. Gracias por tu protección y amor divino.

A mi madre Antonia Rodríguez porque con su esfuerzo y sacrificio diario, me dio las herramientas para lograr concluir mi etapa universitaria.

Al Dr. Javier Gamero Oviedo, por brindarme su apoyo, su guía y sus conocimientos los cuales fueron fundamentales durante este proceso de investigación. Asimismo, por brindarme las facilidades para el uso del laboratorio Sinapsis, lo que permitió la adecuada ejecución de los procedimientos experimentales.

Al Dr. Rhenso Zegarra Gago, por ser mi modelo a seguir, por apoyarme en cada pasito que doy en mi carrera, porque en lugar de una corrección rígida, recibí un consejo amable y una enseñanza compartida. Su calidad humana ha dejado en mí una huella tan profunda como mi vocación.



Epígrafe

"Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas".

Josué 1:9

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la microdureza superficial de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D mediante la comparación entre muestras procesadas con y sin la aplicación de gel hidrosoluble. Se desarrolló un estudio de tipo experimental, prospectivo, comparativo y transversal, realizado en laboratorio.

Se elaboraron 20 muestras cilíndricas de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D, con un diámetro de 6 mm y una altura de 4 mm, las cuales fueron divididas en dos grupos: el grupo A, correspondiente a muestras procesadas sin gel hidrosoluble, y el grupo B, conformado por muestras procesadas con gel hidrosoluble. Cada grupo estuvo compuesto por 10 especímenes. Ambos grupos siguieron el mismo protocolo de elaboración, limpieza, rotulado y almacenamiento.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a la prueba de microdureza Vickers mediante un durómetro digital, realizándose tres indentaciones en cada espécimen. Los valores obtenidos fueron registrados y promediados para su análisis.

Los resultados mostraron que el grupo sin gel hidrosoluble presentó un promedio de microdureza de 28,68 kg/mm², mientras que el grupo con gel hidrosoluble alcanzó un promedio de 30,08 kg/mm². Estos hallazgos evidencian que el uso de gel hidrosoluble durante el procesamiento incrementa la microdureza superficial del material.

Finalmente, mediante la prueba estadística t de Student, se determinó la existencia de una diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos.

Palabras clave: Microdureza, resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D, gel hidrosoluble.

ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the surface microhardness of FGM Voxelprint Ceramic 3D resin by comparing samples processed with and without the application of a hydrosoluble gel. An experimental, prospective, comparative, and cross-sectional laboratory study was conducted.

A total of 20 cylindrical specimens of FGM Voxelprint Ceramic 3D Resin were fabricated, each with a diameter of 6 mm and a height of 4 mm. The samples were divided into two groups: Group A, consisting of specimens processed without a water-soluble gel, and Group B, consisting of specimens processed with a water-soluble gel. Each group included 10 specimens. Both groups followed the same protocol for fabrication, cleaning, labeling, and storage.

Subsequently, the specimens were subjected to the Vickers microhardness test using a digital microhardness tester, performing three indentations on each specimen. The obtained values were recorded and averaged for analysis.

The results showed that the group without water-soluble gel had an average microhardness of 28.68 kg/mm², whereas the group with water-soluble gel reached an average of 30.08 kg/mm². These findings indicate that the use of a water-soluble gel during processing increases the surface microhardness of the material.

Finally, using the Student's t-test, a statistically significant difference between the evaluated groups was determined.

Keywords: Microhardness, FGM Voxelprint Ceramic 3D Resin, water-soluble gel.

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
EPIGRAFE	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO TEÓRICO.....	2
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1. Determinación del problema	3
1.2. Pregunta de investigación.....	4
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos.....	5
1.5. Marco conceptual y antecedentes investigativos.....	6
1.5.1. Marco conceptual	6
1.5.1.1. Resinas compuestas	6
1.5.1.2. Resina 3D	12
1.5.1.3. Resina FGM Voxelprint Ceramic.....	13
1.5.1.4. Propiedades de los materiales dentales	16
1.5.2. Antecedentes investigativos	22
1.6. Hipótesis	28
1.6.1. Hipótesis Alterna.....	28
1.6.2. Hipótesis Nula	28
CAPÍTULO II	29
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL.....	29
1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN	30
1.1. Técnica.....	30
1.1.1. Especificación	30
1.1.2. Esquematzación.....	30
1.1.3. Descripción de la técnica.....	30
1.2. Instrumentos	31
1.2.1. Instrumento Documental	31

1.2.2. Instrumentos Mecánicos.....	32
1.3. Materiales	32
2. CAMPO DE VERIFICACIÓN.....	33
2.1. Ubicación Espacial	33
2.2. Ubicación Temporal	33
2.3. Unidades de estudio.....	33
2.3.1. Criterios de Inclusión	33
2.3.2. Criterios de Exclusión	33
2.3.3. Muestra.....	33
3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	34
3.1. Organización.....	34
3.2. Recursos.....	34
3.3. Validación de instrumento.....	34
4. ESTRATEGIA PARA MANEGAR LOS RESULTADOS	35
4.1. Plan de procesamiento de los datos	35
4.1.1. Tipo de procesamiento	35
4.1.2. Operaciones del procesamiento.....	35
4.2. Nivel del estudio de los datos	35
5. CRONOGRAMA.....	36
CAPÍTULO III.....	37
RESULTADOS.....	37
DISCUSIÓN	62
CONCLUSIÓN	63
RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resina FGM Voxelprint Ceramic	15
Tabla 2 Esquematización	30
Tabla 3 Instrumento documental.....	32
Tabla 4 Tratamiento estadístico	35
Tabla 5 Cronograma de actividades	36
Tabla 6 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1	38
Tabla 7 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1	40
Tabla 8 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1.....	42
Tabla 9 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2	44
Tabla 10 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2	46
Tabla 11 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2.....	48
Tabla 12 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3	50
Tabla 13 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3	52
Tabla 14 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3.....	54
Tabla 15 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble.....	56
Tabla 16 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble.....	58
Tabla 17 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Variación del color según tiempos de curado	14
Figura 2 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1	39
Figura 2 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1	41
Figura 3 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1.....	43
Figura 4 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2	45
Figura 5 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2	47
Figura 6 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2.....	49
Figura 7 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3	51
Figura 8 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3	53
Figura 9 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3.....	55
Figura 10 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble.....	57
Figura 11 Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble.....	59
Figura 12 Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble.....	61

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ficha de observación	71
Anexo 2 Matriz de datos	72
Anexo 3 Certificado de calibración del durómetro de microdureza Vickers (validación del instrumento)	74
Anexo 4 Secuencia fotográfica	75



INTRODUCCIÓN

Los materiales dentales siguen evolucionando cada vez más, con el pasar del tiempo estos van intentando ser mejores que sus versiones anteriores para así perfeccionar cada vez más la odontología convencional, gracias a estos avances surgió la odontología digital que nos abre camino a una nueva y mejor odontología.

La digitalización dental ha transformado la dinámica de trabajo tanto en el área clínica como técnica. Esta vertiente brinda múltiples beneficios para el especialista, quien hoy dispone de herramientas como radiografías computarizadas, impresiones digitales, escáneres faciales, registros 4D, tomografías y, actualmente, la manufactura mediante impresión en 3D.

De la mano con la innovación tecnológica, el acceso a insumos y equipos de vanguardia facilita la labor profesional al potenciar la calidad de las intervenciones, lo que permite optimizar la eficacia de los tratamientos en lapsos más cortos.

Hoy en día, la aplicación de materiales resinosos para la manufactura aditiva ha experimentado un auge en la práctica odontológica a nivel global. Este fenómeno simplifica las fases de laboratorio para prótesis y rehabilitación, logrando procesos más precisos, ágiles y viables. En última instancia, esto potencia el rendimiento clínico del dentista y, consecuentemente, favorece la recuperación de los pacientes.

Es por ello que debemos seguir investigando y probando estos nuevos métodos y materiales y aprender de cómo utilizar esta nueva tecnología y por ello es necesario realizar distintas pruebas o experimentar para lograr un mejor resultado en nuestra práctica clínica.

Gracias a la evolución de la odontología podemos brindar un mejor servicio a nuestros pacientes, cumpliendo sus expectativas y logrando un tratamiento que sea beneficioso tanto para el odontólogo como para sus pacientes, por ello, debemos evolucionar junto a los avances que nos trae la nueva odontología digital y así cumplir mejor nuestro deber profesional de mejorar la salud de nuestros pacientes.



CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Determinación del problema

A medida que transcurre el tiempo, los insumos para uso odontológico se transforman integrando tecnologías avanzadas. Tales progresos han redefinido la práctica clínica tradicional, dando lugar al surgimiento de la odontología digital, la cual proyecta un nuevo estándar y horizonte en la atención dental.

Entre las contribuciones más destacadas de la odontología digital destaca la capacidad de integrar y unificar diversos registros clínicos. Estos abarcan desde archivos bidimensionales, como radiografías y fotografías, hasta modelos tridimensionales representados volumétricamente a través de escaneos intraorales, extraorales, faciales y tomografías (1). Estas herramientas permiten a los especialistas alcanzar resultados superiores en beneficio de sus pacientes.

En el entorno dental, estas innovaciones optimizan los procedimientos en todas las ramas de la especialidad, facilitando un diagnóstico más preciso y, por ende, una mejor estrategia terapéutica personalizada. La aplicación de estas herramientas tecnológicas abarca todas las fases clínicas, partiendo de la detección y el diseño del tratamiento, hasta concluir con la creación y manufactura de restauraciones y piezas protésicas (2).

La adopción de sistemas CAD/CAM (siglas que refieren al diseño y manufactura guiados por computador) constituye un hito fundamental en la metamorfosis de la práctica dental contemporánea. Esta metodología agiliza la confección de prótesis y coronas, lo que deriva en una mayor eficiencia temporal, precisión técnica y una experiencia final más satisfactoria para el usuario (2).

Recientemente, se ha afianzado una transformación trascendental dentro del sector odontológico, sustentado principalmente en el desarrollo de la odontología digital y la incorporación de la inteligencia artificial (IA). Sin embargo, como sucede con toda innovación que implica una transformación profunda, la adopción de estos nuevos enfoques suele enfrentar cierta resistencia debido a la necesidad de modificar esquemas de pensamiento previamente establecidos (3), su incorporación no debe interpretarse como una opción, sino como una evolución necesaria. La fusión del criterio clínico convencional con las capacidades tecnológicas actuales es fundamental para alcanzar niveles superiores de precisión y eficacia en el tratamiento.

Con el pasar del tiempo, se ha ido incrementando el uso del 3D en odontología, el cual promete tener mejores resultados en cuanto a precisión y personalización en los tratamientos. Todo esto con ayuda de un escáner intraoral, que es un reemplazo a los materiales convencionales como el alginato o la silicona utilizada para tomar impresiones en la boca de los pacientes, pero con el avance tecnológico fueron reemplazadas por este escáner intraoral, que mejora la precisión de los modelos intraorales de los pacientes. Así también tenemos a los softwares que van a complementar para la impresión en 3D de los modelos tomados digitalmente, estos softwares tienen la función de procesamiento automatizado que agiliza el complejo flujo de trabajo de preparación, por lo que los profesionales que lo utilizan simplemente importan los archivos, hacen clic y completan todos los pasos de preparación necesarios antes de cortar el modelo (4). Por lo tanto, estos pasos hacen que la odontología para impresión en 3D sea más precisa, rápida, segura y eficiente tanto para los odontólogos como para sus pacientes.

1.2. Pregunta de investigación

¿La aplicación del gel hidrosoluble en la resina FGM Voxelprint 3D afectará en su microdureza?

1.3. Justificación

a) Originalidad

Este trabajo destaca por su carácter innovador, fundamentado en la reciente introducción de los sistemas de resina para manufactura aditiva 3D en el sector dental. Dado su creciente empleo cotidiano, surge la imperativa labor de analizar su comportamiento físico-mecánico, un área donde la evidencia científica actual aún resulta insuficiente para garantizar una aplicación clínica de excelencia y totalmente optimizada.

b) Relevancia Científica

La importancia académica de este estudio radica en el auge del uso de resinas compuestas 3D entre los profesionales de la salud bucal. Generar datos precisos sobre sus características intrínsecas proporcionará el sustento teórico indispensable para un manejo clínico basado en evidencias, cubriendo el vacío de información que existe actualmente sobre su desempeño.

c) Relevancia Práctica

Dada la frecuencia con la que estos materiales se implementan en la consulta dental, profundizar en su comprensión técnica facilitará criterios de selección y

protocolos de procesamiento más precisos. Esto se traduce en una ejecución terapéutica correcta que repercute directamente en la predictibilidad y el éxito de las rehabilitaciones realizadas.

d) Factibilidad

La ejecución del estudio es viable debido a la plena disponibilidad de los insumos y el acceso garantizado a las instalaciones de laboratorio. Se cuenta específicamente con un equipo de pruebas universales para la ejecución de ensayos de microdureza en los especímenes, permitiendo la recolección y el procesamiento de datos en plazos de tiempo optimizados.

e) Interés Personal

La motivación principal para desarrollar esta investigación es cumplir con los requisitos académicos para la obtención del título profesional en Odontología. Asimismo, existe un interés genuino por explorar las bondades de la tecnología 3D, buscando aportar información relevante sobre una herramienta que, aunque es una opción cada vez más elegida por los dentistas, carece todavía de un respaldo investigativo robusto.

f) Contribución académica

La presente investigación resulta de suma relevancia para el fortalecimiento de las competencias en los odontólogos en formación. Al abordar las tendencias de vanguardia en la estomatología contemporánea, tanto en la selección de insumos como en la aplicación de protocolos metodológicos, se proporcionan herramientas cognitivas esenciales que sientan las bases para un desempeño profesional competitivo y de alta calidad.

1.4. Objetivos

a) Objetivo general

Determinar la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble.

b) Objetivo específico

Comparar la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble.

1.5. Marco conceptual y antecedentes investigativos

1.5.1. Marco conceptual

1.5.1.1. Resinas compuestas

- **Definición**

La resina compuesta es el material usado por excelencia en las restauraciones dentales, pues no solo es muy conocida por su estética, sino también porque presenta propiedades favorables a la hora de restaurar un diente, además es muy utilizada en todo el mundo por su facilidad de uso y por sus grandes ventajas en el campo odontológico. Desde una perspectiva estructural, estos polímeros para restauración se distinguen por poseer una red densa de entrecruzamientos químicos en su configuración. Dicha arquitectura se ve potenciada al añadir fases de refuerzo como vidrios, sílice de naturaleza amorfa, partículas orgánicas o rellenos cristalinos, e incluso microfibras. Estos elementos logran una cohesión sólida con la fase orgánica mediante el empleo de moléculas de acoplamiento o mediadores de unión (5).

Las resinas compuestas, mediante la modificación de su estructura, son capaces de reproducir aspectos fundamentales de los dientes naturales, como el color, la translucidez y la opacidad. Esta capacidad de replicar la estética dental las hace especialmente adecuadas para restauraciones que exigen un acabado visual de alta calidad (6). Uno de los principales retos de los composites de resina en odontología ha sido manejar los efectos adversos de la contracción durante la polimerización, un aspecto que ha sido ampliamente investigado y analizado en numerosos estudios y revisiones (7).

- **Componentes:**

- **Matriz orgánica**

Representa el sustrato polimérico que funciona como el medio ininterrumpido encargado de albergar a los elementos de carga o relleno. En su mayoría, las resinas emplean una combinación de diversos monómeros de tipo dimetacrilato, tanto de cadena alifática como aromática. Dentro de esta mezcla, destaca el uso predominante del Bis-GMA, el cual suele formularse junto con el

dimetacrilato de uretano (UDMA) y el trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA). La interacción de estos químicos es lo que define la configuración estructural definitiva del composite (5).

Relleno inorgánico

Esta fase se compone de unidades de refuerzo, ya sean partículas o fibras, las cuales se encuentran dispersas en el interior de matriz orgánica. La adición de estos componentes tiene como fin potenciar de forma sustancial el desempeño físico del material, condición que depende estrictamente de que se logre un vínculo interfacial sólido entre la carga y la fase plástica; de no ser así, la integridad y durabilidad mecánica podrían verse comprometidas (5). El relleno proporciona al compuesto una mejor propiedad mecánica, resistencia al desgaste y translucidez (8).

Agente de conexión

Se trata del elemento responsable de garantizar la unión entre la matriz orgánica y la carga inorgánica. Con el objetivo de alcanzar dicha estabilidad, se aplica un recubrimiento de silano sobre el material de refuerzo, actuando como un puente de unión que facilita una fijación química eficiente con la matriz del compuesto (5). Este mediador de acoplamiento posee una funcionalidad química doble: en un extremo, se vincula a los elementos de sílice mediante puentes silánicos, y por el otro, se integra a la estructura orgánica empleando sus radicales metacrilatos, lo que asegura la cohesión y permanencia del material en el tiempo (9).

Sistema activador

Para que la reacción de polimerización de los monómeros en la resina se desencadene, resulta indispensable la participación de radicales libres, un proceso que depende de un factor de activación externo. En el caso de los materiales de autocurado, este mecanismo se activa al combinar dos pastas: una que funciona como mediador químico (como la dihidroxietil-p-toluidina, una amina terciaria de carácter aromático) y otra que suministra el peróxido de benzoilo como agente

iniciador. Esta mezcla es la que da lugar a la etapa de endurecimiento del material (6,10).

No obstante, este tipo de resinas presenta ciertas limitaciones, como una alta sensibilidad al manejo técnico, la contracción durante la polimerización y un desgaste más rápido. Además, presentan una menor capacidad de soporte ante esfuerzos compresivos y de fractura si se comparan con los materiales destinados a la realización de restauraciones indirectas (11).

- **Clasificación**

Durante varios años, las innovaciones más relevantes en los composites se orientaron principalmente al componente de relleno, disminuyendo de forma controlada el tamaño de sus partículas con el fin de facilitar el pulido y aumentar la resistencia frente al desgaste. Este aspecto era particularmente importante en restauraciones de sectores posteriores, aunque la capacidad de lograr superficies lisas y estéticas ha sido esencial en todas las regiones de la cavidad oral. En la actualidad, el enfoque de desarrollo ha cambiado hacia la matriz orgánica del material, con el objetivo de diseñar composites que presenten una menor contracción al polimerizar, reduzcan las tensiones derivadas de este proceso y, además, incorporen propiedades que favorezcan su adhesión directa a los tejidos dentales (12).

Una de las clasificaciones más aceptadas en la literatura es aquella que se fundamenta en el tamaño de las partículas inorgánicas.

- a. Macroparticuladas**

Las primeras resinas compuestas de tipo macroparticulado se caracterizaban por contener partículas de cuarzo de gran tamaño, inicialmente cercanas a 20 μm , que con el tiempo se redujeron a rangos aproximados entre 8 y 15 μm . El contenido de carga en estos materiales oscilaba entre el 60 y 65% en volumen. Desde el punto de vista clínico, estas resinas presentaban una superficie rugosa, debido a que la matriz orgánica se desgastaba con mayor facilidad, dejando expuestas las partículas de carga más duras. Esto generaba una textura áspera en la restauración. Como

resultado, este tipo de materiales tenía mayor tendencia a la pigmentación superficial, ya que su superficie facilitaba la retención de sustancias colorantes. Además, su carácter radiolúcido representaba una limitación importante, dificultando la diferenciación entre la restauración y posibles lesiones de caries en los exámenes radiográficos (13).

b. Microparticuladas

Las resinas compuestas microparticuladas utilizan sílice amorfa como carga inorgánica, con tamaños muy pequeños (0,04 a 0,4 μm), lo que les permite obtener una superficie altamente lisa y un excelente pulido. Sin embargo, debido a su gran área superficial, requieren mayor cantidad de matriz orgánica, lo que incrementa la viscosidad y dificulta su manipulación clínica. Para mejorar este aspecto, se incorporaron partículas prepolimerizadas con alto contenido de sílice, las cuales, tras ser trituradas, se añaden a la matriz resinosa junto con sílice coloidal. Esto permite aumentar el porcentaje de carga sin afectar negativamente sus propiedades reológicas, alcanzando aproximadamente un 50% en volumen. A pesar de sus ventajas estéticas, estas resinas presentan limitaciones mecánicas, como menor resistencia, mayor expansión térmica y mayor absorción de agua, debido a su alto contenido orgánico, además su carácter radiolúcido constituye una desventaja en el diagnóstico radiográfico (13).

c. Resinas compuestas de partículas pequeñas

El origen de los sistemas resinosos con unidades de carga pequeñas se debe al perfeccionamiento de los métodos de molienda, lo cual permitió la obtención de fragmentos de vidrio de escala reducida (rango de 1 a 5 μm). Gracias al ordenamiento eficiente de estos elementos, se favorece una estructura más compacta en la fase orgánica, logrando integrar un volumen de relleno de entre el 65% y el 77%. Como resultado, se obtienen parámetros físicos optimizados y un menor índice de estrés por contracción volumétrica frente al comportamiento de los materiales de macro o micropartículas. (13).

Asimismo, estas resinas incorporan partículas con metales pesados, lo que les confiere radiopacidad, una característica fundamental para facilitar el diagnóstico de caries secundarias y otras alteraciones en estudios radiográficos. Sin embargo, este tipo de relleno presenta ciertas limitaciones, ya que es más susceptible a procesos de degradación, como la hidrólisis y la disolución en el medio bucal, en comparación con materiales como la sílice amorfa o el vidrio. Con el tiempo, esto puede provocar un ablandamiento progresivo del material y una mayor tendencia al desgaste, afectando negativamente su durabilidad a largo plazo (5).

d. Híbridas

El desarrollo de los sistemas híbridos tuvo como objetivo principal combinar una superficie lisa, propia de los materiales microparticulados, con el notable desempeño físico y estructural que distingue a los composites de partícula pequeña.

Su designación como “híbridas” responde a la coexistencia de dos variantes de refuerzo: el relleno de vidrio (con diámetros que oscilan entre 1 y 5 μm) y la sílice coloidal (la cual representa entre el 10% y el 20% del peso). Esta combinación técnica permite que la proporción de carga global alcance valores situados entre el 59% y el 70% del volumen total. Estas resinas manifiestan una respuesta mecánica eficiente, equiparable a la de los materiales de partículas pequeñas, además de garantizar una excelente capacidad de pulido y estabilidad estética a largo plazo. Finalmente, gracias a su propiedad de radiopacidad y su aptitud clínica para ser aplicadas en cualquier región de la arcada dental (tanto en el sector anterior como en el posterior), se categorizan como insumos de restauración universal (13).

e. Microhíbridas

Las resinas compuestas microhíbridas se caracterizan por la integración de granos de sílice coloidal con elementos vítreos de bario, litio o zirconio cuyas dimensiones no exceden 1 μm . De manera similar a las resinas híbridas, el componente de sílice

coloidal (presente en rangos ponderales del 10 al 20%) se integra con las partículas de vidrio, alcanzando un porcentaje de carga entre 57 y 71% en volumen.

Estas resinas se consideran de uso universal, ya que pueden emplearse indistintamente en piezas dentarias de los sectores anterior y posterior. Además, presentan un acabado superficial comparable a la de las resinas microparticuladas. Es importante señalar que la denominación "híbrido" alude a la coexistencia de dos clases de refuerzos inorgánicos diferentes, y no únicamente a la variación en su tamaño (5,13).

f. Nanoparticuladas

Las resinas compuestas nanoparticuladas se desarrollan mediante la aplicación de principios nanotecnológicos, incorporando unidades de zirconio-sílice o sílice pura a escala nanométrica (con rangos de 1 a 80 nm). Estas, al ser tratadas con agentes de unión, forman pequeños aglomerados que se integran a la matriz resinosa, dando lugar a los sistemas de composite basados en nanopartículas.

Las dimensiones medias de las unidades de carga en estos insumos oscilan entre 5 y 75 nm, siendo significativamente menor que en las resinas micro particuladas. Esta característica permite incorporar un mayor contenido de carga, que se sitúa entre 68 y 72% en volumen, alcanzando valores similares a los de las resinas microhíbridas.

g. Nano-híbridas

Las resinas compuestas nano-híbridas combinan partículas de diferentes dimensiones, integrando nanopartículas junto con partículas de vidrio y sílice coloidal. Esta estructura mixta permite obtener materiales con buen desempeño mecánico y adecuada conservación del pulido, por lo que pueden emplearse tanto en dientes anteriores como posteriores. Su contenido de carga suele situarse entre 55 y 69% en volumen.

No obstante, la distinción entre resinas microhíbridas y nano-híbridas no siempre es precisa, debido a que las primeras también

pueden incluir pequeñas fracciones de partículas nanométricas. En general, las nano-híbridas presentan una mezcla de partículas de vidrio de distintos tamaños, complementadas con nanopartículas que ocupan los espacios entre ellas, optimizando la organización interna del material. Por otro lado, en algunos casos las nanopartículas no se encuentran aisladas, sino formando agrupaciones, lo que dificulta su identificación (13).

1.5.1.2. Resina 3D

La evolución de la manufactura 3D dental ha progresado paralelamente con los avances en herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD) y en técnicas de imagen de alta resolución, incluyendo la resonancia magnética (MRI) junto con la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), permitiendo planificar y fabricar prótesis dentales y maxilofaciales destinadas a restaurar o reemplazar estructuras perdidas (14).

La fabricación aditiva, también conocida como prototipado rápido o impresión tridimensional, se ha consolidado como una herramienta innovadora en odontología. Entre las metodologías más empleadas se encuentran procedimientos como el modelado por deposición fundida (FDM), la estereolitografía (SLA) y el procesamiento digital de luz (DLP), destacándose por su capacidad para generar restauraciones con alta precisión y resultados estéticamente satisfactorios (11).

La impresión tridimensional se basa en la construcción secuencial de un objeto o estructura a través de la superposición progresiva de estratos de material, guiada por diseños generados a través de plataformas CAD/CAM (diseño guiado por computadora) o mediante procesos de digitalización de imágenes y escaneado (14).

Los materiales resinosos para manufactura 3D sobresalen por su notable agilidad operativa, rendimiento optimizado y rentabilidad económica, lo que brinda al odontólogo la posibilidad de elaborar de manera precisa y eficaz restauraciones indirectas, tanto provisionales como definitivas, para dientes unitarios.

1.5.1.3. Resina FGM Voxelprint Ceramic

1.5.1.3.1. Concepto

La resina VoxelPrint Ceramic se define técnicamente como un material compuesto de fotopolimerización, debido a su estructura híbrida que integra una matriz orgánica de acrilatos con una carga reforzada de partículas cerámicas. Esta configuración multifásica permite que el material combine la fluidez necesaria para el proceso de impresión 3D con las propiedades mecánicas de dureza y estabilidad dimensional propias de los composites restauradores convencionales.

Voxelprint Ceramic es un material compuesto odontológico, fotocurable y biocompatible. Su formulación, rica en rellenos inorgánicos de naturaleza vitrocerámica, le otorga una elevada resistencia mecánica, al mismo tiempo que brinda excelentes cualidades estéticas, como brillo y propiedades ópticas que imitan de manera eficiente la apariencia dental (15).

1.5.1.3.2. Indicaciones de uso

La resina se encuentra prescrita para la manufactura de coronas individuales de recubrimiento total, empleándose indistintamente en el sector estético y posterior, además de ser apta para incrustaciones tipo inlay y onlay, carillas, coronas sobre aditamentos protésicos o implantes, y elementos dentarios artificiales para rehabilitaciones definitivas. Es valorada por ser una de las pioneras en impresión 3D que integra una apariencia visual sobresaliente, incluyendo brillo y translucidez, con una firmeza mecánica y estabilidad de color superiores.

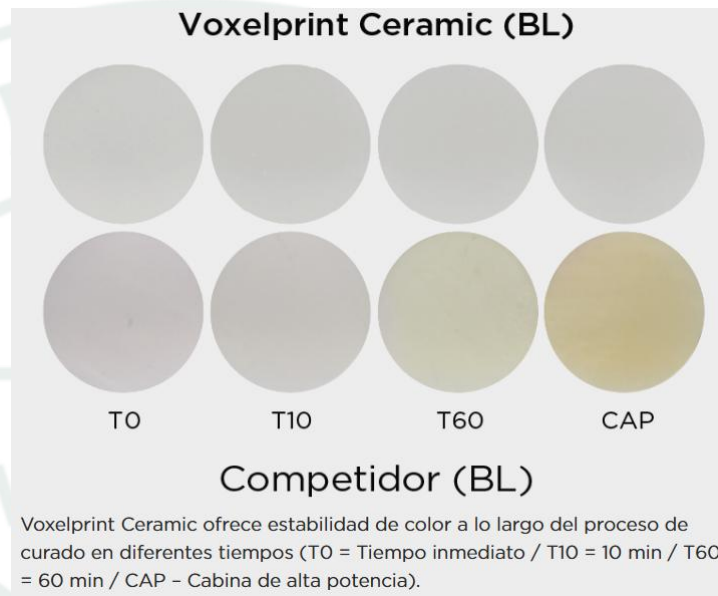
1.5.1.3.3. Características del producto

- **Brillo incomparable:** Permite lograr y mantener un acabado brillante de manera sencilla, asegurando un pulido de alta calidad.
- **Estabilidad cromática:** Gracias al innovador sistema ISS (Intelligent Stability System), VoxelPrint Ceramic mantiene una consistencia óptima tanto en su comportamiento reológico como en la estabilidad del color, preservando sus propiedades a lo largo del tiempo.

Como se observa en la comparativa de estabilidad cromática, el material evaluado mantiene una tonalidad constante frente al envejecimiento acelerado

Figura 1

Variación del color según tiempos de curado



Fuente: Adaptado de información de FGM Dental Group.

- **Caracterización simplificada:** Facilita la aplicación de maquillajes y pigmentos, permitiendo obtener resultados estéticos con apariencia natural de manera práctica.
- **Radiopacidad y fluorescencia:** Presenta una adecuada radiopacidad que favorece su visualización en estudios radiográficos, junto con una fluorescencia armonizada con la de los dientes naturales.
- **Ausencia de sedimentación:** Su comportamiento reológico garantiza la homogeneidad del material, incluso tras permanecer en reposo durante períodos prolongados dentro del equipo de impresión.
- **Amplia versatilidad estética:** Se destaca como una de las primeras resinas de impresión 3D en ofrecer distintos grados de translucidez, lo que, sumado a su disponibilidad en múltiples tonalidades, permite alcanzar resultados estéticos de alto nivel.

1.5.1.3.4. Características técnicas destacadas

- **Elevada carga inorgánica:** La matriz polimérica incorpora una proporción significativa de partículas cerámicas o vitrocerámicas, lo que mejora tanto sus características mecánicas como su comportamiento estructural.
- **Estabilidad reológica asegurada:** Su formulación incluye un sistema que reduce la sedimentación del material, incluso cuando permanece en reposo dentro del vaso de impresión (VAT).
- **Translucidez y diversidad de tonos:** Presenta tres niveles de translucidez (HT, MT, LT) y múltiples colores, permitiendo una adaptación estética precisa.
- **Radiopacidad y fluorescencia:** Garantiza visibilidad adecuada en radiografías y reproduce de manera cercana la luminosidad de los dientes naturales.
- **Compatibilidad tecnológica:** Es apta para impresoras 3D tipo DLP o LCD, empleando longitudes de onda de curado estándar (385 nm / 405 nm).
- **Acabado y estética de calidad:** Permite obtener superficies bien pulidas, con brillo notable y resultados estéticamente satisfactorios.

1.5.1.3.5. Propiedades

En el cuadro posterior se enumeran los parámetros físico-mecánicos, de acuerdo con los datos técnicos suministrados por la casa comercial.

Tabla 1

Resina FGM Voxelprint Ceramic

Propiedad	Valor/ Rango
Resistencia a la flexión	120 a 155 MPa
Microdureza Vickers	Aprox. 42 HV
Solubilidad en agua	< 2 µg/mm ³
Absorción de agua	< 20 µg/mm ³

Fuente: datos internos de FGM Dental Group

1.5.1.4. Propiedades de los materiales dentales

Es importante conocer las particularidades de los biomateriales odontológicos porque esto permite al profesional odontólogo saber en qué situaciones debe escoger el material adecuado para el tratamiento que va a realizar, esto varía en cada ocasión y por lo tanto conocer las propiedades de cada material hace más factible cada trabajo que desea hacer en cada tratamiento.

1.5.1.4.1. Propiedades biológicas

El concepto de biocompatibilidad ha tomado una relevancia progresiva, sobre todo dentro del ejercicio dental. En términos generales, se conceptualiza como la facultad de un compuesto para relacionarse con el organismo sin generar efectos adversos en el huésped.

En la actualidad, los materiales utilizados en los procedimientos odontológicos están conformados por múltiples componentes, cuyo desarrollo continúa en constante evolución. En este contexto, la selección de materiales con un adecuado grado de biocompatibilidad ha cobrado gran importancia en la literatura científica.

Diversos estudios destacan que es fundamental optar por materiales con baja reactividad; sin embargo, también es necesario considerar su posible interacción con otros biomateriales o restauraciones preexistentes en la cavidad oral. Este enfoque permite comprender de manera más precisa los mecanismos involucrados en las respuestas biológicas asociadas a los materiales restauradores dentales (16).

1.5.1.4.2. Propiedades físicas

Densidad

Este parámetro físico define el vínculo existente entre la magnitud de la masa y el espacio volumétrico que abarca. A nivel atómico, gran parte de la masa se localiza en la región nuclear, conformada por neutrones y protones, por lo que la magnitud de materia contenida en un espacio determinado está directamente asociada a este aspecto. En términos generales, puede entenderse

como la proporción de masa presente en una unidad volumétrica determinada (17,18).

Propiedades ópticas

Esta propiedad describe la interacción de un material con la radiación electromagnética dentro del rango visible (400–700 nm), que corresponde a la luz perceptible por el ojo humano. La manera en que esta radiación se manifiesta depende, por un lado, de la longitud de onda incidente y, por otro, de la configuración intrínseca del insumo, factor que influye en cómo la luz es absorbida, reflejada o transmitida (17).

Gracias a esta cualidad, el profesional puede replicar con precisión la apariencia natural del diente, logrando una integración armoniosa con el resto de la dentición y resultados estéticamente satisfactorios.

Propiedades térmicas

La propiedad térmica se refiere a cómo reacciona un material frente a la exposición al calor. Al recibir energía térmica, un sólido experimenta un incremento tanto en su temperatura como en sus dimensiones (18).

La propiedad aislante de un material resulta fundamental en odontología, ya que, como señala Macchi, una restauración metálica puede generar molestias significativas en el paciente frente a cambios de temperatura provocados por alimentos o bebidas, si no se incorpora un material que ofrezca adecuada capacidad de aislamiento térmico durante su elaboración (17).

1.5.1.4.3. Propiedades químicas

Absorción

La capacidad de absorción de un material puede provocar cambios en sus dimensiones, permitir la penetración de agentes bióticos y colorantes, propiciando el desprendimiento de sustancias solubles contenidas en su matriz, lo que puede comprometer su compatibilidad con el entorno biológico con el que interactúa (17).

Disolución

La disolución se define como el proceso en el que un soluto, ya sea sólido, líquido o gaseoso, se incorpora en un disolvente, dando lugar a la formación de una solución homogénea (19).

Radioopacidad

Se define como la facultad inherente de un compuesto para relacionarse con la radiación ionizante, específicamente con los rayos X, mediante procesos de absorción y atenuación. Al interponer dicho material entre la fuente emisora y un receptor radiográfico, se generan variaciones en la intensidad de la radiación que alcanza la película o sensor. Como resultado, las regiones con mayor absorción se manifiestan como áreas radiopacas, mientras que aquellas con menor grado de interacción permiten un mayor paso de radiación, evidenciándose como zonas radiolúcidas (20).

Corrosión

La corrosión se describe como el proceso de degradación progresiva de un material originado por interacciones electroquímicas con el medio que lo rodea. En un sentido más amplio, representa la tendencia termodinámica de los materiales a transformarse hacia estados de mayor estabilidad, asociados a niveles más bajos de energía interna (21).

Se trata de un fenómeno que compromete de manera significativa la integridad estructural del material, provocando una disminución progresiva de su masa que puede culminar en su fractura. Asimismo, este proceso puede favorecer la liberación de sustancias potencialmente tóxicas, capaces de generar efectos adversos al interactuar con medios biológicos, como la cavidad bucal (17).

1.5.1.4.4. Dureza

Es posible describir la dureza como la capacidad de un cuerpo para oponerse a una "indentación" (huella o surco) de carácter duradero, dicho de otro modo, este parámetro cuantifica qué tanto se resiste un material ante la indentación o marcado provocado

por un objeto de mayor rigidez. A partir de este concepto se deriva su técnica de evaluación, la cual consiste en incidir o marcar una muestra experimental utilizando un dispositivo de punta calibrada bajo una presión controlada. Al vincular la fuerza ejercida con las dimensiones del rastro resultante, se determina el coeficiente de dureza correspondiente (17,22).

✓ **Dureza de indentación**

Dentro del estudio físico de la materia, el grado de dureza por indentación se entiende como la respuesta de la superficie ante la incursión mecánica de un elemento sólido. El fundamento de estas pruebas radica en medir la impronta residual dejada por una carga predeterminada; sin embargo, el protocolo varía en función de la configuración del penetrador (ya sea piramidal, esférico o cónico) y los requerimientos técnicos exigidos por la naturaleza del espécimen en estudio.

• **Métodos para medir la dureza**

Sistema Brinell

En este método, un balín de acero o de carburo es aplicado sobre la superficie del material ejerciendo presión controlada. Posteriormente, se retira el penetrador y se determina, mediante microscopía, el diámetro de la huella residual generada. Cabe señalar que la máxima deformación se produce durante la aplicación de la carga; al retirarla, la indentación disminuye ligeramente debido a la recuperación elástica parcial del material (22).

Este método presenta dos limitaciones principales: el primer inconveniente es la falta de idoneidad para componentes quebradizos, pues causar la marca exige sobrepasar su umbral proporcional, factor que dichas materias son incapaces de resistir. La segunda limitación radica en que no considera la recuperación elástica que ocurre al retirar la esfera; en consecuencia, no se registra la penetración total, sino únicamente el valor restante tras la recuperación parcial de la superficie hacia su forma original (17).

Sistema Rockwell

Esta técnica de Rockwell analiza la capacidad de oposición de la materia calculando el desnivel en la penetración causada por el punzón. En contraste con procedimientos ópticos, tales como Brinell, Vickers o Knoop, cuyo análisis reside en la dimensión superficial de la huella, este método considera directamente la profundidad alcanzada bajo una carga determinada (23).

En una prueba de dureza Rockwell, se inicia aplicando una carga preliminar ligera, generalmente de 10 N, para establecer la posición base de valor nulo. Acto seguido, se procede a aplicar la fuerza central, que puede ser de 60, 100 o 150 N, durante un tiempo determinado y luego se retira, manteniendo la carga menor aplicada. El valor de dureza Rockwell obtenido, mostrado en un indicador o en formato digital, es inversamente proporcional a la profundidad adicional que alcanzó el penetrador bajo la carga principal, sumada a la penetración causada por la carga preliminar (24). En este sentido, a mayor penetración del indentador sobre el exterior del espécimen, el índice de dureza del insumo será más bajo, indicando que se trata de un material más blando (23).

Dureza Knoop

El ensayo para determinar la dureza Knoop se sustenta en ejercer una presión regulada contra la zona superficial del objeto mediante un penetrador de diamante, generando una huella de dimensiones muy reducidas. La dureza se determina principalmente a partir de la longitud de la diagonal mayor de esta impresión, la cual es producida por un indentador de geometría romboidal y forma alargada. Gracias al uso de cargas precisas y a la mínima profundidad de penetración, este método resulta especialmente adecuado para evaluar materiales frágiles, recubrimientos delgados o situaciones en las que es fundamental minimizar la alteración

de la superficie analizada (25). Aunque este método está relacionado con la prueba de dureza Vickers, presenta una diferencia fundamental en la geometría del penetrador: en lugar de una pirámide simétrica, cuenta con una forma alargada en uno de sus ejes. Esta configuración produce impresiones estrechas y prolongadas en la superficie del material. Al emplear cargas reducidas, se clasifica dentro de las pruebas de microdureza, lo que lo hace especialmente adecuado para el análisis de muestras de tamaño reducido o de espesor limitado. Además, resulta muy útil para evaluar materiales de alta fragilidad, como cerámicas, carburos y vidrio (26).

Microdureza Vickers

El registro del valor Vickers facilita la evaluación de la aptitud del compuesto para tolerar procesos erosivos y de fricción. En este sentido, valores más elevados de microdureza se asocian con una mayor resistencia superficial, lo cual resulta especialmente favorable en materiales destinados a restauraciones definitivas (27).

Este ensayo se realiza mediante un indentador de diamante con forma de configuración piramidal con apoyo cuadrangular, la cual presenta una inclinación interfacial de 136° , lo que permite obtener mediciones precisas incluso en áreas de dimensiones reducidas (28). La carga se aplica de manera gradual y sin impactos, manteniéndose sobre la muestra durante un intervalo de 10 a 15 segundos antes de retirarla completamente. La precisión de los resultados requiere un control estricto tanto de las condiciones del material como de la exactitud de la carga aplicada. Posteriormente, se procede a medir la extensión de las dos diagonales presentes en la huella residual de la indentación con una exactitud aproximada de $0,1 \mu\text{m}$, a partir de las cuales se calcula el valor promedio de la dureza (29).

1.5.1.4.5. Prueba de Microdureza

Las pruebas de microdureza, incluyendo los ensayos Vickers y Knoop, constituyen herramientas fundamentales para caracterizar la resistencia superficial de los materiales a escala microscópica. En estos métodos, un penetrador de diamante con geometría específica (pirámide de base cuadrada en Vickers y forma romboidal alargada en Knoop) se aplica sobre la superficie de la muestra bajo cargas controladas durante tiempos determinados, generando indentaciones de dimensiones microscópicas, típicamente del orden de decenas de micras. La dureza se determina a partir de la relación entre la carga aplicada y el área de la huella producida en kgf/mm^2 . Esta aproximación permite evaluar con precisión materiales frágiles, recubrimientos delgados o zonas limitadas de la muestra, proporcionando información crítica sobre su comportamiento mecánico y su resistencia al desgaste superficial (30).

1.5.2. Antecedentes investigativos

1.5.2.1. Antecedentes Locales

Título: MICRODUREZA SUPERFICIAL DE TRES RESINAS DENTALES, RESINA BULK FILL, RESINA MICROHÍBRIDA Y RESINA NANOHÍBRIDA, AREQUIPA, 2017

Autor: Sotomayor Zela, Ximena Virginia

Resumen:

Se desarrolló una investigación de tipo experimental, prospectiva y transversal con enfoque comparativo, cuyo propósito fue determinar el grado de dureza superficial en diversos compuestos resinosos orientados a rehabilitar piezas del sector posterior. Para ello, se elaboraron 45 muestras cilíndricas con dimensiones con medidas de 6 mm de diámetro y 3 mm de elevación, correspondientes a tres tipos de materiales: composites bulk fill, microhíbridos y nanohíbridos, repartidos en tres subgrupos integrados por 15 ejemplares por serie.

Las muestras fueron acondicionadas bajo condiciones de humedad relativa controlada durante 48 horas, con el fin de estandarizar su comportamiento previo al ensayo. Posteriormente, los especímenes fueron sometidos a evaluación de

microdureza mediante un durómetro, realizando tres marcas tanto en la cara superior como en la zona inferior de cada probeta. Los registros resultantes se convirtieron a la escala de microdureza Vickers para su análisis.

El procesamiento estadístico se realizó empleando el análisis de varianza (ANOVA), complementado mediante el post-hoc de Tukey, evidenciándose diferencias estadísticamente relevantes entre las muestras analizadas. Respecto a los hallazgos obtenidos, la resina nanohíbrida presentó el promedio más alto de microdureza superficial (149,11 HV), seguida de la resina microhíbrida (137,38 HV), mientras que la resina bulk fill registró el menor valor promedio (104,69 HV). Estos hallazgos sugieren que la naturaleza del material resinoso condiciona de forma notable la dureza de la superficie, siendo las resinas nanohíbridas las que presentan un mejor desempeño en esta propiedad mecánica (31).

La ausencia de estudios locales relacionados con la microdureza superficial en resinas impresas en 3D evidencia un vacío en el conocimiento científico, lo cual justifica la ejecución del actual estudio.

1.5.2.2. Antecedentes Nacionales

Título: EFECTO DEL GROSOR DE LA CAPA DE IMPRESIÓN EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y LA MICRODUREZA DE UNA RESINA DENTAL 3D

Autor: Heredia Huánuco, Karenth Alexandra

Resumen:

Se desarrolló un análisis de naturaleza experimental in vitro, con enfoque comparativo, prospectivo y de corte transversal, orientado a determinar el efecto del grosor de la capa impresa en las propiedades de flexión y dureza superficial de un insumo de resina 3D. Para ello, se elaboraron muestras distribuidas en tres grupos según el espesor de capa (30, 50 y 100 μm), con 72 especímenes por grupo. Cada uno de estos fue subdividido en función del tiempo de fotopolimerización (10, 20 y 40 minutos), con el propósito de observar la reacción del material frente a variadas condiciones de endurecimiento lumínico. Los resultados evidenciaron que, en los ensayos de carga flexural, se identificaron los registros más elevados en las muestras con un grosor de capa de 30 μm fotopolimerizadas durante 40 minutos (73,35 MPa), seguidas por aquellas de 50 μm (70,06 MPa), presentando variaciones significativas desde el

punto de vista estadístico en relación con el lote de 100 μm . En cuanto a la microdureza, el mayor valor se registró en el grupo de 50 μm con un tiempo de fotopolimerización de 40 minutos (24,72 VHN), mostrando también diferencias significativas frente a los demás espesores evaluados. Se concluyó que las dimensiones de capa de 30 y 50 μm , sumadas a un intervalo de 40 minutos de fotocurado, permiten obtener mejores propiedades mecánicas, tanto en comportamiento ante la flexión como en la dureza superficial, en comparación con capas de mayor espesor (32).

Título: REVISIÓN DE MATERIALES PARA IMPRESIÓN 3D

Autoras: Alexandra Ailen Damian Asmat, María Alejandra Ordoñez García, Karen Virginia Rivera Pun Lay

Resumen:

La impresión 3D se ha consolidado como una tecnología emergente en diversas áreas de la práctica dental, representando una opción distinta a los métodos convencionales de fabricación asistida por computadora (CAD/CAM). En este contexto, se desarrolló un análisis bibliográfico orientado a determinar los más frecuentes insumos empleados en el prototipado 3D bajo la técnica aditiva, así como sus ventajas, limitaciones y aplicaciones en el ámbito odontológico.

Para la obtención de la información, se efectuó un rastreo en el repositorio PubMed empleando descriptores MeSH, identificándose inicialmente 367 artículos difundidos durante el decenio reciente. Posteriormente, se aplicaron criterios de selección, considerando estudios transversales, revisiones sistemáticas y metaanálisis, lo que permitió reducir la muestra a 10 investigaciones relevantes. Estos estudios procedían de diversos países, entre ellos Suiza, naciones como Japón, España, Taiwán, Brasil, Alemania, Portugal y Corea del Sur, y fueron publicados entre los años 2017 y 2022.

El análisis de la evidencia permitió identificar que los materiales más empleados en la impresión 3D dental incluyen compuestos fotosensibles, resinas termoplásticas y aleaciones de metales de cromo y cobalto. Respecto a sus bondades más destacadas destacan la rapidez en el procesamiento, la posibilidad de controlar la porosidad, su costo relativamente accesible, así como su exactitud técnica y características físicas óptimas para el medio oral. No obstante, también presentan limitaciones, como la imposibilidad de esterilización mediante calor,

el elevado costo de la tecnología y potenciales efectos adversos, incluyendo citotoxicidad en algunos casos.

Asimismo, se evidenció que la impresión 3D tiene múltiples aplicaciones en odontología, tales como la planificación quirúrgica, la elaboración de guías quirúrgicas y la fabricación de restauraciones provisionales, así como prótesis fijas y removibles (33).

1.5.2.3. Antecedentes Internacionales

Título:

RESISTENCIA AL DESGASTE DE UNA RESINA DE LARGA DURACIÓN PARA IMPRESIÓN 3D: EFECTOS DEL TRATAMIENTO DE SUPERFICIE Y DEL ANTAGONISTA

Autor:

Tórres Neto, Antonio José

Resumen:

El estudio tuvo como finalidad analizar la durabilidad ante el roce de un compuesto para impresión 3D de aplicación a largo plazo, sometida a diferentes tratamientos superficiales y en interacción con diversos materiales antagonistas. Para ello, se elaboraron especímenes en forma de discos (n=84) y barras (n=3) a partir de la resina Varseo Smile Crown®, utilizando el software Rhinoceros® versión 7 para su modelado digital. Posteriormente, el diseño fue procesado mediante el software correspondiente a la impresora Bego Varseo XS, siguiendo un protocolo de fabricación estandarizado. Una vez impresas, las muestras fueron sometidas a procesos de limpieza, secado y fotopolimerización, realizándose la poscuración en dos ciclos de 90 segundos. Con el objetivo de medir el nivel de deterioro por fricción, los discos fueron distribuidos en dos grupos según el tratamiento de superficie aplicado: pulido y glaze, con 40 especímenes en cada grupo. A su vez, cada grupo fue subdividido en función del tipo de material antagonista (n=10), incluyendo esteatita, resina de larga duración, resina compuesta y una vitrocerámica reforzada con leucita.

El ensayo de desgaste se efectuó bajo condiciones controladas, aplicando una carga de 50 N, una frecuencia de 1,7 Hz y un total de 6×10^5 ciclos, con un desplazamiento de 3 mm, a una temperatura de 37 °C y en medio acuoso. Los especímenes fueron previamente incluidos en resina acrílica, y la simulación del desgaste se llevó a cabo mediante una cicladora mecánica con deslizamiento. El

análisis del desgaste se llevó a cabo mediante un perfilómetro de contacto (KLA-Tencor P7), empleando parámetros de medición de 50 $\mu\text{m/s}$, 200 Hz y 327 $\mu\text{m/0,1953 A}$. La evaluación del desgaste de los materiales antagonistas se realizó utilizando un estereomicroscopio óptico (Stereo Discovery V20). Asimismo, se efectuó una evaluación mediante espectrometría infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR) con un equipo Specac, y un análisis termogravimétrico (TGA) mediante el sistema STA 449 F3 Jupiter, utilizando muestras pulverizadas de resina bajo condiciones controladas de flujo de aire y temperatura. La rugosidad superficial fue determinada antes y después de la simulación de desgaste en un total de 80 especímenes, mientras que el módulo de elasticidad ($n=3$) y la microdureza Vickers ($n=20$) fueron evaluados previamente al ensayo de desgaste. El tratamiento de la información se llevó a cabo a través de modelos estadísticos ANOVA y pruebas post hoc según Tukey. Se identificaron variaciones con relevancia estadística en el desgaste al comparar las diversas clases de antagonistas y el procedimiento de glaze superficial ($p=0,001$). De igual manera, se observaron diferencias significativas en el desgaste de los antagonistas ($p=0,006$). La rugosidad superficial mostró variaciones significativas antes y después del ensayo de desgaste en ambos tratamientos (pulido y glaze) ($p<0,05$). En cuanto a las propiedades mecánicas, el compuesto registró una media de microdureza en la escala Vickers de 26,01 HV y un módulo de elasticidad de 4,02 GPa. El análisis FT-IR evidenció una adecuada conversión del material polimerizado; sin embargo, en las muestras envejecidas se detectaron señales asociadas a la presencia de agua, atribuibles al envejecimiento hidrotérmico. Por su parte, el análisis termogravimétrico indicó un residuo del 33,24%, correspondiente a la fracción inorgánica del material. En conjunto, los hallazgos sugieren que el material analizado manifiesta una adecuada resistencia al desgaste para su uso por periodos extendidos, factor que se halla condicionado por la naturaleza del antagonista. Asimismo, la aplicación de una capa de glaze incrementa la rugosidad superficial, pero contribuye a mejorar la resistencia al desgaste del material (34).

Título: EVALUACIÓN DE PROTOCOLOS POST IMPRESIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE RESTAURACIONES DEFINITIVAS IMPRESAS EN 3D

Autor:

Contreras Nuñez, Christian Alfredo

Resumen:

Se ejecutó una investigación experimental con el fin de estimar el impacto de variados protocolos de post-procesado en el desempeño mecánico de un material resinoso para manufactura 3D, abordando concretamente la resistencia flexural y los valores de microdureza Vickers. Asimismo, se analizó el efecto del uso de glicerina como barrera durante el proceso de fotopolimerización, la clase de dispositivo de post-curado y la fluctuación en los periodos de exposición lumínica en muestras obtenidas mediante tecnología de impresión LCD.

Para ello, se confeccionaron un total de 480 especímenes de resina fotopolimerizable, los cuales fueron distribuidos en subgrupos de acuerdo con la duración del proceso de curado, la unidad polimerizadora utilizada y el uso o ausencia de glicerina. Todas las muestras fueron sometidas a un protocolo estandarizado de limpieza seguido del proceso de fotopolimerización. La resistencia a la flexión se evaluó mediante un equipo de pruebas universales, aplicando una velocidad constante de 0,5 mm/min, mientras que la microdureza fue determinada mediante instrumentación de microdureza Vickers, utilizando una carga controlada durante 15 segundos.

El análisis estadístico se realizó empleando un análisis de varianza (ANOVA) trifactorial junto con test de comparaciones múltiples, empleando el software GraphPad Prism. Los hallazgos revelaron que tanto la elección del equipo de curado como el lapso de exposición repercuten de forma sustancial en la tenacidad flexural; el dispositivo Phrozen mostró registros superiores frente al sistema FormCure. En cuanto a la dureza, se detectó que el empleo de glicerina resultó contraproducente al reducir los registros obtenidos, probablemente a causa de un incremento en la inhibición de la superficie del compuesto. Asimismo, los valores estadísticos confirmaron efectos altamente significativos para el equipo de curado ($F=55,67$; $p<0,001$), el tiempo de exposición ($F=19,01$; $p<0,001$) y el uso de glicerina ($F=26,67$; $p<0,001$).

Se concluyó que los factores que ejercen mayor influencia sobre las propiedades mecánicas de la resina son el tipo de dispositivo de polimerización empleado y el lapso de irradiación. Si bien la aplicación de glicerina potencia la tenacidad flexural, puede afectar negativamente la dureza de la superficie a escala micro. Estos resultados ayudan a discernir la trascendencia de los procedimientos de posprocesado en la respuesta física de los materiales de manufactura aditiva, aspecto fundamental para su aplicación clínica en odontología (35).

1.6.Hipótesis

1.6.1. Hipótesis Alterna

Dado que la capa inhibida de O₂ afecta a la correcta o eficiente polimerización de la resina 3D, es probable que el uso de gel hidrosoluble mejore la microdureza de la Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D

1.6.2. Hipótesis Nula

La Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D con la aplicación del gel hidrosoluble en su polimerización no mejora la microdureza.



CAPÍTULO II
PLANTEAMIENTO OPERACIONAL

1. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y MATERIALES DE VERIFICACIÓN

1.1. Técnica

Se utilizó la observación de laboratorio como técnica para la obtención de los datos necesarios.

1.1.1. Especificación

Se empleó la ficha de laboratorio como instrumento de recolección de datos, lo que permitió registrar la información derivada de la aplicación de la técnica utilizada en este proyecto.

1.1.2. Esquemmatización

Tabla 2
Esquemmatización

Variable investigativa	Indicadores	Técnica
Microdureza superficial de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D	Expresión en Vickers	Observacional laboratorio

Fuente: Elaboración propia.

1.1.3. Descripción de la técnica

a. Diseño de modelo tridimensional

Se diseñó un modelo tridimensional en el software Blender 3D 5.1, donde sus dimensiones fueron 6 mm de diámetro y 4 mm de altura. Posteriormente, el archivo fue almacenado y procesado en el software ChiTuBox con el fin de realizar la colocación de soportes. Por consiguiente, se realizó la generación de 20 copias del modelo y modificación de los parámetros. Finalmente, el archivo fue exportado en formato STL y almacenado en un dispositivo USB.

b. Impresión de muestras en 3D

- Una vez encendida la impresora para modelos 3D Elegoo Mars 5 Ultra, se colocó la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D dentro de la bandeja de la impresora, se utilizó una secadora para calentarla y lograr una consistencia más fluida.
- Se insertó el dispositivo USB que contenía el archivo, el cual fue abierto y seleccionado para empezar con el proceso de impresión, el cual tuvo un tiempo de 36 minutos.

c. Retiro y limpieza de muestras 3D

- Una vez impresas las 20 muestras se realizó el retiro de estas las cuales estaban adheridas en la placa de la impresora.
- Se retiró los soportes y se empezó a realizar la limpieza de las muestras con microbrush y papel tissue.

d. Rotulado y separación por grupo

- Se rotuló 10 muestras 3D para el grupo A sin gel hidrosoluble.
- Se rotuló 10 muestras 3D para el grupo B con gel hidrosoluble.
- Se colocó dentro de un envase de vidrio 10 muestras 3D del grupo A.
- Para el grupo B se colocó dentro de otro envase de vidrio el cual contenía gel hidrosoluble.

e. Curado de muestras 3D

Se colocó ambos envases de vidrio, dentro de la curadora Anycubic Wash & Cure 3, la cual fue programada con un tiempo de 30 minutos.

f. Eliminación de excesos de soportes

Se utilizó micromotor con pieza recta y un disco de diamante.

g. Almacenamiento de muestras 3D

Se almacenaron en dos frascos por grupo, respectivamente rotulados según la asignación correspondiente, en los cuales se colocaron 10 muestras por cada grupo.

h. Medición de Dureza Superficial

La microdureza superficial fue evaluada mediante un durómetro de indentación, realizando tres indentaciones en cada una de las muestras. Posteriormente, se calculó el promedio de las tres mediciones obtenidas, el cual representó la microdureza superficial de cada espécimen. Finalmente, los datos fueron organizados y procesados para su análisis.

1.2. Instrumentos

1.2.1. Instrumento Documental

a. Especificación

Se utilizó un instrumento estructurado denominado Ficha de Observación Laboratorial, con el propósito de recopilar información correspondiente a las variables e indicadores del estudio.

b. Estructura

Tabla 3
Instrumento documental

VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Resina FGM Voxelprint Ceramic	Mayor	
Resina 3D sin gel hidrosoluble	Menor	Ficha de
Resina FGM Voxelprint Ceramic	Igual	Observación
Resina 3D con gel hidrosoluble		Laboratorial
Microdureza	Vickers kg/mm ²	

Fuente: Elaboración propia.

c. Modelo

Véase en anexo 1

1.2.2. Instrumentos Mecánicos

- Impresora 3D Elegoo Mars 5 Ultra
- Curadora Anycubic Wash & Cure 3
- Durómetro digital LG
- Secadora
- Micromotor con pieza recta
- Computadora
- Calibrador digital
- Celular con cámara fotográfica

1.3. Materiales

a. Material para fabricar muestras

- Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D
- Gel hidrosoluble
- Pinzas odontológicas
- Disco de diamante
- Envases de vidrio
- Papel tissue
- Plumón indeleble
- Lentes de protección
- Microbrush

- Guantes

b. Material para almacenar muestras

Frascos rotulados

2. CAMPO DE VERIFICACIÓN

2.1. Ubicación Espacial

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio mecánico de planificación y ejecución de ensayos mecánicos High Technology Laboratory Certificate (HTL), ubicado en la ciudad de Lima, Perú.

2.2. Ubicación Temporal

La investigación se realizó entre octubre del 2025 hasta abril del presente año.

2.3. Unidades de estudio

Se utilizaron 20 muestras, las cuales fueron distribuidas en dos grupos de 10 unidades cada uno, según el método de procesamiento.

- ✓ Grupo A: conformado por muestras elaboradas con la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D sin gel hidrosoluble.
- ✓ Grupo B: conformado por muestras elaboradas con la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D con gel hidrosoluble.

2.3.1. Criterios de Inclusión

- Muestras de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D con las medidas establecidas.
- Muestras de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesadas sin y con gel hidrosoluble sin pigmentaciones
- Muestras de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesadas sin y con gel hidrosoluble con superficies lisas.

2.3.2. Criterios de Exclusión

- Muestras de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesadas sin y con gel hidrosoluble con pigmentaciones.
- Muestras de resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D con superficies irregulares.

2.3.3. Muestra

Conformada por 20 muestras cilíndricas impresas en 3D, con un diámetro de 6 mm y una altura de 4 mm, distribuidas en dos grupos de 10 unidades cada uno, según las dos modalidades de procesamiento.

2.3.3.1. Tamaño de muestra

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q}{E^2}$$

Donde:

Z^2 : Nivel De confianza del estudio: 95 % (1.96)

p : Probabilidad que ocurra

q : $100-p \rightarrow 100-98=2\%$

E^2 : Error muestral: 10

Reemplazando:

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 98 \cdot 2}{10^2}$$

$$n = 7.5 \rightarrow 8$$

Por lo tanto, de acuerdo con la fórmula, se requieren como mínimo 8 repeticiones por grupo. Para la presente investigación, se ha decidido considerar 10 repeticiones por cada grupo.

3. ESTRATEGIA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. Organización

- Autorización de la UCSM Facultad de Odontología
- Coordinación con el Laboratorio mecánico de planificación y ejecución de ensayos mecánicos High Technology Laboratory Certificate (HTL).

3.2. Recursos

a. Recursos Humanos

- Investigadora: Yandery Milagros Perez Rodriguez
- Asesor: Dr. Ivo Alvaro Palomino Valverde

b. Recursos Físicos

- Laboratorio Dental Privado Sinapsis
- Laboratorio mecánico de planificación y ejecución de ensayos mecánicos High Technology Laboratory Certificate (HTL).

c. Recursos Económicos

El trabajo fue autofinanciado.

3.3. Validación de instrumento

Prueba piloto.

4. ESTRATEGIA PARA MANEGAR LOS RESULTADOS

4.1. Plan de procesamiento de los datos

4.1.1. Tipo de procesamiento

Los datos fueron obtenidos mediante procedimientos computacionales.

4.1.2. Operaciones del procesamiento.

a. Clasificación

Una vez aplicados los instrumentos, la información recopilada fue organizada de manera sistemática en una matriz de registro y control.

b. Codificación

Computarizada.

c. Recuento

Matrices de conteo.

d. Tabulación

Se elaboraron tablas numéricas de entrada simple y doble mediante el uso del Software SPSS versión 25.

e. Graficación

Se emplearon representaciones gráficas en función de la naturaleza de la información.

f. Análisis

Tabla 4

Tratamiento estadístico

Variable Investigativa	Carácter Estadístico	Escala de Medición	Estadísticas Descriptivas	Prueba Estadística
Microdureza Superficial	Cuantitativo Continuo	Razón	-Media Aritmética -Desviación Estándar -Valor mínimo -Valor máximo	Test de t-Student para grupos independientes

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Nivel del estudio de los datos

a. Metodología

Se efectuó la jerarquización de la información, seguida de su análisis comparativo y evaluación crítica.

b. Modalidad previsible

Se procedió a la interpretación de los resultados posterior a cada tabla, concluyendo con una discusión integral de los hallazgos.

c. Operaciones para la interpretación

Se recurrió a los métodos de análisis, síntesis, inducción y deducción como estrategias para el abordaje y procesamiento de la información.

d. Nivel de interpretación

Corresponde a un nivel analítico, enfocado en el análisis detallado y la interpretación de la información obtenida.

5. CRONOGRAMA

Tabla 5
Cronograma de actividades

Actividades	Tiempo											
	Diciembre	Enero		Febrero			Marzo		Abril			
	4	3	4	1	2	3	2	3	2	3	4	
Aprobación del proyecto	X											
Recolección de datos		X	X									
Procesamiento de datos				X	X	X						
Análisis de datos							X	X				
Borrador de tesis									X	X	X	

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO III
RESULTADOS

Tabla 6

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1

RESINA SIN GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 1	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	28,01
Desviación Estándar	0,40
Valor Mínimo	26,1
Valor Máximo	30,3
Rango	4,2
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos

INTERPRETACIÓN

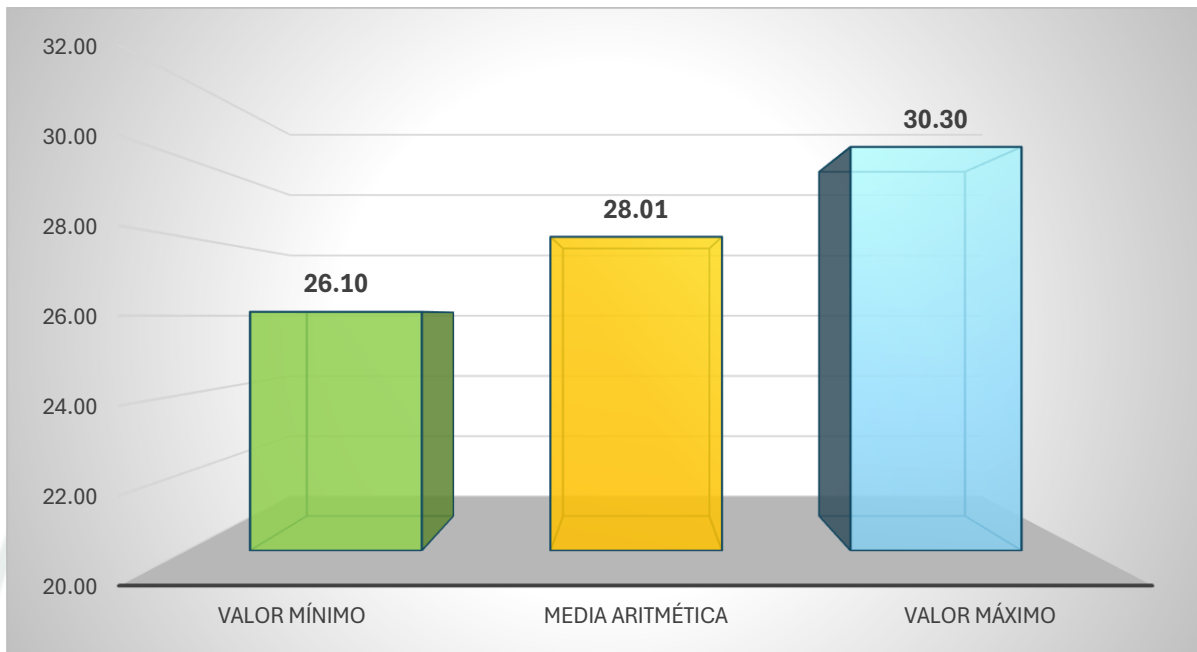
Mediante el cuadro expuesto, se detallan los registros de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D sin el uso de gel hidrosoluble, correspondiente al punto de referencia 1. Se obtuvo una media aritmética de 28,01 kg/mm², cifra que constituye el promedio de la resistencia superficial para la decena de especímenes evaluados.

Asimismo, se registró una desviación estándar de 0,40 kg/mm², lo cual denota una reducida fluctuación estadística en relación con el promedio, reflejando una distribución homogénea y resultados relativamente estables.

El valor máximo registrado fue de 30,3 kg/mm², mientras que el valor mínimo fue de 26,1 kg/mm², determinándose un rango de 4,2 kg/mm² entre ambos extremos, lo que permite evidenciar una baja dispersión de los valores registrados.

Figura 2

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 7

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1

RESINA CON GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 1	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	29,88
Desviación Estándar	0,36
Valor Mínimo	28,20
Valor Máximo	31,50
Rango	3,3
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

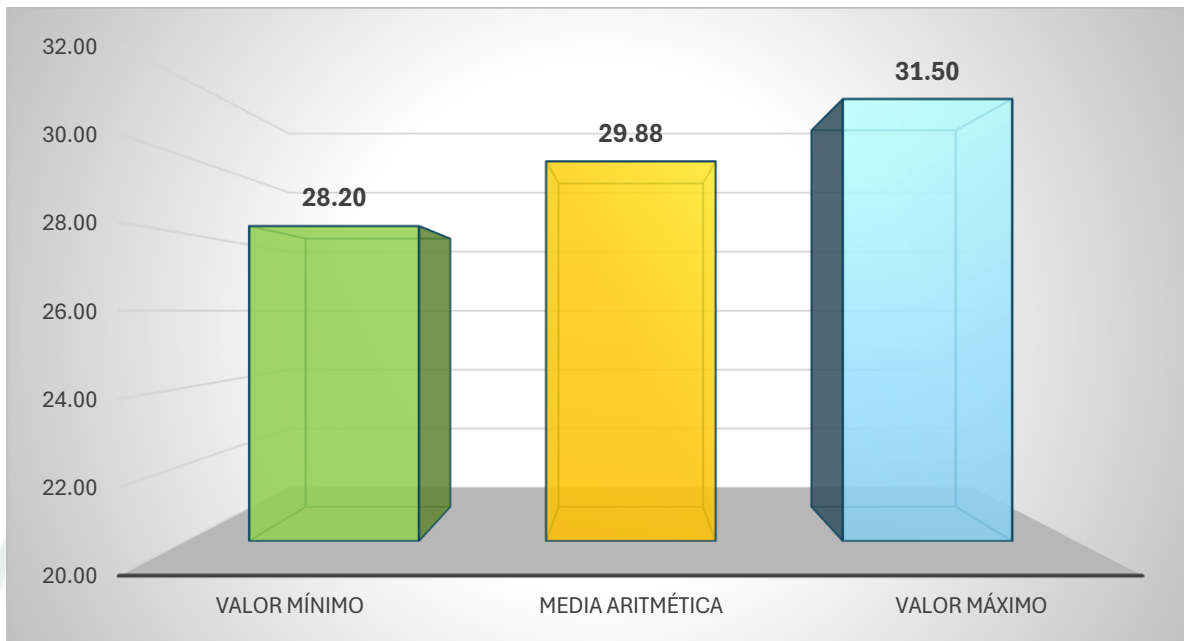
Tomando como referencia las cifras expuestas en el cuadro posterior, se detallan los registros de dureza a microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D con la aplicación de gel hidrosoluble, correspondientes al punto de referencia 1. Se registró una media aritmética de 29,88 kg/mm², que representa el promedio de la resistencia de la superficie para la decena de especímenes evaluadas.

Asimismo, la desviación estándar fue de 0,36 kg/mm², que evidencia un reducido nivel de variabilidad de los registros en relación con el valor central, indicando una distribución uniforme de los resultados.

El valor máximo alcanzado fue de 31,5 kg/mm², mientras que el mínimo fue de 28,20 kg/mm², estableciéndose un rango de 3,3 kg/mm² entre ambos extremos, lo que refleja una reducida amplitud en los valores obtenidos.

Figura 3

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 8

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelpriint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1

Microdureza	Resina – Punto 1	
	Sin Gel	Con Gel
Media Aritmética (Promedio)	28,01	29,88
Desviación Estándar	0,40	0,36
Total Muestras	10	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos. P = 0,003 (P < 0,05) S.S.

INTERPRETACIÓN

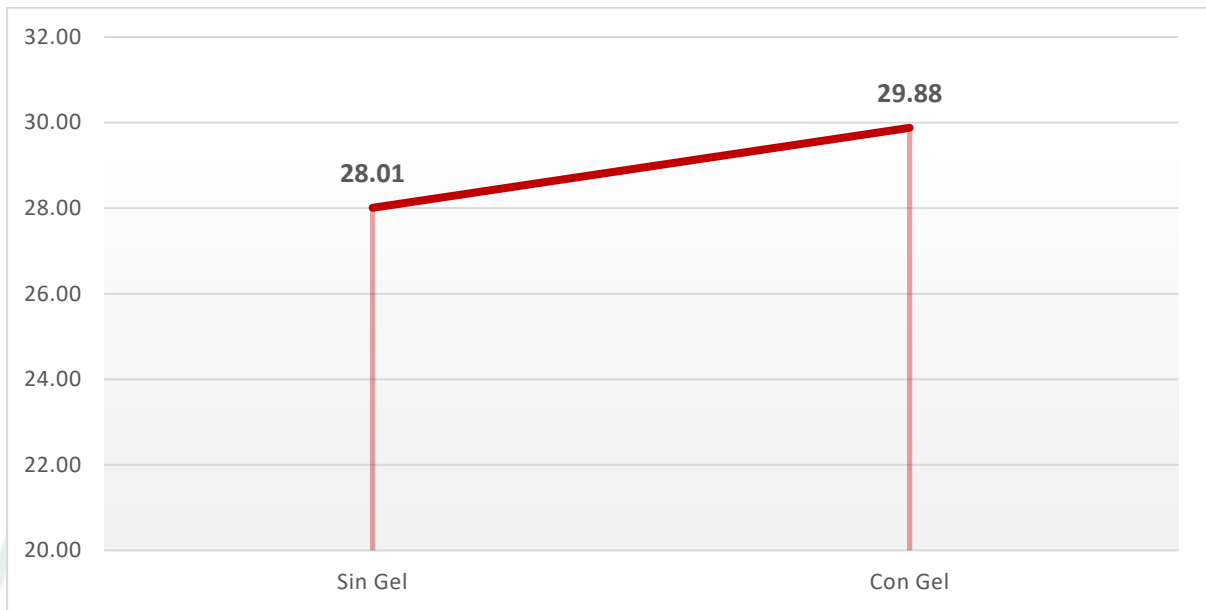
A partir de las cifras expuestas en el cuadro previo, se contrastan los valores de microdureza del compuesto FGM Voxelpriint Ceramic Resina 3D durante su proceso de polimerización, tanto sin como con la aplicación de gel hidrosoluble en el punto de referencia 1. Los resultados reflejan que en ausencia de gel hidrosoluble se registró una media aritmética de 28,01 kg/mm², mientras que con la aplicación del gel hidrosoluble la media aumentó a 29,88 kg/mm².

En cuanto a la variabilidad estadística, el desvío estándar alcanzó de 0,40 kg/mm² para el lote carente de gel y de 0,36 kg/mm² para la serie que empleó gel, lo que evidencia una baja variabilidad en ambos procesos.

Al aplicar la Prueba T de Student, se registró una cifra de p = 0,003, la cual se sitúa por debajo del umbral de confianza prefijado (p < 0,05). Este resultado valida una discrepancia con relevancia estadística entre ambos conjuntos, por lo tanto, la aplicación del gel hidrosoluble incrementa la microdureza del material evaluado.

Figura 4

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 1



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 9

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2

RESINA SIN GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 2	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	28,37
Desviación Estándar	0,58
Valor Mínimo	26,1
Valor Máximo	31,3
Rango	5,2
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

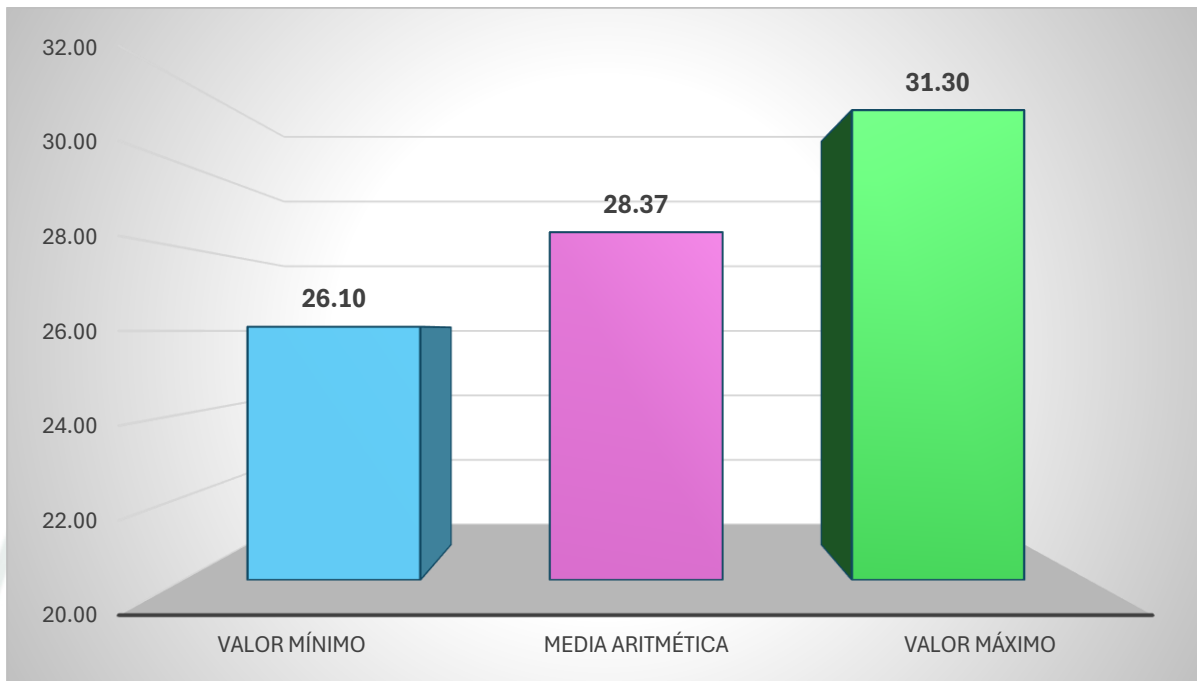
Conforme a los datos tabulados, los valores de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D sin el uso de gel hidrosoluble los cuales pertenecen al punto de referencia 2. Se obtuvo una media aritmética de 28,37 kg/mm² que representa la cifra media de resistencia superficial para la decena de ejemplares evaluadas.

Asimismo, se obtuvo un desvío estándar de 0,58 kg/mm², lo cual denota una mínima fluctuación de los registros comparados con el valor central y sugiere una distribución uniforme de los resultados.

El valor máximo alcanzado fue de 31,3 kg/mm², mientras que el mínimo fue de 26,1 kg/mm², estableciéndose un rango de 5,2 kg/mm² entre ambos extremos, lo que evidencia la dispersión de los datos.

Figura 5

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 10

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2

RESINA CON GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 2	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	30,41
Desviación Estándar	0,34
Valor Mínimo	29,10
Valor Máximo	31,90
Rango	2,8
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

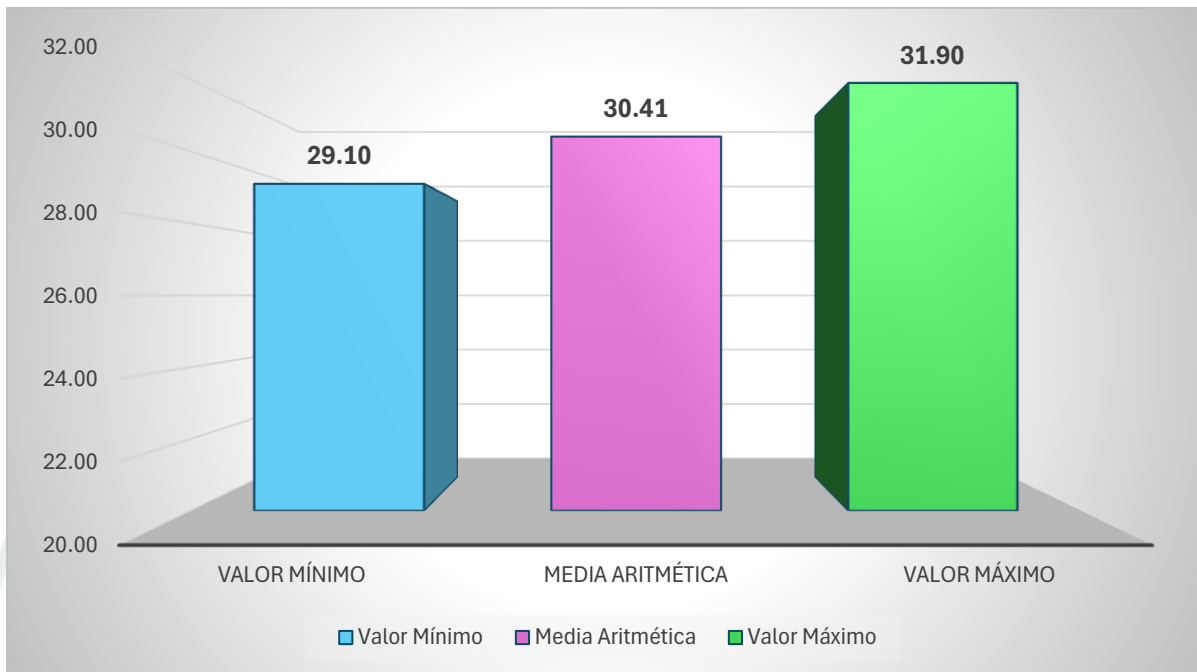
Basándose en la información del cuadro se detallan los registros de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D con el uso de gel hidrosoluble, los cuales corresponden al punto de referencia 2.

Se registró una media aritmética de 30,41 kg/mm², la cual representa la cifra media de resistencia de la superficie para la decena de ejemplares evaluadas. Hallándose una desviación típica de 0,34 kg/mm², dato que refleja una reducida fluctuación de los registros en relación con el valor central, el cual refleja una distribución uniforme con mínima variabilidad.

El valor máximo registrado fue de 31,90 kg/mm², mientras que el valor mínimo fue de 29,10 kg/mm², estableciéndose un rango de 2,8 kg/mm² entre ambos extremos, lo que indica una baja variación entre ambos valores.

Figura 6

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 11

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2

Microdureza	Resina – Punto 2	
	Sin Gel	Con Gel
Media Aritmética (Promedio)	28,37	30,41
Desviación Estándar	0,58	0,34
Total Muestras	10	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos. P = 0,007 (P < 0,05) S.S.

INTERPRETACIÓN

Según los datos presentados, se realizó la evaluación comparativa de la microdureza del compuesto FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D durante su proceso de polimerización, tanto sin como con la aplicación de gel hidrosoluble en el punto de referencia 2.

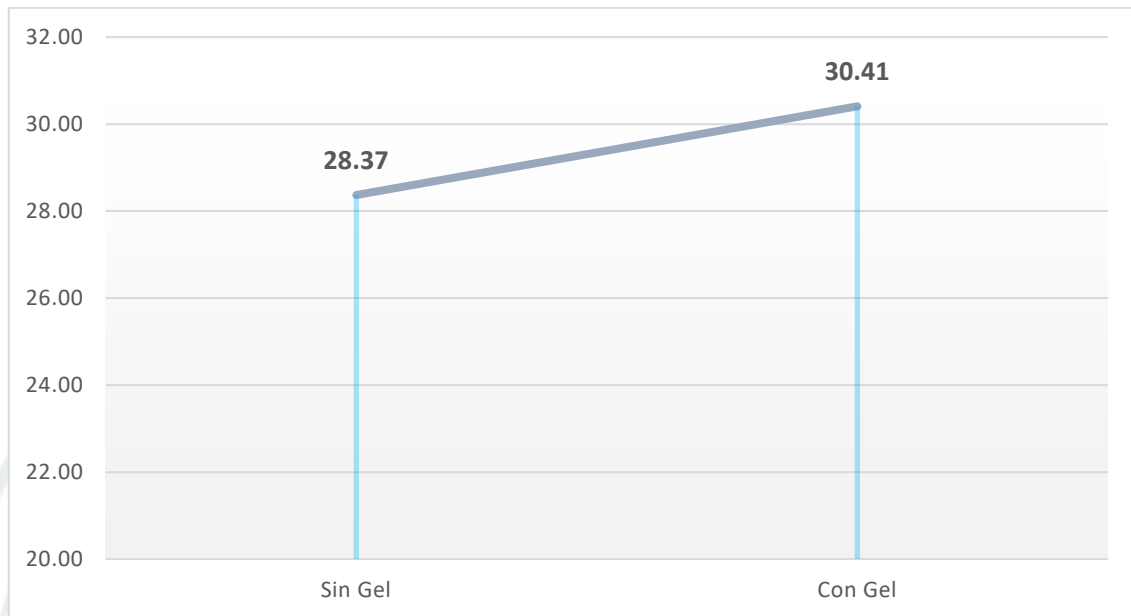
Se observó que el grupo sin gel presentó una media de 28,37 kg/mm², mientras que el grupo con gel llegó a una media superior, situada en 30,41 kg/mm².

Respecto a la variabilidad, ambos grupos mostraron una dispersión reducida, con desviaciones estándar de 0,58 kg/mm² para el lote carente de gel y 0,34 kg/mm² para la muestra con aplicación de gel, lo cual denota la homogeneidad de los registros hallados.

Tras la ejecución del test t de Student, se registró una cifra de p = 0,007, situándose por debajo del umbral de confianza establecido (p < 0,05); esto valida la existencia de una discrepancia con relevancia estadística entre las muestras analizadas. En consecuencia, el empleo de la barrera de gel hidrosoluble favorece la microdureza del material analizado.

Figura 7

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 2



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 12

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3

RESINA SIN GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 3	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	29,07
Desviación Estándar	0,63
Valor Mínimo	27,8
Valor Máximo	33,8
Rango	6,0
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

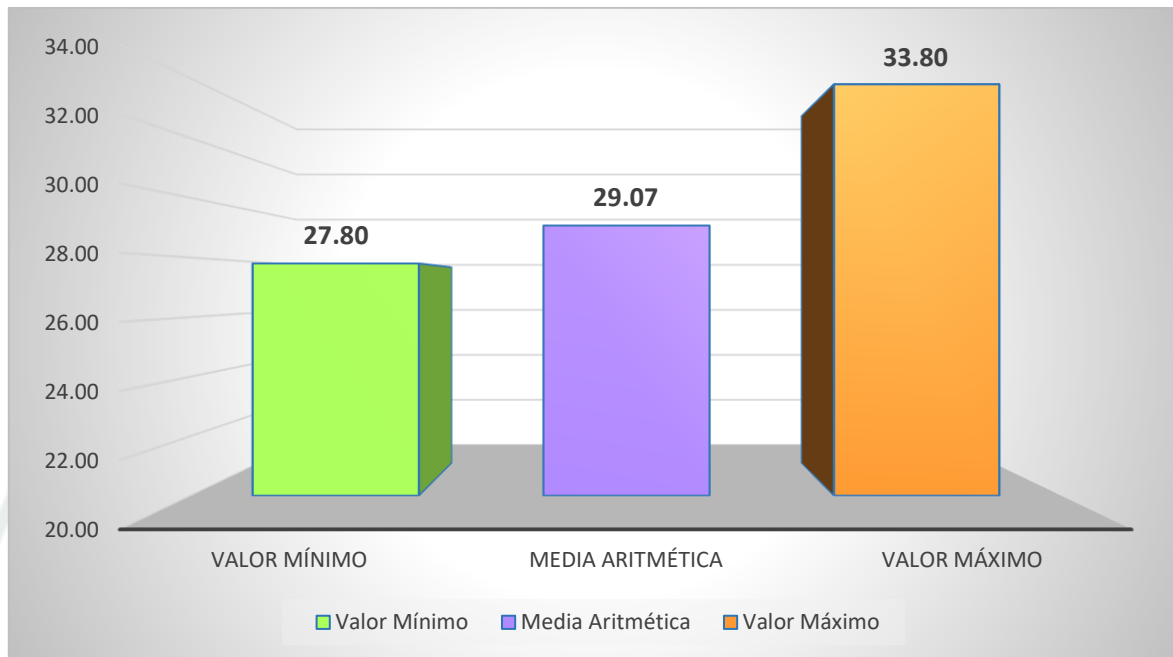
Tomando como referencia la información tabulada, se presentan los valores de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D sin el uso de gel hidrosoluble, los cuales corresponden al punto de referencia 3.

Se registró una media aritmética de 29,07 kg/mm², la cual representa el valor medio de dureza en la superficie para la decena de especímenes evaluadas. Lo que indica una desviación estándar de 0,63 kg/mm², este resultado evidencia una baja dispersión de los registros en comparación con el promedio que refleja una distribución uniforme con mínima variabilidad.

El valor máximo registrado fue de 33,8 kg/mm², mientras que el valor mínimo fue de 27,8 kg/mm², estableciéndose un rango de 6,0 kg/mm² entre ambos extremos, asimismo, señala la brecha numérica entre los picos de mayor y menor magnitud.

Figura 8

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 13

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3

RESINA CON GEL HIDROSOLUBLE PUNTO DE REFERENCIA 3	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	30,50
Desviación Estándar	0,45
Valor Mínimo	27,9
Valor Máximo	31,7
Rango	3,8
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

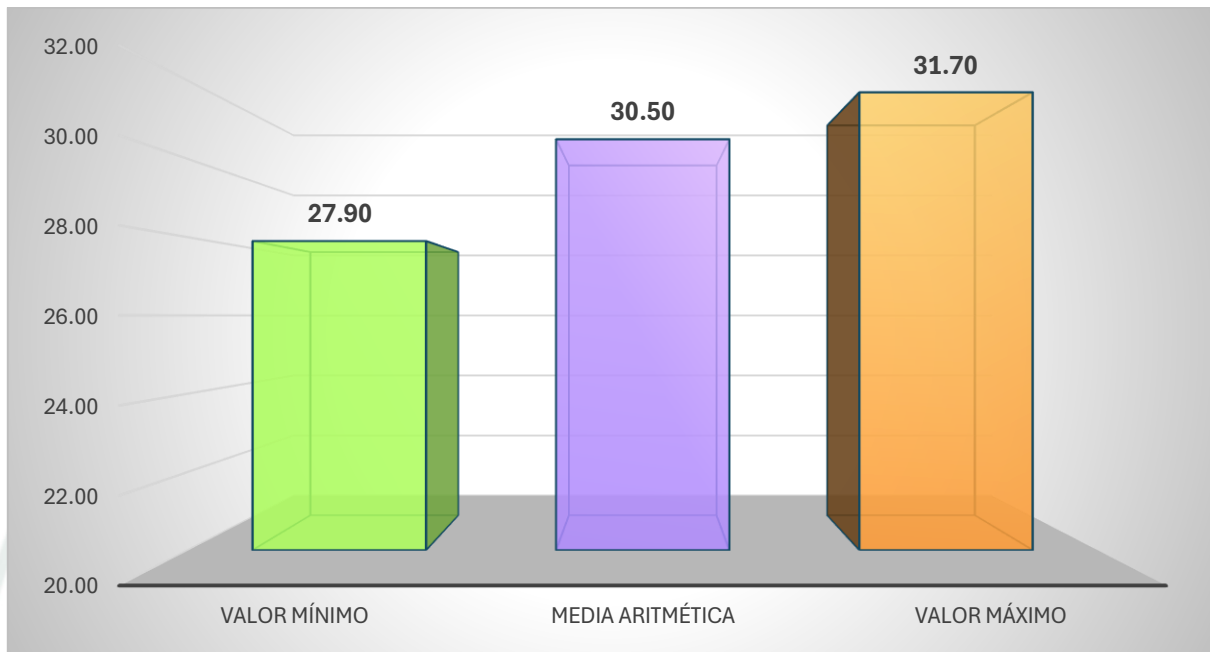
INTERPRETACIÓN

Según los siguientes datos de la tabla se presentan los valores de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D con el uso de gel hidrosoluble referidos al punto de referencia 3. Se determinó una media aritmética de 30,50 kg/mm² que corresponde al valor medio de la resistencia de la superficie para la decena de especímenes analizados. Además, se señala un desvío estándar de 0,45 kg/mm², lo cual denota una reducida fluctuación estadística en relación con la media, factor que refleja una distribución uniforme con mínima variabilidad.

El valor máximo registrado fue de 31,70 kg/mm² mientras que el valor mínimo fue de 27,90 kg/mm², estableciéndose un rango de 3,8 kg/mm² entre ambos extremos, lo cual indica una baja variación entre ambos valores.

Figura 9

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 14

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelpint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3

Microdureza	Resina – Punto 3	
	Sin Gel	Con Gel
Media Aritmética (Promedio)	29,07	30,50
Desviación Estándar	0,63	0,45
Total Muestras	10	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos. P = 0,047 (P < 0,05) S.S.

INTERPRETACIÓN

En esta tabla se observan los datos presentados, se realizó la evaluación comparativa de la microdureza del compuesto FGM Voxelpint Ceramic Resina 3D durante su proceso de polimerización, tanto sin como con la aplicación de gel hidrosoluble en el punto de referencia 3.

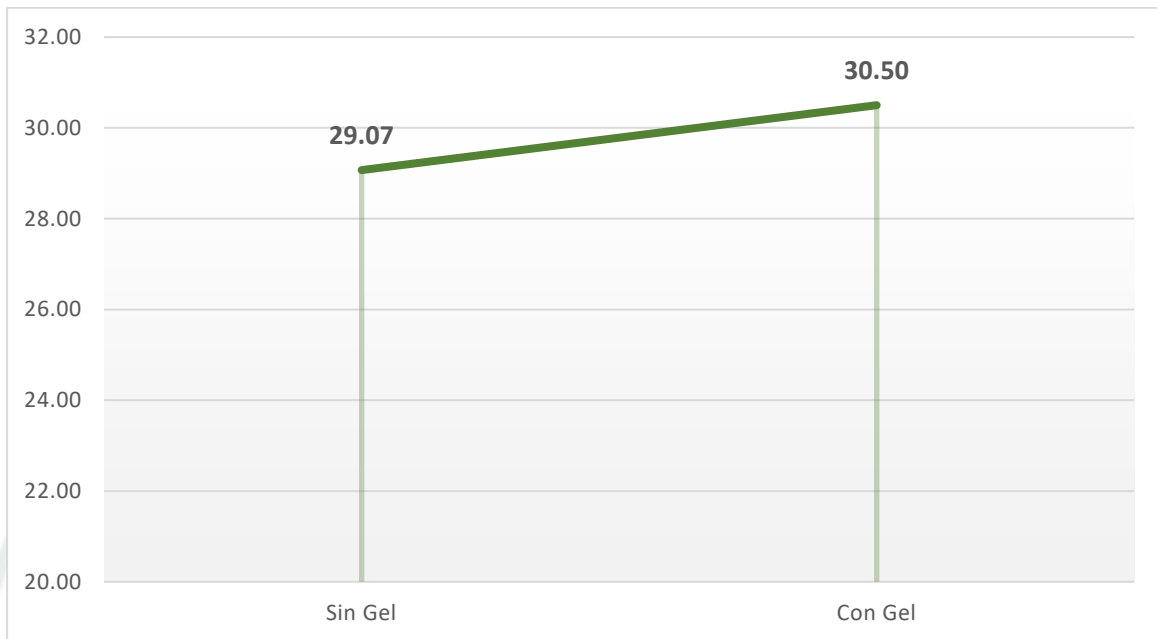
Se observó que el grupo sin gel presentó una media de 29,07 kg/mm², mientras que el grupo con gel logró una media aritmética superior situada en 30,50 kg/mm².

En cuanto a la variabilidad, ambos grupos presentaron una dispersión reducida, con desviaciones estándar de 0,63 kg/mm² para el grupo sin gel y 0,45 kg/mm² para el grupo con gel, lo que refleja homogeneidad en los registros hallados.

Tras la ejecución del test T de Student, se obtuvo una cifra de p = 0,047, situándose por debajo del umbral de confianza establecido (p < 0,05); esto valida la existencia de una discrepancia con relevancia estadística entre las muestras analizadas. Por lo tanto, el empleo del gel hidrosoluble repercute positivamente en la microdureza del material analizado.

Figura 10

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble en el punto de referencia 3



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 15

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble

RESINA SIN GEL HIDROSOLUBLE PROMEDIO	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	28,68
Desviación Estándar	0,56
Valor Mínimo	26,70
Valor Máximo	31,50
Rango	4,8
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

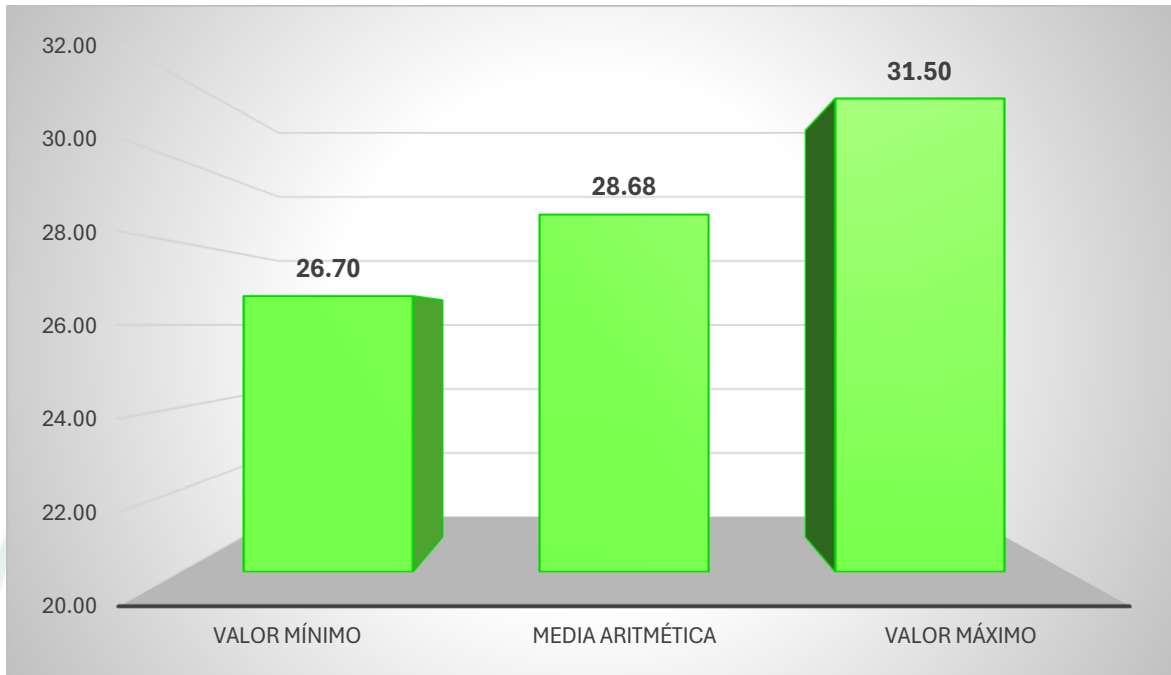
En la presente tabla se presentan los valores de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D sin el uso de gel hidrosoluble. En el que se determinó:

Una media aritmética de 28,68 kg/mm² que corresponde al promedio de la microdureza superficial de las 10 muestras evaluadas. Así mismo, nos indica una desviación estándar de 0,56 kg/mm², este dato indica una baja dispersión de los datos con respecto al promedio, lo que refleja una distribución uniforme con mínima variabilidad.

Se registró un valor máximo de 31,50kg/mm² mientras que el valor mínimo fue de 26,70 kg/mm², con lo cual se obtuvo un rango de 4,8 kg/mm² entre ambos extremos, lo que evidencia una baja variación entre ambos valores.

Figura 11

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin el uso del gel hidrosoluble



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 16

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble

RESINA CON GEL HIDROSOLUBLE PROMEDIO	Microdureza
Media Aritmética (Promedio)	30,08
Desviación Estándar	0,27
Valor Mínimo	28,8
Valor Máximo	31,2
Rango	2,4
Total Muestras	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

INTERPRETACIÓN

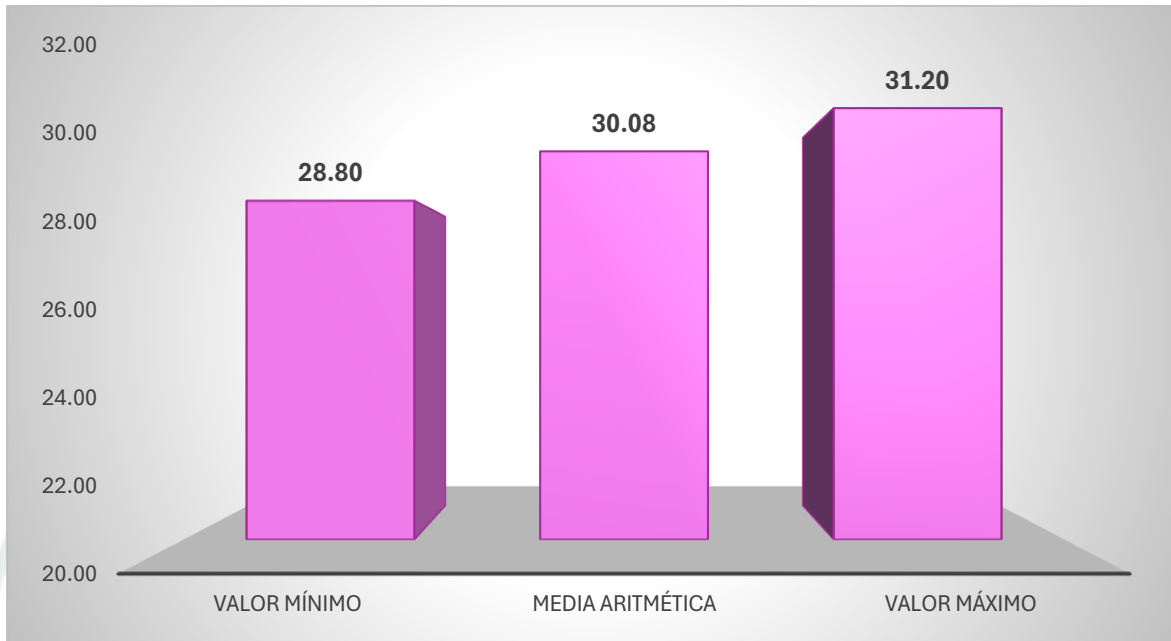
Mediante la tabla expuesta se detallan los registros de microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D con el uso de gel hidrosoluble, donde se determinó:

Una media aritmética de 30,08 kg/mm² que corresponde al valor medio de la resistencia de la superficie para la decena de especímenes evaluadas. Así mismo, nos indica una desviación estándar de 0,27 kg/mm², esta cifra denota una reducida fluctuación de los registros en relación con la media, factor que refleja una distribución uniforme con mínima variabilidad.

Se registró un valor máximo de 31,02 kg/mm² mientras que el valor mínimo fue de 28,08 kg/mm², con lo cual se obtuvo un rango de 2,4 kg/mm² entre ambos extremos, lo que evidencia una baja variación entre ambos valores.

Figura 12

Microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización con el uso del gel hidrosoluble



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

Tabla 17

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelpriint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble

Microdureza	Resina – Promedio	
	Sin Gel	Con Gel
Media Aritmética (Promedio)	28,68	30,08
Desviación Estándar	0,56	0,27
Total Muestras	10	10

Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos. P = 0,040 (P < 0,05) S.S.

INTERPRETACIÓN

A través de los datos tabulados se contrastó el grado de microdureza del compuesto FGM Voxelpriint Ceramic Resina 3D durante su proceso de polimerización, considerando condiciones con y sin la aplicación de gel hidrosoluble.

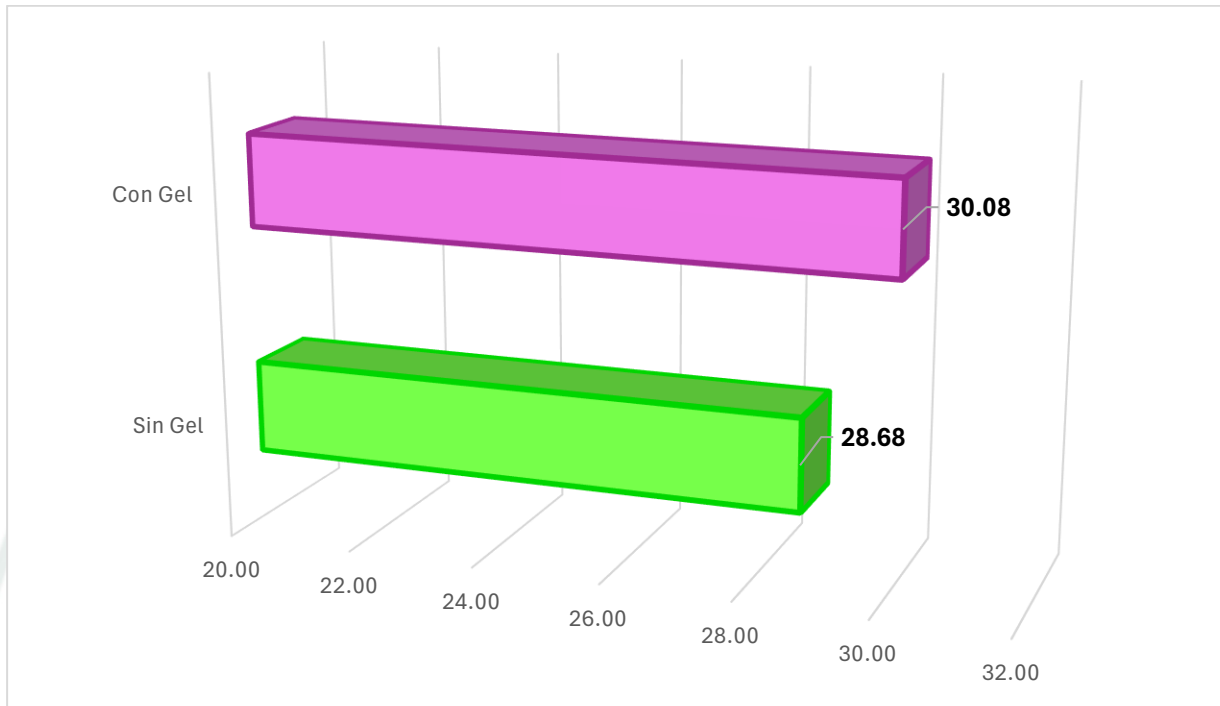
Se observó que el grupo sin gel presentó una media de 28,68 kg/mm², en contraste, la muestra que utilizó gel registró una media superior de 30,08 kg/mm².

En cuanto a la variabilidad, ambos grupos presentaron una dispersión reducida, con desviaciones estándar de 0,56 kg/mm² para el grupo sin gel y 0,27 kg/mm² para el grupo con gel, lo que refleja homogeneidad en los hallazgos reportados.

Tras la ejecución del test T de Student, se obtuvo una cifra de p = 0,040, situándose por debajo del umbral de confianza prefijado (p < 0,05). Este resultado valida una discrepancia con relevancia estadística entre las muestras analizadas. En consecuencia, el empleo de la barrera de gel hidrosoluble durante su proceso de polimerización mejora la microdureza del material estudiado.

Figura 13

Comparación de la microdureza de la resina FGM Voxelprint Ceramic resina 3D en su polimerización sin y con el uso del gel hidrosoluble



Fuente: Elaboración personal. Matriz de datos.

DISCUSIÓN

En la presente investigación se evaluó la microdureza superficial de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D, comparando muestras procesadas con y sin gel hidrosoluble.

Se emplearon 20 muestras, distribuidas en dos grupos, las cuales fueron sometidas a ensayo mediante un durómetro de indentación. Los resultados evidenciaron que el material procesado sin gel hidrosoluble presentó el menor valor medio de dureza en la superficie de 28,68 HV, en contraste con el procesado con gel hidrosoluble alcanzó un mayor valor el cual fue de 30,08 HV.

Los valores de microdureza obtenidos en el presente estudio fueron superiores a los reportados en la literatura para otras resinas de impresión 3D donde se describen rangos reportando valores comprendidos entre 24,72 HV y 26,01 HV en distintas marcas comerciales, tales como Dentona y Varseo Smile Crown®, respectivamente. Este hallazgo sugiere un mejor comportamiento de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D frente a otras marcas, lo cual podría estar relacionado con diferencias en su formulación, especialmente en el contenido y tipo de carga inorgánica, así como en el grado de conversión alcanzado durante la polimerización.

Asimismo, se evidenció que la aplicación de gel hidrosoluble durante el proceso de curado influyó positivamente en la microdureza del material, lo que podría explicarse por la reducción de la capa inhibida por oxígeno, favoreciendo una polimerización más completa en la superficie.

En conjunto, los resultados ponen de manifiesto que la configuración química del insumo junto con los parámetros de manufactura, especialmente la aplicación de gel hidrosoluble, desempeñan un papel determinante en la microdureza final de las resinas para impresión 3D.

Por otro lado, diversos estudios han evaluado múltiples propiedades de las resinas para impresión 3D, incluyendo no solo la microdureza, sino también la estabilidad cromática, la resistencia a la flexión, entre otras. Esto sugiere que estos materiales continúan en constante desarrollo dentro de la odontología, con el objetivo de optimizar su desempeño clínico y ampliar sus aplicaciones en el futuro.

CONCLUSIÓN

Primera:

El contraste del grado de dureza a microescala de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D, durante su procesamiento con y sin gel hidrosoluble, realizada mediante la prueba de microdureza Vickers. Los resultados indicaron que las muestras procesadas sin gel hidrosoluble presentaron una media de dureza superficial situada en 28,68 kg/mm².

Segunda:

Al comparar los valores de dureza superficial de la resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D, durante sus dos procesamientos con y sin gel hidrosoluble, los resultados evidenciaron que las muestras procesadas con gel hidrosoluble presentaron una microdureza superficial promedio de 30,08 kg/mm².

Tercera:

La resina FGM Voxelprint Ceramic Resin 3D, según las indicaciones del fabricante, no requiere el uso de gel hidrosoluble durante su procesamiento; no obstante, mediante el actual análisis se detectó que las muestras procesadas con gel hidrosoluble presentaron un incremento en el valor medio de la dureza a microescala frente a aquellas procesadas sin dicho agente observándose diferencias estadísticamente significativas.

En concordancia con los hallazgos reportados, se valida la hipótesis planteada, puesto que se demostró que el uso del gel hidrosoluble durante el proceso de curado influye positivamente en la microdureza superficial del material, optimizando sus propiedades mecánicas.

RECOMENDACIONES

Primera:

Se sugiere desarrollar futuras investigaciones que consideren la variación de los tiempos de polimerización, con el fin de evaluar su influencia en la magnitud y el comportamiento de la micro dureza superficial del material.

Segunda:

Se recomienda desarrollar futuras investigaciones orientadas a evaluar otras propiedades físicas, químicas o biológicas del material, considerando sus diversas características susceptibles de comparación.

Tercera:

Se recomienda profundizar en investigaciones bibliográficas sobre este material, dado que, al tratarse de una alternativa relativamente reciente en el mercado y de limitada adopción clínica, la evidencia científica disponible aún es escasa, lo que hace necesario ampliar y consolidar el conocimiento existente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Olarte J, Castro S. Odontología digital. CES Odontología [Internet]. 2021 [citado 23 marzo de 2026]; 34(2): 1-2. Disponible en: <https://doi.org/10.21615/cesodon.6539>).
2. Cruz E. Odontología Digital: El futuro es ahora. Rev estomat salud [Internet]. 2018 [citado 12 de febrero de 2026]; 25(2); 8-10. Disponible en: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA569202751&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=01213873&sw=w&p=IFME&userGroupName=anon%7Ed78e415f&aty=open-web-entry>).
3. Molina G. Innovaciones para una odontología más inclusiva. Revista Estomatológica Herediana [Internet]. 2025 [citado 12 de febrero de 2026]; 35(1); 1-3. Disponible en: <https://doi.org/10.20453/reh.v35i1.6323>).
4. Dental, CHITUBOX. Streamline Workflow with CHITUBOX Dental. , CHITUBOX, 2025 [citado 15 de enero de 2026]. Disponible en: <https://dental.chitubox.com/en/index>.
5. Anusavice KJ. Phillips: Ciencia de los materiales dentales. 11th ed.: Elsevier Saunders; 2004 [citado 16 de enero de 2026], 588p. Disponible en: <https://biomedisca.com/wp-content/uploads/2025/02/Phillips-Science-of-Dental-Materials-12th-Edition.pdf>.
6. Rodríguez D, Pereira N. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. Acta Odon. Ven. [Internet]. 2008 [citado 25 de diciembre de 2026]; 46(3); 381-392. Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0001-63652008000300026&script=sci_arttext).
7. Ferracane L. A historical perspective on dental composite restorative materials. Jour. of Funct. Bioma. [Internet]. 2024 [citado 26 de diciembre de 2026]; 15(7); 173. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-4983/15/7/173>).
8. Bhattacharya M, Seong WJ. Carbon Nanotube-Based Materials—Preparation, Biocompatibility, and Applications in Dentistry. En Nanobiomaterials in Clinical Dentistry. 2nd ed.: Elsevier; 2019.
9. Gargallo M, De Parga J, Viñuela A. Propiedades estéticas de las resinas compuestas. Rev int prótes estomatol [Internet]. 2010 [citado 18 de febrero de 2026]; 13(1); 11-22. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/106645773/index-libre.pdf?1697447522=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPropiedades_esteticas_de_las_resinas_com.pdf&Expires=1777576137&Signature=NaRQWtYNqaTStLExB1dFOEqf-CzgS).

10. Yearn J. Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int. Dent. Jour.* [Internet]. 1985 [citado 20 de marzo de 2026]; 35(3); 218-225. Disponible en: <https://europepmc.org/article/med/2932391>).
11. Silva R, Pizzolotto L, Peña C, Machado J, Soares P, Pereira G, et al. Bonding performance of surface treatments for luting semidirect composite resin restorations: An in vitro study. *The Jour.of Prost. Dent.* [Internet]. 2026 [citado 30 de enero de 2026]; 30(20); 7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2025.12.018>).
12. Ferracane L. Resin composite—State of the art. *Dental materials* [Internet]. 2011 [citado 25 de febrero de 2026]; 27(1); 29-38. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S010956411000463X>).
13. Loguercio A, Reis A, Navarro M. *Materiais dentários restauradores diretos—dos fundamentos à aplicação clínica* Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2021, 217p..
14. Pillai S, Upadhyay A, Khayambashi P, Farooq I, Sabri H, Tarar M, et al. Impresión 3D dental: trasladando el arte de los laboratorios a las clínicas. *Polímeros* [Internet]. 2021 [citado 23 de marzo de 2026]; 13(1); 157. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13010157>).
15. FGM Dental Group. *Voxelprint: resina para modelos 3D.* [Online]; Madrid: FGM Dental Group: c2026. [citado 15 de febrero de 2026]. Disponible en: <https://es.dental-tribune.com/news/voxelprint-marca-una-nueva-era-en-protesis-impresas-con-ciencia-tecnologia-y-resultados-clinicos/>.
16. Bhandi, S. Biocompatibility of restorative materials: A review. *Texila Int J Public Health.* [Internet]. 2023 [citado 15 de marzo de 2026]; 11(2); 1-5. Disponible en: [https://www.texilajournal.com/thumbs/article/Public_Health_Vol11_Issue2_Article_14 .pdf](https://www.texilajournal.com/thumbs/article/Public_Health_Vol11_Issue2_Article_14.pdf)).
17. Macchi RL. *Materiales dentales.* 4th ed. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2007.
18. Matienzo M. *Propiedades Térmicas de los Materiales.* , Universidad Nacional del Santa; 2014 [citado 25 de marzo de 2026]. Informe Técnico. Disponible en: https://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivos/curzoz/propiedades_t%E9rmicas_d_e_los_materiales.pdf.
19. Lu J, Tupper C, Gutierrez A, Murray J. *National Library of Medicine.* , StatPearls Publishing. c2022 [citado 30 de marzo de 2026]. Disonible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431100/>; 12 septiembre.

20. Banchieri D, Cabrera M, Mega J, García A, Lasalvia A, Molinari A, et al. *Materiales Dentales Módulo I*. 2nd ed.; 2020, 70p.
21. Martínez Pérez F. Corrosión. Tipos. Prevención. *Rev. Cien. Téc. Agrope.* [Internet]. 2023 [citado 25 de marzo de 2026]; 32(2); 1-9. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v32n2/es_2071-0054-rcta-32-02-e210.pdf.
22. Sydor M, Pinkowski G, Jasińska A. The Brinell method for determining hardness of wood flooring materials. *Forests* [Internet]. 2020 [citado 15 de marzo de 2026]; 11(8); 878. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/8/878>.
23. Zwick Roell. Método de ensayo según Rockwell (determinación de la dureza Rockwell HR). [Online]; Zwick Roell; c2026. [citado 26 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/metales/normas-para-metales/ensayo-de-dureza-rockwell-iso-6508/>.
24. Sundararajan G, Roy M. *Enciclopedia de Materiales: Ciencia y Tecnología* [Internet]. 2nd ed.; 2001, [citado 20 de marzo de 2026]. 3728-3736. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/referencework/abs/pii/B0080431526006653>.
25. Azhagiri M, Selvam SP, Ramadoss R, Sundar S. Restoring Enamel Strength: A Knoop Hardness Number Evaluation of Remineralizing Toothpastes. *Cureus* [Internet]. 2024 [citado 20 de marzo de 2026]; 16(9); 1-8. Disponible en: https://assets.cureus.com/uploads/original_article/pdf/297695/20241029-1432272-e9vf8x.pdf.
26. Escalante J, Sanjines J. Implementación y estimación de la incertidumbre de un módulo de durómetros portátiles para evaluar la dureza superficial de componente mecánicos según las normas ASTM A-956 y ASTM A-1038 para el laboratorio de materiales de la EPIMMEM de la UCSM. [tesis de pregrado en Internet]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2023, [citado 16 de abril de 2026] 153p. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/6acf50a5-aa1f-4862-a6e9-12aacd2151ae>.
27. FGM Dental Group. *Veloxprint. Ressina 3D.* , FGM Dental Group, 2025 [citado 26 de marzo de 2026]. Informe Técnico. Disponible en: https://fgmdentalgroup.com/wp-content/uploads/2025/02/92164_Perfil_Tecnico_Voxelprint_ES_Final-v2.pdf.
28. ASTM E92. *Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of. En.*; 2017.

29. Buehler, an ITW Company. Buehler® SumMet™: A Guide to Materials Preparation and Analysis. 4th ed. Lake Bluff, Illinois, Estados Unidos: Buehler, an ITW Company; 2018. 111p.
30. Wang M, Wang C. Propiedades en masa de biomateriales y técnicas de prueba. En.: Encyclopedia of Biomedical Engineering; 2019, [citado 26 de enero de 2026]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/referencework/pii/B9780128012383998611>.
31. Sotomayor X. Microdureza Superficial de Tres Resinas Dentales, Resina Bulk Fill, Resina Microhíbrida y Resina Nanohíbrida, Arequipa, 2017. [tesis de pregrado en Internet]. Arequipa: Universidad Católica de Santa María. 2018. [citado 26 de marzo de 2026]. 101. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b3e90584-116c-44e7-8d7c-138707d9bf9c/content>.
32. Heredia K. Efecto del Grosor de la Capa de Impresión en la Resistencia a la Flexión y la Microdureza de una Resina Dental 3D. [tesis de pregrado en Internet]. Lima: Universidad Nacional Federico Villareal. 2024. [citado 13 de marzo de 2026]. 67p. Disponible en: <https://repositorio.unfv.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c92d29eb-6a28-435f-80e7-b74de3435841/content>.
33. Damian A, Ordoñez M, Rivera K. Revisión de Materiales para Impresión 3D. [tesis de pregrado en Internet]. Lima: Universidad Cayetano Heredia. 2023. [citado 19 de marzo de 2026]. Disponible en: <https://repositorio.upch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/2a0172be-1f6f-4993-832b-4ea0aa686d8f/content>.
34. Tôrres Neto AJ. Resistência ao desgaste de uma resina de longa duração para impressão 3D: efeitos do tratamento de superfície e do antagonista. [tesis de maestría en Internet]. São José dos Campos: Universidade Estadual Paulista. 2025. [citado 23 de marzo de 2026]. 27p. Disponible en: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/0d0c5e13-241e-4d30-be0a-ff669da8c395>.
35. Contreras C. Evaluación de protocolos post impresión en las propiedades mecánicas de restauraciones definitivas impresas en 3D. [tesis de doctorado en Internet]. México:

Universidad Autónoma San Luis de Potosí. 2025. [citado 24 de abril de 2026].
Disponble en: <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/9580>.





ANEXOS

Anexo 1 Ficha de observación


N° INFORME DE ENSAYO		IEO-085-2026		Página 2 de 3	
RESULTADOS GENERADOS					
GRUPO A		Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D Procesada Sin Gel Hidrosoluble			
Espécimen	Carga de ensayo g (N)	HV kg/mm ²	HV kg/mm ²	HV kg/mm ²	Promedio HV kg/mm ²
1	50 (0,49033)				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
GRUPO B		Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D Procesada Con Gel Hidrosoluble			
Espécimen	Carga de ensayo g (N)	HV kg/mm ²	HV kg/mm ²	HV kg/mm ²	Promedio HV kg/mm ²
1	50 (0,49033)				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Anexo 2 Matriz de datos



LABORATORIO ESPECIALIZADO EN ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONES


Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO		IEO-085-2026	Revisión N° 01	Fecha de emisión:	23-03-2026
ENSAYO DE MICRODUREZA VICKERS EN RESINAS ODONTOLÓGICAS					
1. DATOS DEL SOLICITANTE					
Nombre de tesis	"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA MICRODUREZA DE LA RESINA FGM VOXELPRINT CERAMIC RESINA 3D PROCESADA CON Y SIN GEL HIDROSOLUBLE, AREQUIPA 2025"				
Nombres y Apellidos	Yandery Milagros Pérez Rodriguez				
D.N.I.	72117647				
Dirección	Calle Amazonas S/N Asoc. Cielo Azul Mz B Lt 1 - Cayma				
2. EQUIPOS UTILIZADOS					
Instrumento	Marca	Aproximación	Calibración	Los resultados del informe se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y son válidos únicamente para las muestras ensayadas.	
Microdurómetro Vickers Electrónico Vernier Digital	LG - HV-1000 Mitutoyo - 200 mm	1 µm - 40X 0.01mm	CC-055-2025 LCL-006-2025		
3. IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA					
Muestras de resina odontológicas	Cantidad	Veinte (20) muestras			HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este documento, ni de la información proporcionada por el cliente que podría afectar la validez de los resultados reportados en el presente informe de ensayo.
	Material	cilindros de resina			
	Grupo 1	Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesada sin gel hidrosoluble (A)			
	Grupo 2	Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesada con gel hidrosoluble (B)			
<i>*Información proporcionada por el solicitante.</i>					
4. DATOS DE ENSAYO					
Fecha de Recepción de muestras	21 de Marzo del 2026				Las muestras son sometidas a ensayo en el estado en que son recepcionadas y los resultados no pueden ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del Sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Analista asignado	RET				
Condiciones de la muestra	--				
Fecha de Ensayo	23 de Marzo del 2026				
Lugar de Ensayo	HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE S.A.C. Jr. Nepentas 364 Urb. San Silvestre, San Juan de Lurigancho, Lima.				
5. CONDICIONES DE ENSAYO					
	Inicial	Final			El informe de ensayo sin firma y sello carece de validez.
Temperatura	26.6 °C	26.6 °C			
Humedad Relativa	62.0 %HR	62.0 %HR			
6. REFERENCIA DE PROCEDIMIENTO					
El ensayo se realizó bajo la siguiente Norma:					
NORMA	DESCRIPCIÓN			CAPITULO/NUMERAL	
ASTME384-17	Método de prueba estándar para la dureza de materiales por microindentación			--	




QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE HTL S.A.C.

 Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima


 +51 997 123 584 // 949 059 602

 ventas@ensayoshtl.pe // ingenieria@ensayoshtl.pe

 www.ensayoshtl.pe

INFORME DE ENSAYO	IEO-085-2026	Revisión N° 01	Fecha de emisión:	23-03-2026	
7.1 RESULTADOS DE ENSAYOS DE MICRODUREZA VICKERS					
Grupo 1: Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesada sin gel hidrosoluble (A)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	27.5	28.3	27.8	27.9
2		28.5	29.1	28.5	28.7
3		30.1	29.0	31.0	30.0
4		30.3	30.3	33.8	31.5
5		27.3	27.9	28.7	28.0
6		26.1	26.1	27.8	26.7
7		29.5	30.4	31.3	30.4
8		29.5	30.3	30.3	30.0
9		29.0	29.4	29.4	29.3
10		30.3	31.3	31.0	30.9
Grupo 2: Resina FGM Voxelprint Ceramic Resina 3D procesada con gel hidrosoluble (B)					
Espécimen	Carga de Ensayo g (N)	Punto 1 Hv (Kg/mm2)	Punto 2 Hv (Kg/mm2)	Punto 3 Hv (Kg/mm2)	Promedio Hv (Kg/mm2)
1	50 (0.49033)	29.6	31.5	29.3	30.1
2		29.2	29.8	28.1	29.0
3		29.4	29.1	27.9	28.8
4		30.6	31.5	28.6	30.2
5		30.3	30.3	29.8	30.1
6		28.3	29.6	29.6	29.2
7		31.3	31.9	30.3	31.2
8		30.4	29.8	30.1	30.1
9		28.2	29.1	31.7	29.7
10		31.5	31.5	29.8	30.9
  <small>HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE</small>		 <small>HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE</small>			
ROBERT NICK EUSEBIO TEHERAN CIP: 193364 INGENIERO MECÁNICO Jefe de Laboratorio		FIN DEL DOCUMENTO			

QUEDA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DEL PRESENTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DE HTL S.A.C.

 Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima

 +51 997 123 584 // 949 059 602

 ventas@ensayoshtl.pe // ingenieria@ensayoshtl.pe
 www.ensayoshtl.pe

Anexo 3 Certificado de calibración del durómetro de microdureza Vickers (validación del instrumento)



LABORATORIO ESPECIALIZADO EN CALIBRACIONI

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N°	CC-055-2025	VERSIÓN N° 01	Fecha de emisión:	
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE DURÓMETRO MICROVICKERS				
1. DATOS DEL SOLICITANTE				
Razón Social	: HIGH TECHNOLOGY LABORATORY CERTIFICATE SAC.			
Ruc	: 20565244877			
Dirección	: Jr. Nepentas 364 Urb San Silvestre, San Juan de Lurigancho - Lima			
2. DATOS DEL INSTRUMENTO				
DURÓMETRO DE MICROVICKER DIGITAL	Marca	:	LG	<p>Este certificado documenta la tr patrones nacionales acuerdo con el Sist de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados de refieren al moment que se realizaron las</p> <p>El usuario está en recalibrar el instrur adecuados, los c elegidos con base er del trabajo realizad uso del instrumento.</p> <p>HIGH LABORATORY S.A.C. no se resp eriticios que pued</p>
	Modelo	:	HV-1000	
	Serie	:	8975	
	Fuerza de prueba máx	:	1000g	
	Tipo	:	Digital	
	Procedencia	:	Corea	
	Ubicación	:	Área de Dureza y Calibraciones I	
3. MÉTODO DE CALIBRACIÓN				
La calibracion se realizó por medición indirecta y comparativa con patrones calibrados con trazabilidad internacional.				
4. LUGAR DE CALIBRACIÓN				
Fecha de calibración	01 de Agosto del 2024			

Anexo 4 Secuencia fotográfica

INSTRUMENTOS



Impresora 3D Elegoo Mars 5 Ultra



Curadora Anycubic Wash & Cure 3

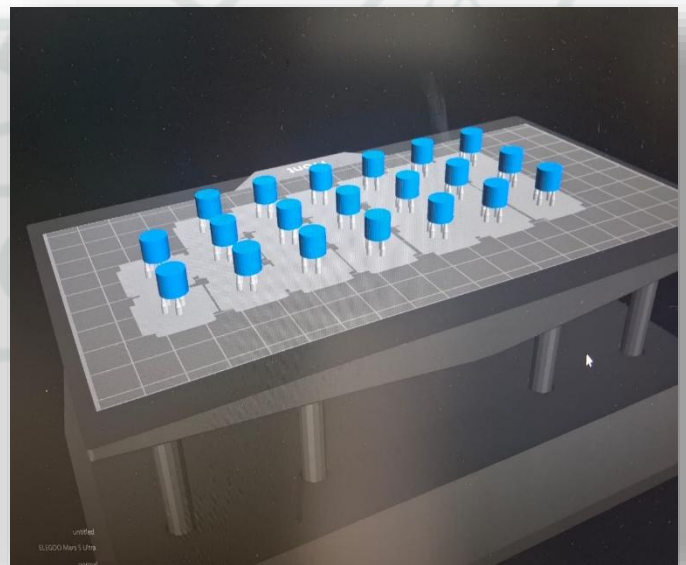
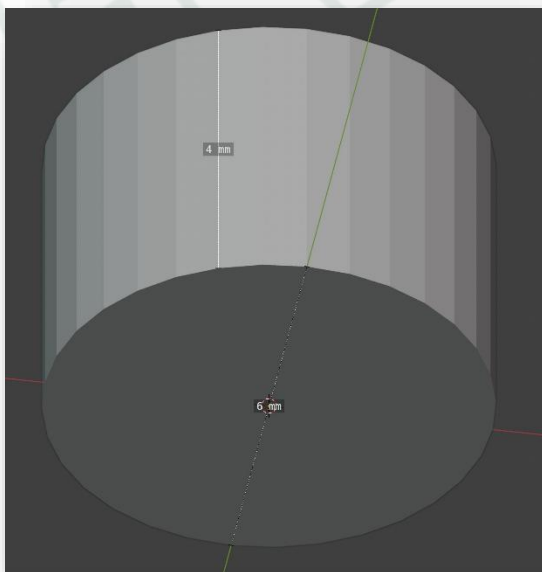
Durómetro de Microdureza Vickers Digital, marca LG, procedencia Corea



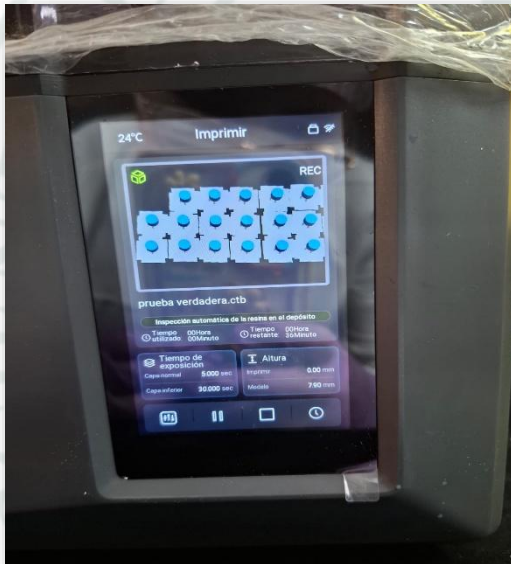
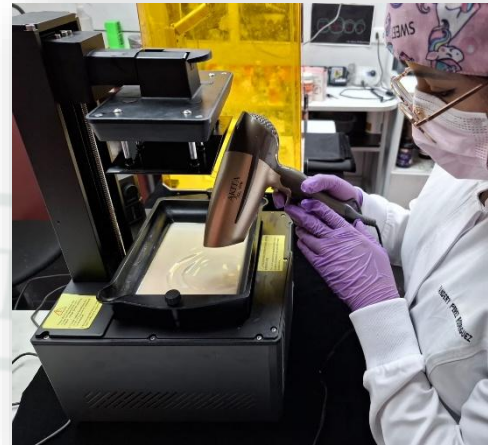
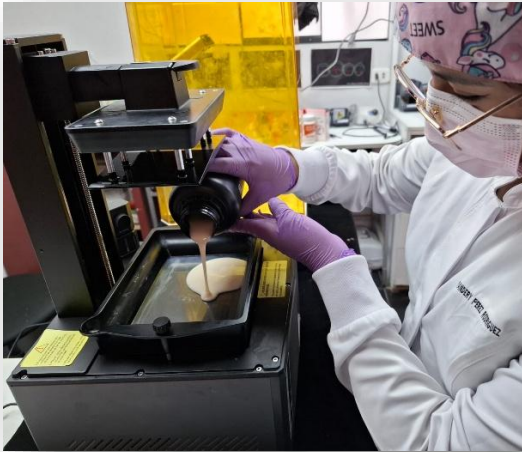
MATERIALES



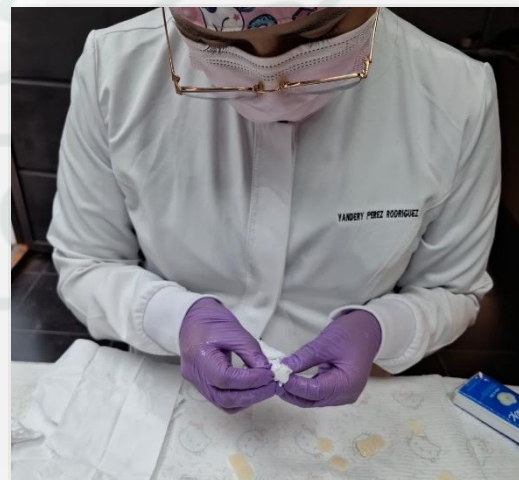
Diseño de modelo tridimensional y copia de las 20 muestras con soportes



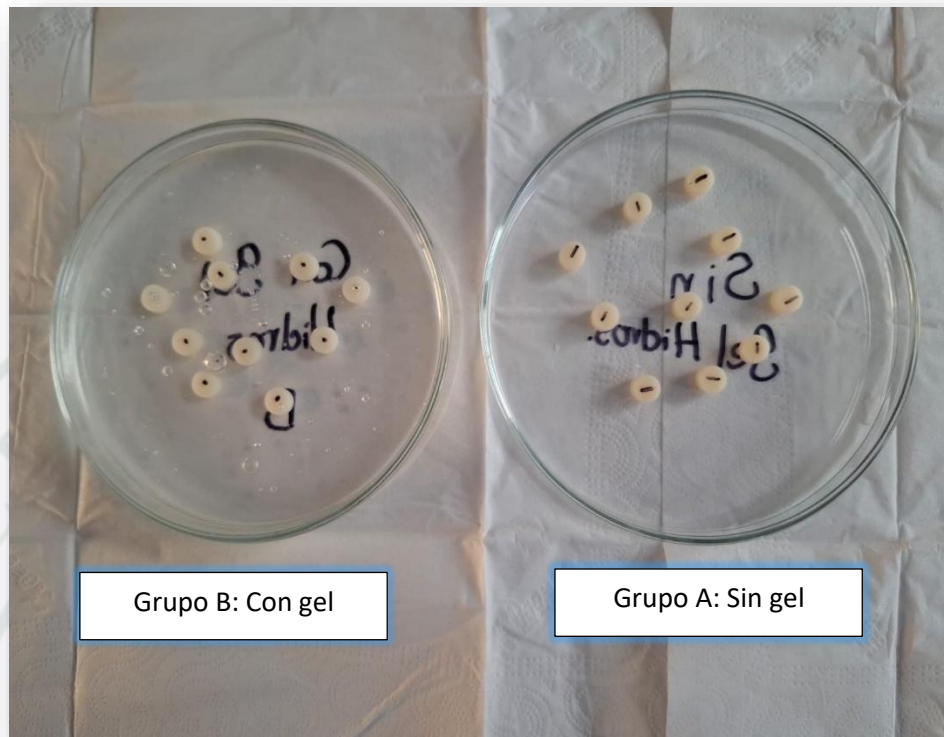
Impresión de muestras en 3D



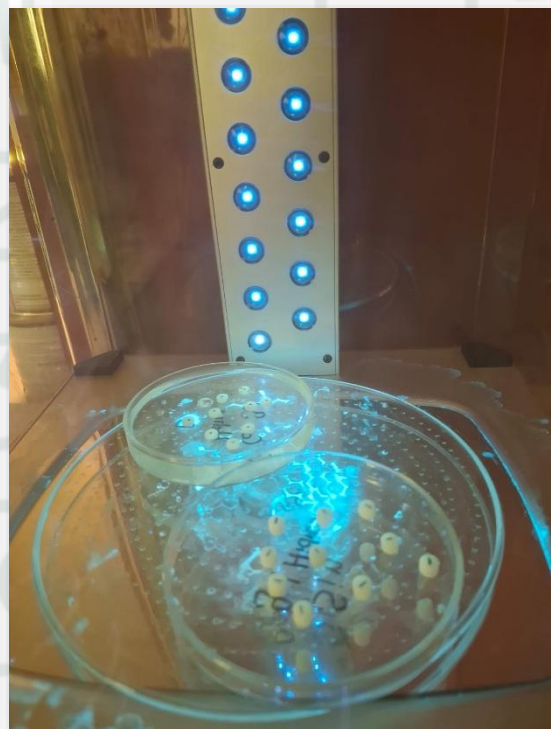
Retiro y limpieza de muestras 3D



Rotulado y separación por grupo



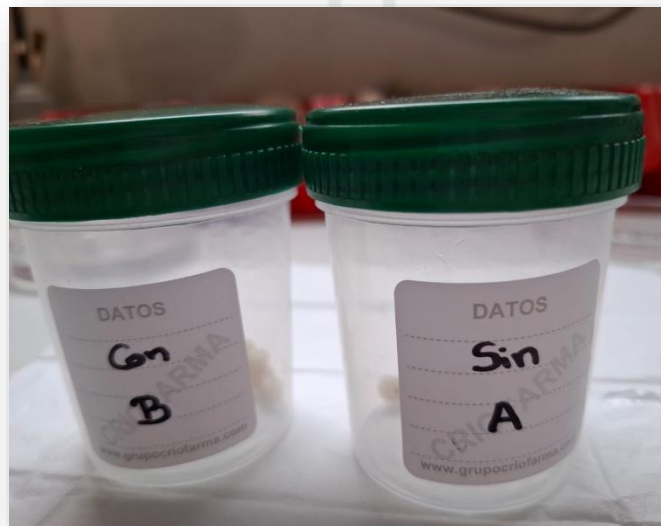
Curado de muestras 3D



Eliminación de excesos de soportes



Almacenamiento de muestras 3D



Medición de Dureza Superficial

