

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN JUAN BAUTISTA

FACULTAD DE ESTOMATOLOGIA

ESCUELA PROFESIONAL DE ESTOMATOLOGIA



CONTROL DE LA CAPA INHIBIDA DE OXIGENO PARA
EVALUAR LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN RESINA BULK-
FILL Y NANOHIBRIDAS CONVENCIONALES CON Y SIN
PULIDO. ESTUDIO *IN VITRO*

TESIS

FORMATO ARTÍCULO CIENTÍFICO

PRESENTADO POR BACHILLER

Gaviria Martinez, Andrea

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

CIRUJANO DENTISTA

LIMA – PERÚ

2022

DOCENTE ASESOR

DR. CÉSAR FÉLIX CAYO ROJAS

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por siempre guiarme, a mis padres y hermana por su apoyo incondicional y nunca dejarme vencer, a mis profesores quienes me brindaron grandes conocimientos y a mis amigos, por su compañía y apoyo hasta el día de hoy.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia y a todas las personas que me apoyan y aconsejan siempre.

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN JUAN BAUTISTA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA PROFESIONAL DE ESTOMATOLOGÍA**



**CONTROL DE LA CAPA INHIBIDA DE OXIGENO PARA EVALUAR LA
RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN RESINA BULK-FILL Y NANOHIBRIDAS
CONVENCIONALES CON Y SIN PULIDO. ESTUDIO IN VITRO**

PROYECTO DE TESIS

PRESENTADO POR:

GAVIRIA MARTINEZ, ANDREA

ASESOR:

DR. CAYO ROJAS CESAR FELIX

LIMA – PERÚ

2022

1. ÍNDICE	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
2. JUSTIFICACIÓN	1
- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	4
4. HIPÓTESIS	7
- VARIABLES	8
- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	8
5. OBJETIVO GENERAL	8
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	9
- DISEÑO METODOLÓGICO	9
- TIPO DE INVESTIGACIÓN	9
- NIVEL DE INVESTIGACIÓN	9
- POBLACIÓN Y MUESTRA	9
- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL	10

- SELECCIÓN DE LA MUESTRA	11
- CRITERIOS DE SELECCIÓN	11
• CRITERIOS DE INCLUSIÓN	11
• CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	11
- CONSIDERACIONES ÉTICAS	11
8. MEDIOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	12
9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	13
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	14
11. PRESUPUESTO	15
12. BIBLIOGRAFÍA	17
13. ANEXOS	20
ANEXO 1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	20
ANEXO 2. CONSTANCIA DE EJECUCIÓN	21
ANEXO 3. INSTRUMENTO DE MEDICION.....	22
ANEXO 4. FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	23
ANEXO 5. MATRIZ DE CONSISTENCIA	24

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi familia y a todas las personas que me apoyaron y aconsejaron siempre.

AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre guiarme, a mis padres y hermana por su apoyo incondicional y nunca dejarme vencer, a mis profesores quienes me brindaron grandes conocimientos y a mis amigos, por su compañía y apoyo hasta el día de hoy.

2. JUSTIFICACIÓN

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las resinas compuestas continúan siendo el material más utilizado en la práctica odontológica, esto debido a que la tecnología ha ido mejorando sus propiedades mecánicas y ópticas, con el fin de lograr restauraciones altamente estéticas y funcionales^{1,2,3}.

Las resinas compuestas tienen en su composición: una matriz orgánica con mezcla de monómeros como Bis-GMA (Bisfenol-A- Glicidil Metacrilato), TEGDMA (Trietilenglicol Dimetacrilato), UDMA (Dimetacrilato De Uretano), HEMA (Hidroxietilmetacrilato), Bis-EMA (Bisfenol A Polietileno Glicol Dieter Dimetacrilato), rellenos de carga como el sílice, cuarzo o vidrio cerámico y un fotoiniciador como la canforquinona, BAPO (óxido de bisacil fosfina) u otros, obteniendo así una clasificación: macrohíbrido, microhíbrido, nanohíbrido e híbridas, que varían la cantidad y el tamaño de sus partículas^{2,4,5,6}.

Sin embargo, el aumento de la carga de relleno también determinó un aumento de la rigidez y la tensión al fotopolimerizar. Por este motivo se dio paso a un nuevo sistema de resina llamado “Bulk Fill, resina de relleno a granel o monoincremental”, el cual se puede colocar en incrementos de 4mm, reduciendo así el número de pasos clínicos y el efecto de contracción, además de tener en su composición aceleradores de polimerización (ivocerina), por lo que disminuye el tiempo de curado^{2,3,7}.

Debido a que las resinas son altamente estéticas, es la primera elección del operador para restaurar las piezas dentarias, por lo tanto, continúa siendo una preocupación la vida útil de estas. Se menciona que el éxito clínico de las resinas, se debe al pulido final de la restauración, por consiguiente, es recomendable obtener una superficie lisa y brillante adecuada^{3,8}.

Está demostrado que una superficie rugosa, genera varias complicaciones a lo largo del tiempo, como retención de pigmentos lo que ocasionaría manchas, acumulación de placa la cual facilitarían la formación de caries secundaria, degradación de la restauración e inflamación gingival^{3,8,9}. Asimismo, al no

haber un buen acabado en las áreas de contacto oclusal, se generará una mayor fricción, lo que produciría desgaste de la superficie del diente antagonista y los pequeños relieves de la superficie pueden llegar a ocasionar fractura de la restauración^{3,8,9}.

Para obtener la estética deseada y garantizar las propiedades de las restauraciones de resina compuesta, debemos de cumplir con los procedimientos de acabado y pulido, también se menciona que la calidad de la superficie de la resina compuesta está influenciada por varios factores, incluido el tamaño de las partículas de relleno, la carga de relleno y el contenido de resina. Hay estudios que indican que para lograr un pulido ideal es necesario que en los materiales de resina compuesta se utilicen partículas pequeñas, por esto las resinas micro rellenas al contener pequeñas partículas logran alcanzar una mejor calidad de la superficie y un mayor brillo. A pesar de ello, estas resinas poseen propiedades mecánicas menores que las compuestas universales, como son las nanohíbridas y nanoorrelleno^{8, 11,12}.

En el mercado existen muchos sistemas de acabado y pulido. Estos han sido diseñados para poder obtener una superficie lisa en la restauración a pulir. Existen diversos instrumentos de acabado y pulido como: fresas de carburo y diamante, tiras, copas y puntas de goma y discos abrasivos de aluminio y pastas. Para poder comprobar la eficacia de los diferentes sistemas, se obtiene a través de distintas técnicas, todas estas se usan para poder evaluar la rugosidad de la superficie de los compuestos de resina, varios estudios mostraron que el disco de pulido abrasivo de aluminio produjo mejores resultados para la mayoría de los tipos de compuestos a base de resina en comparación con otros instrumentos de pulido^{13,14,15}.

Los diferentes sistemas de acabado y pulido nos ayudarán a evitar una superficie rugosa, sin embargo, no puede eliminar por completo la capa inhibida por oxígeno, la cual se forma durante la fotopolimerización del composite que, al tener contacto con el oxígeno, deja una capa de resina sin curar, esto debido a que el oxígeno inhibe la reacción de polimerización, lo que resulta en la formación de una cadena de polímero más propensa a mancharse y desgastarse. Para poder lograr una restauración de alta estética y funcionalidad es necesario bloquear al momento de fotocurar la capa inhibida

de oxígeno, estudios afirman, que esta capa disminuye la calidad de la restauración. Para poder inhibir esta capa de oxígeno, muchos odontólogos usan glicerina. Este líquido tiene la capacidad de absorber el agua del medio ambiente, es higroscópica^{1,16,17}.

Por lo expuesto el objetivo de este estudio será para evaluar la rugosidad superficial en resina bulk fill y nanohíbridas convencionales con y sin pulido, controlando la capa inhibida de oxígeno, el cual será un estudio in vitro.

- FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Problema General

¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y nanohíbridas convencionales, con y sin pulido?

Problemas específicos

- ¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con pulido?
- ¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, sin pulido?
- ¿Existen diferencias significativas de la rugosidad superficial al comparar las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido?

La presente investigación tendrá importancia teórica debido a que proporcionará información acerca del control de la capa inhibida de oxígeno para evaluar la rugosidad superficial en resina bulk-fill y nanohíbridas convencionales con y sin pulido, por lo cual podemos incrementar los conocimientos sobre diversas alternativas que puedan mejorar el control de la capa inhibida y disminuir la rugosidad superficial, generando mayor evidencia científica.

Asimismo, la investigación tendrá importancia clínica puesto que los resultados que se obtengan de este estudio sobre el control de la capa inhibida de oxígeno y la rugosidad superficial podrán ser consideradas en la práctica clínica antes de fotopolimerizar las

resinas y durante el pulido, así obtener de esta manera una restauración de calidad y duradera.

3. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En el 2021, Zhang L., Yu P., Wang X.¹⁵, Surface roughness and gloss of polished nanofilled and nanohybrid resin composites, tuvieron como objetivo evaluar el pulido de las resinas por añadidura y nanohíbridos, analizar la rugosidad de la superficie antes y después del pulido. Se prepararon 13 muestras por cada grupo: Grupo HM (Armonizar); Grupo FT3 (Filtek Z350 XT); Grupo TN (Tetric N-Ceram); Grupo FT2 (Filtek Z250). Para medir la rugosidad de la superficie se usó un perfilómetro de superficie (Surftest SJ-401, Mitutoyo, Kanagawa, Japón), se realizaron dos mediciones y se colocó el promedio de estos valores. El brillo se midió usando un medidor (Novocurve, Rhopoint Instrumentation, East Sussex, Reino Unido). Como resultado en la rugosidad de la superficie disminuyó luego del uso con el sistema de disco Sof-lex, y aumentó el brillo con el mismo sistema. En conclusión, no hubo diferencia significativa en la rugosidad de la superficie entre los diferentes compuestos de resina después del acabo y pulido.

En el 2020, Ishii R. y cols³, realizaron una investigación llamada Effects of Finishing and Polishing Methods on the Surface Roughness and Surface Free Energy of Bulk-fill Resin Composites con el objetivo de determinar cuáles son los efectos del uso de distintos métodos de acabado y pulido sobre la rugosidad de la superficie y la energía libre superficial de las resinas Bulk-fill y compararlo con las resinas convencionales. Se utilizaron para este estudio tres resinas Bulk-fill: (Tetric EvoCeram Bulk Fill [TB; Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein], Filtek Bulk Fill [FB; 3M ESPE, St Paul, MN, EE. UU.] y Filtek Bulk Fill Flowable Restorative [FF; 3M ESPE]) junto con dos compuestos de resina convencionales (Clearfil AP-X [AP Kuraray Noritake Dental, TPAG okyo, Japón] como híbrido compuesto de resina y Estelite Quick [EQ; Tokuyama Dental, Tokio, Japón] como un compuesto de resina suprananocargado). Los resultados obtenidos fueron que la mayoría de los compuestos de resina mostraron valores Ra más bajos con CBB+SSD que con los otros grupos de acabado y pulido. EQ mostró un valor significativamente más bajo que los otros composites utilizados, independientemente del acabado y pulido. AP tuvo un valor significativamente más alto que los otros composites en los grupos de acabado y pulido, a excepción de FB con FBD. La mayoría de los compuestos de resina mostraron valores de la energía libre superficial más altos con CBB que con FDB.

Además, todos los compuestos de resinas examinados mostraron tener superficies más rugosas después de usar FDB. Al final, la suavidad de la superficie después de usar los diferentes métodos de pulido, parecía depender del material, llegando a la conclusión que los métodos de acabado y pulido, junto con el tipo de resina compuesta, afectan significativamente las propiedades superficiales del compuesto.

En el 2020, Paolone G. y cols², en su estudio *Effect of Finishing Systems on Surface roughness and gloss of Full-body Bulk-Fill Resin Composites*, tuvieron como objetivo evaluar el efecto que se producía al usar diferentes sistemas de acabado y pulido sobre la rugosidad y el brillo de los materiales relleno a granel. Para este estudio que utilizaron cuatro materiales de relleno masivo. SonicFill2 (SF), Restaurador Posterior Filtek Bulk Fill (FB), Tetric EvoCeram masivo (EC) y Fill-Up! (FU). Se obtuvieron sesenta discos por material y se asignaron aleatoriamente ($n = 15$) a cuatro métodos de acabado y pulido: Sof-Lex Spiral Wheels (SW), HiLusterPLUS (HL), Astropol (AP) y Opti1Step (OS), luego, se procedió a medir el brillo y el acabado de la superficie. Los resultados obtenidos del estudio fueron que para la rugosidad los factores significativos fueron el material y el tratamiento del material, esto también tuvo un valor significativo en el brillo. Para concluir, el sistema de pulido y el tratamiento del material dieron resultados aceptables clínicamente con respecto a la rugosidad, pero no hubo un resultado satisfactorio para el brillo. Al usar un sistema de acabado y pulido de varios pasos en materiales de relleno a granel, se logró obtener superficies más lisas en comparación con los materiales simplificados.

En el 2018, Sánchez J. y cols¹⁸, realizaron un estudio titulado *Técnicas diferentes para eliminar la capa de resina inhibida por oxígeno, en un composite nanohíbrido sometido a desgaste abrasivo*. El objetivo de este estudio fue comprar entre tres diferentes técnicas la eficacia de estas para poder eliminar la capa de inhibida de oxígeno. Se realizaron 48 muestras de resina nanohíbrida para este estudio, Brilliant (Coltene) color A2 esmalte; divididas en 4 grupos de 12 especímenes cada uno. Hubieron 4 grupos, con el primer grupo no se realizó ninguna técnica para eliminar la capa inhibida de oxígeno, con el segundo se usó una matriz celuloide aplicando presión en la superficie y luego se procedió a fotocurar, con el tercer grupo se utilizó un método de acabado y pulido luego de la fotocuración, y con el último grupo se usó glicerina en la superficie de la resina y posteriormente se procedió a fotocurar, dando como resultado diferencias entre cada grupo, en el grupo que se evidenció más pérdidas fue el grupo que se pulió, así como

también en el que se aplicó glicerina, se concluyó que el empleo de matriz de celulosa durante el proceso de eliminación de capa inhibida permitió obtener la mejor estabilidad en cuanto a las mediciones de peso.

En el 2020, Gonçalves M y cols¹, en su estudio *Oxygen Inhibition of Surface Composites and Its Correlation with Degree of Conversion and Color Stability* tuvieron como objetivo investigar los efectos de la inhibición del oxígeno y los procedimientos de acabado y pulido sobre las propiedades de la resina compuesta. Se evaluaron una resina Bulk-Fill Y dos resinas compuestas convencionales nanohíbridas y microhíbridas. Las muestras se prepararon de cuatro maneras distintas: control, sin tratamiento, tratamiento superficial con glicerina, acabado y pulido, glicerina+ acabado+ pulido. Como resultados se obtuvo que el uso de glicerina aumentó significativamente los valores de DC para todas las resinas compuestas. En conclusión, la importancia clínica de este estudio es que el grado de conversión de la superficie de las resinas compuestas puede mejorarse mediante el uso de glicerina para reducir la presencia de oxígeno y la tinción de la superficie puede reducirse si este procedimiento previo se asocia con procedimientos inmediatos de acabado y pulido.

En el 2019, St-Pierre L y cols¹¹, en su investigación *Influence of Polishing Systems on Surface Roughness of Composite Resins: Polishability of Composite Resins*, el objetivo de este estudio in vitro fue comparar con un valor umbral de 200 nm, la rugosidad superficial obtenida al utilizar 12 sistemas de pulido diferentes en cuatro resinas distintas (microrelleno, nanorelleno y dos nanohíbridas). Hubo 384 muestras en total, se realizó un microarenado y luego se pulió con un disco de grano medi, y se midió la rugosidad de la superficie con un ensayador. Los sistemas utilizados fueron: Astropol, HiLuster Plus, D α Fine, Diacomp, ET Illustra, Sof-Lex Wheels, discos Sof-Lex XT, Super-Snap, Enhance / Pogo, Optrapol, OneGloss y ComposiPro Brush. En los resultados hubo diferencias estadísticas en la rugosidad final entre sistemas de pulido y entre resinas compuestas. La mayor rugosidad de la superficie se observó en todas las resinas compuestas pulidas con OneGloss y ComposiPro Brush. Las ruedas Enhance / Pogo y Sof-Lex produjeron una rugosidad superficial media superior al umbral de 200 nm en Filtek Supreme Ultra, Grandio SO y Venus Pearl. Los datos mostraron que hubo una interacción entre las resinas compuestas y los sistemas de pulido. Como conclusión, los sistemas de pulido de varios pasos dan mejores resultados que los de un solo paso, además, un solo sistema no funciona igual con todas las resinas compuestas, va variando.

En el 2021, Ramírez G. y cols⁹, realizaron una investigación titulada Effect of Polishing on the Surface Microhardness of Nanohybrid Composite Resins Subjected to 35% Hydrogen Peroxide: An In vitro Study. Este estudio tuvo como objetivo evaluar qué efecto producía el Pulido sobre la microdureza superficial de resinas compuestas nanohíbridas que previamente fueron sometidas a un aclarmiento con peróxido de hidrógeno al 35%. Fue un estudio transversal, in vitro. Se utilizaron 30 muestras de resina compuesta y fueron divididas en dos grupos, ambos grupos previamente fueron sometidos al uso del peróxido de hidrogeno. Luego, el primer grupo fue sometido a pulido y el grupo B, fue de control. Como resultado se dio que la microdureza superficial del grupo sometido a pulido (A) obtuvo una media de $78,07 \pm 7,96$ HV, mientras que para el grupo que no se sometió a pulido (B) la media fue $65,67 \pm 5,22$ HV. La diferencia entre los grupos (A y B) fue estadísticamente significativa. Como conclusión obtuvieron que las resinas que fueron aplicadas previamente con el gel de peróxido de hidrogeno al 35% tuvieron como resultado el aumento de su microdureza superficial cuando fueron pulidas a diferencia de las resinas sin pulir.

4. HIPÓTESIS

Hipótesis General

La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y nanohíbridas convencionales, con y sin pulido.

Hipótesis Específicas

- La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con pulido.
- La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, sin pulido.
- Existen diferencias significativas de la rugosidad superficial al comparar las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido.

- VARIABLES

Variable Independiente: Resina Compacta, sistema de pulido, aplicación de glicerina.

Variable Dependiente: Rugosidad Superficial.

- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES (ANEXO 1)

Definición Conceptual

Resina compuesta: Son los materiales más populares en la odontología restauradora; su composición y propiedades han sido mejoradas sustancialmente, adquiriendo mayor longevidad¹⁹.

Rugosidad Superficial: La rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie, lo cual permite definir la microgeometría de las superficies para hacerlas válidas para la función que hayan sido realizadas²⁰.

Sistema de Pulido: Consisten en discos de silicona, fresas de carburo de tungsteno, bandas abrasivas, discos abrasivos y pastas para pulir, todos estos sistemas son usados con el fin de obtener una superficie dental restaurada con alta estética, propiedades biológicas y funcionales óptimas en el paciente²¹.

Capa inhibida de oxígeno: Las resinas fotocuradas con luz dejan una capa superficial suave y pegajosa después de la polimerización. Esta capa por su origen se denomina comúnmente capa inhibida de oxígeno, y siempre se produce cuando se polimeriza al aire un composite a base de resina o un adhesivo dental²².

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con y sin pulido, después de controlar la capa inhibida de oxígeno.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de la capa inhibida de oxígeno sobre la rugosidad superficial de resinas con pulido, tipo bulk fill y nanohíbridas convencionales.
- Evaluar el efecto de la capa inhibida de oxígeno sobre la rugosidad superficial de resinas sin pulido, tipo bulk fill y nanohíbridas convencionales.
- Comparar la rugosidad superficial de las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido.

7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

-DISEÑO METODOLOGICO

-TIPO DE INVESTIGACION

-Por el número de variables: Analítico: Porque se realizará un análisis bivariado con dos factores.²³

-Por el número de mediciones: Longitudinal: Porque la recolección de datos se realizará en dos momentos diferentes sobre la misma muestra.²³

-Según la fuente de recolección de datos: Prospectivo: Porque el investigador obtendrá los resultados producto de la investigación.

-Por la intervención: Experimental In vitro, debido a que el investigador manipulará la variable independiente.²³

- NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Explicativo: Porque se evaluará la relación de causa y efecto.²³

- POBLACIÓN Y MUESTRA

Las unidades de análisis serán 120 bloques de resina elaboradas con resinas Bulk Fill, A1: Tetric ® N-Ceram Bulk-fill IVA, Ivoclar Vicadent (TNF-BF), A2: Opus Bulk Fill APS A2, FGM (O-BF), A3: Filtek™ Bulk Fill A2, 3M (F-BF) y nanohíbrida convencional, B1: Tetric® N-Ceram A2, Ivoclar Vicadent (TNC-NC), B2: Opallis EA2,

FGM (O-NC), B3: Filtek™ Z250 XT A2, 3M (FXT-NC) de 6 x 6 mm elaboradas especialmente para el presente proyecto⁹.

- DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MUESTRAL

El tamaño de la muestra por cada grupo se obtendrá a partir de un estudio piloto, utilizando una fórmula de comparación de medias. La distribución de los grupos se realizará de forma aleatoria simple sin reposición (**Figura 1**).

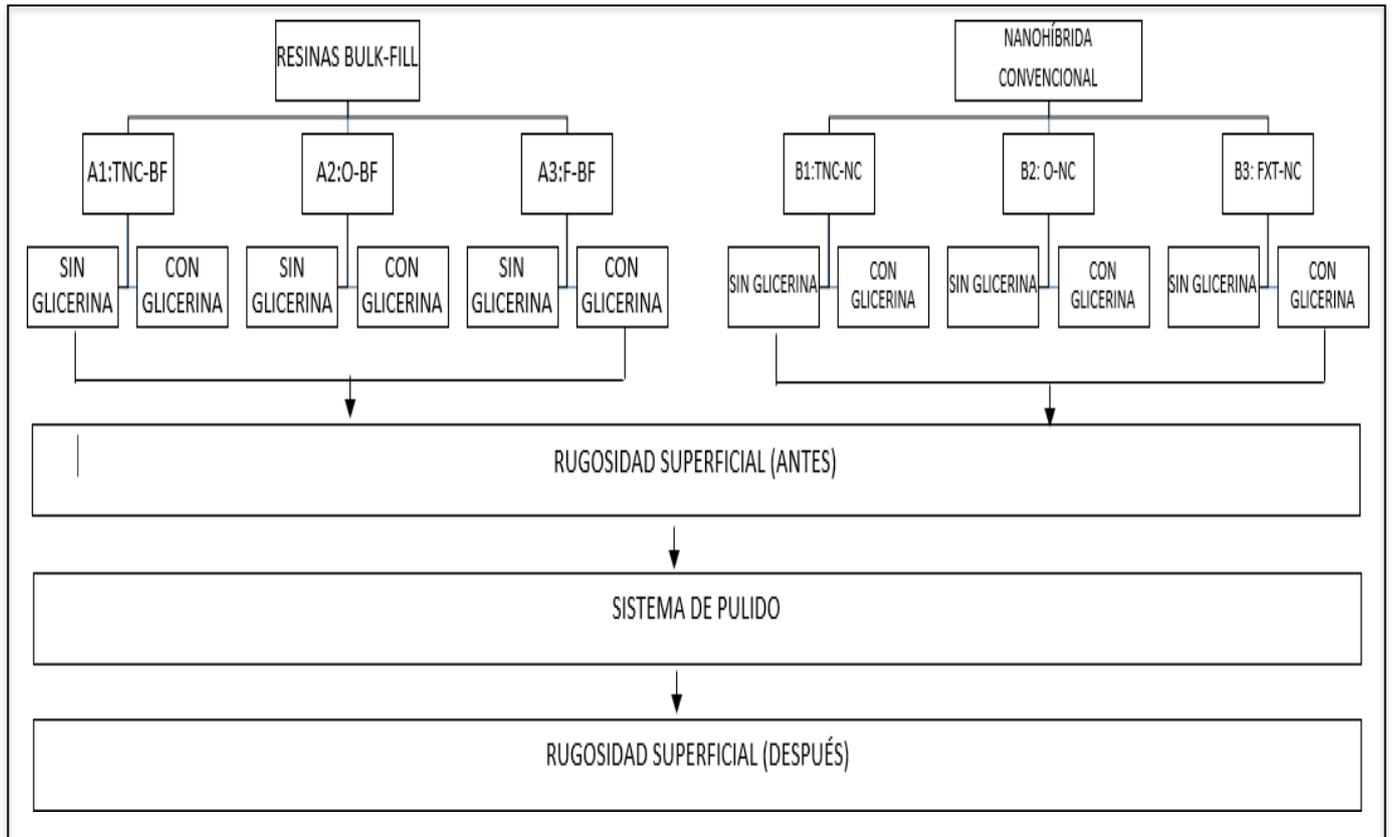


Figura 1. Distribución de los grupos de forma aleatoria según el tipo de resina, el uso de glicerina y el tipo de pulido.

Cálculo de Tamaño de Muestra:

$$n = \frac{(Z_{1-\alpha/2} + Z_{1-\beta})^2 * (S_1^2 + S_2^2)}{(X_1 - X_2)^2}$$

Alfa (Máximo error tipo I)	$\alpha =$	0.050
1 - $\alpha/2$ = Nivel de Confianza a dos colas	$1 - \alpha/2 =$	0.975
Z_{1-$\alpha/2$} = Valor tipificado	$Z_{1-\alpha/2} =$	1.960
Beta (Máximo error tipo II)	$\beta =$	0.200
1 - β = Poder estadístico	$1 - \beta =$	0.800
Z_{1-β} = Valor tipificado	$Z_{1-\beta} =$	0.842
Varianza del grupo 1	$S_1^2 =$	-----
Varianza del grupo 2	$S_2^2 =$	-----
Diferencia propuesta	$d =$	-----
Tamaño de cada grupo	$n =$	-----

- SELECCIÓN DE LA MUESTRA

-CRITERIOS DE SELECCIÓN

- Criterios de inclusión

- Bloques elaborados con resinas de las casas comerciales 3M (Filtek™ Bulk Fill A2, Filtek™ Z250 XT A2), Ivoclar Vicadent (Tetric® N- Ceram Bulk-fill IVA, Tetric® N-Ceram A2) y FGM (Opus Bulk Fill APS A2, Opallis EA2).
- Bloques elaborados de resina con una dimensión de 6x6mm.
- Bloques elaborados con resina dentro de fecha de caducidad
- Bloques elaborados con resina de la misma tonalidad A2.

- Criterios de exclusión

- Bloques de resinas con presencia de grietas o burbujas en la superficie después del proceso de fotopolimerizado.

- CONSIDERACIONES ÉTICAS

Se procederá a enviar el presente proyecto al Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Privada San Juan Bautista para su revisión y aprobación. La ejecución de este estudio no presentará ningún riesgo para la vida humana, debido a que es un experimento in vitro, aplicado en materiales dentales. La parte experimental se ejecutará en un establecimiento prestador de servicios odontológicos Dent A Medic, para lo cual se solicitará a través de un documento por medio de la Dirección de Escuela hacia el cirujano dentista responsable, por lo cual la clínica emitirá al investigador principal una constancia de ejecución (Anexo 2).

Posteriormente, se realizarán las pruebas de rugosidad en el laboratorio High Technology Laboratory Certificate (HTL).

8. MEDIOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizará un molde estandarizado de 6 mm de altura x 6 mm de diámetro, según la Norma Técnica ISO 4949-20199,¹⁰.

Para los grupos, sin aplicación de glicerina y antes de pulir (A1, A2, A3, B1,B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior queden paralelas. Las muestras de resina se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² -1200 mW/cm² por 20 segundos.

Para los grupos, con aplicación de glicerina y antes de pulir (A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Antes de fotopolimerizar se aplicará una capa de glicerina en la superficie de la muestra, posteriormente se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² -1200 mW/cm² por 20 segundos.

Para los grupos, sin glicerina y pulido (A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Las capas de resina se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² -1200 mW/cm² por 20 segundos. Posteriormente se pulirán las superficies de las muestras con un sistema de disco (Sof-Lex, 3M ESPE, St Paul, SM, EE. UU.) De grano grueso a fino.

Para los grupos, con aplicación de glicerina y pulido (A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Antes de fotopolimerizar se aplicará una capa de glicerina en la superficie de la muestra, posteriormente se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara

de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² -1200 mW/cm² por 20 segundos. Posteriormente se pulirán las superficies de las muestras con un sistema de disco (Sof-Lex, 3M ESPE, St Paul, SM, EE. UU.) de grano grueso a fino.

Una vez obtenidos los 120 bloques de resina, se realizará la medición de la rugosidad superficial antes de llevarse a cabo el procedimiento de pulido. Luego de ello, la muestra será almacenada en una estufa a 37°C por 24 horas. Al día siguiente, se realizará el pulido a todas las superficies de los bloques de resina, de acuerdo al tipo de tratamiento asignado a cada grupo. Posteriormente se volverá a medir la rugosidad superficial, luego de realizarse el pulido. En cada probeta de resina se realizarán las mediciones con el rugosímetro de aproximación de 0,001 micras (Huatec SRT-6200® China) en el laboratorio High Technology Laboratory Certificate (HTL). El valor de la rugosidad superficial en cada bloque de resina se determinará con el promedio en micras de las mediciones en cuatro zonas diferentes de la superficie. (Anexo 3).

La investigadora tendrá acceso al informe realizado por el laboratorio y la información será recogida en una ficha de recolección de datos (Anexo 4), para luego crear una base de datos en Microsoft Excel 2019, donde se registrará la información obtenida.

9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Posteriormente los datos serán importados por el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences Inc. IBM, NY, USA) versión 24.0. Para el análisis descriptivo se empleará medidas de tendencia central y dispersión, como la media y la desviación estándar. Para el análisis inferencial, se evaluará si los datos presentan distribución normal y homocedasticidad. De acuerdo a estos resultados, se decidirá una prueba paramétrica o no paramétrica. En todas las comparaciones se considerará un $p < 0.05$, para las diferencias significativas.

10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	2021-2022																							
	SET				OCT				NOV				DIC				ENE				FEB			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
SELECCIÓN DEL TEMA			X	X																				
RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN				X	X	X	X	X																
ELABORACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS						X	X	X	X															
PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS								X	X															
CORRECCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS									X	X														
APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TESIS										X	X													
EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS												X	X	X	X	X	X	X	X	X				
RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS																X	X	X	X					
ELABORACIÓN DE INFORME FINAL																		X						
CORRECCIÓN DE INFORME FINAL																			X	X				
PRESENTACIÓN Y EXPOSICIÓN DE LA TESIS																				X				
PUBLICACIÓN DE LA TESIS																				X	X			

11. PRESUPUESTO

Recursos Materiales

MATERIALES	MARCA Y PRESENTACION	CANT.	PREC/UNT	TOTAL
Hojas Bond		50	S/.0.10	S/.5.00
Lapicero		1	S/.1.00	S/.1.00
resaltador		1	S/.2.00	S/.2.00
Discos soflex	3M	1	S/.190.00	S/.190.00
Resina Bulk –fill	3M	2	S/.140.00	S/.280.00
Resina Bulk –fill	Ivoclar Vivadent	2	S/.119.70	S/.239.40
Resina Bulk –fill	FGM	2	S/.96.00	S/.192.00
Resina Nanohibrida	3M	2	S/.88.00	S/.176.00
Resina Nanohibrida	Ivoclar Vivadent	2	S/.95.00	S/.190.00
Resina Nanohibrida	FGM	2	S/.55.00	S/.110.00
			TOTAL	S/.1385.40

Equipos

MATERIALES		TOTAL
Laptop	Autofinanciado	S/.0
USB	Autofinanciado	S/.0
	TOTAL	S/.0

Servicio

SERVICIOS	2021	TOTAL
Laboratorio		S/.200
Imprevisto		S/.20
	TOTAL	S/.220

Presupuesto

CRITERIO	TOTAL
Materiales	S/.663.00
Equipos	S/.00.00
servicios	S/.220.00
TOTAL	S/.883.00

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Borges MG, Silva GR, Neves FT, Soares CJ, Faria-E-Silva AL, Carvalho RF, Menezes MS. Oxygen Inhibition of Surface Composites and Its Correlation with Degree of Conversion and Color Stability. *Braz Dent J.* 2021 Jan-Feb;32(1):91-97. doi: 10.1590/0103-6440202103641. PMID: 33914009.
2. Paolone G, Moratti E, Goracci C, Gherlone E, Vichi A. Effect of Finishing Systems on Surface Roughness and Gloss of Full-Body Bulk-Fill Resin Composites. *Materials (Basel).* 2020 Dec 11;13(24):5657. doi: 10.3390/ma13245657. PMID: 33322405; PMCID: PMC7763061.
3. Ishii R, Takamizawa T, Tsujimoto A, Suzuki S, Imai A, Barkmeier WW, Latta MA, Miyazaki M. Effects of Finishing and Polishing Methods on the Surface Roughness and Surface Free Energy of Bulk-fill Resin Composites. *Oper Dent.* 2020 Mar/Apr;45(2):E91-E104. doi: 10.2341/18-246-L. Epub 2019 Nov 18. PMID: 31738697.
4. Tomaselli LO, Oliveira DCRS, Favarão J, Silva AFD, Pires-de-Souza FCP, Geraldeli S, Sinhoreti MAC. Influence of Pre-Heating Regular Resin Composites and Flowable Composites on Luting Ceramic Veneers with Different Thicknesses. *Braz Dent J.* 2019 Oct 7;30(5):459-466. doi: 10.1590/0103-6440201902513. PMID: 31596330
5. Pratap B, Gupta RK, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Jpn Dent Sci Rev.* 2019 Nov;55(1):126-138. doi: 10.1016/j.jdsr.2019.09.004. Epub 2019 Oct 21. PMID: 31687052; PMCID: PMC6819877.
6. Kusuma Yulianto HD, Rinastiti M, Cune MS, de Haan-Visser W, Atema-Smit J, Busscher HJ, van der Mei HC. Biofilm composition and composite degradation during intra-oral wear. *Dent Mater.* 2019 May;35(5):740-750. doi: 10.1016/j.dental.2019.02.024. Epub 2019 Mar 2. PMID: 30833012
7. Rodríguez A, Christiani J, Alvarez N, Zamudio M. Revisión de resinas Bulk Fill: estado actual. *Revista del Ateneo Argentino de Odontología.* Buenos Aires: Ateneo argentino de odontología. 2018, 58 (1): 55-60. ISSN 0326-3827.
8. Soliman HAN, Elkholany NR, Hamama HH, El-Sharkawy FM, Mahmoud SH, Comisi JC. Effect of Different Polishing Systems on the Surface Roughness and Gloss of Novel Nanohybrid Resin Composites. *Eur J Dent.* 2021 May;15(2):259-

265. doi: 10.1055/s-0040-1718477. Epub 2020 Oct 27. PMID: 33111284; PMCID: PMC8184273.
9. Ramírez GG, Medina JE, Aliaga AS, Ladera MI, Cervantes LA, Cayo CF. Effect of Polishing on the Surface Microhardness of Nanohybrid Composite Resins Subjected to 35% Hydrogen Peroxide: An In vitro Study. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2021;11(2):216-221. Published 2021 Apr 15. doi:10.4103/jispcd.JISPCD_9_21
 10. ISO 4049: 2019-Odontología: materiales de restauración a base de polímeros [acceso el 13 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard>
 - 11./ 67596.html.
 12. St-Pierre L, Martel C, Crépeau H, Vargas MA. Influence of Polishing Systems on Surface Roughness of Composite Resins: Polishability of Composite Resins. *Oper Dent.* 2019 May/Jun;44(3):E122-E132. doi: 10.2341/17-140-L. PMID: 31046648.
 13. Rodrigues-Junior SA, Chemin P, Piaia PP, & Ferracane JL. Surface roughness and gloss of actual composites as polished with different polishing systems *Operative Dentistry.* 2015, 40(4) 418-429.
 14. Bansal K, Gupta S, Nikhil V, Jaiswal S, Jain A, Aggarwal N. Effect of Different Finishing and Polishing Systems on the Surface Roughness of Resin Composite and Enamel: An In vitro Profilometric and Scanning Electron Microscopy Study. *Int J Appl Basic Med Res.* 2019;9(3):154-158. doi:10.4103/ijabmr.IJABMR_11_19
 15. Ozgünaltay G, Yazici AR, Görücü J. Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of new tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil.* 2003 Feb;30(2):218-24. doi: 10.1046/j.1365-2842.2003.01022.x. PMID: 12535151.
 16. L. Zhang, P. Yu and X.-Y. Wang, Surface roughness and gloss of polished nanofilled and nanohybrid resin composites, *Journal of Dental Sciences*, <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.03.003>
 17. Meita U. Tangkudung & Aries C. Glycerin for resin composite restoration. *Makassar Dent J.* 2019; 8(3): 169-173.
 18. Panchal AC, Asthana G. Oxygen inhibition layer: A dilemma to be solved. *J Conserv Dent.* 2020;23(3):254-258. doi:10.4103/JCD.JCD_325_19
 19. Sánchez J, Rodríguez K, Armas A, García I, Oñate H. Técnicas diferentes para

- eliminar la capa de resina inhibida por oxígeno, en un composite nanohíbrido sometido a desgaste abrasivo. *Dom. Cien.* 2018; 4(2): 20-33.
20. Calatrava L. Resinas compuestas bioactivas con funciones terapéuticas. *Rodyb.* 2020; 9(3): 7-16.
21. Bedón M. Rugosidad superficial de resinas con nanopartículas sometida a tres sistemas de pulido [Internet] 2017. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/6719/Bedon_rm.pdf?sequence=2&isAllowed=y
22. Jaramillo-Cartagena R, López-Galeano EJ, Latorre-Correa F, Agudelo-Suárez AA. Effect of Polishing Systems on the Surface Roughness of Nano-Hybrid and Nano-Filling Composite Resins: A Systematic Review. *Dent J (Basel)*. 2021 Aug 12;9(8):95. doi: 10.3390/dj9080095. PMID: 34436007; PMCID: PMC8391685.
23. Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Latta MA, Miyazaki M. Influence of the Oxygen-inhibited Layer on Bonding Performance of Dental Adhesive Systems: Surface Free Energy Perspectives. *J Adhes Dent*. 2016;18(1):51-8. doi: 10.3290/j.jad.a35515. PMID: 26814315.
24. Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México D.F.: McGraw-Hill

13. ANEXOS

ANEXO 1. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable	Definición operacional	Indicadores	Tipo	Escala de medición	Valores
Resina compacta	son los materiales más populares en la odontología restauradora; su composición y propiedades han sido mejoradas sustancialmente, adquiriendo mayor longevidad ¹⁸ .	Tipo de resina	Cualitativo	Nominal / Dicotómica	- Resina Bulk fill - Resina Nanohíbrida
Rugosidad superficial	La rugosidad es el conjunto de irregularidades que posee una superficie, lo cual permite definir la microgeometría de las superficies para hacerlas válidas para la función que hayan sido realizadas ¹⁹ .	Rugosímetro	Cuantitativo	Razón / continua	-Micras (µm)
Sistema de pulido	Aplicación del sistema de pulido de 4 pasos Sof-lex	Aplicación de pulido	Cualitativo	Nominal / Dicotómica	- Pulido - Sin pulido
Aplicación de glicerina	Aplicación de una capa de glicerina sobre la superficie de la resina antes de la fotopolimerización final	Uso de la glicerina	Cualitativo	Nominal / Dicotómica	- Con glicerina - sin glicerina

ANEXO 2. CONSTANCIA DE EJECUCION



CONSTANCIA DE EJECUCIÓN

Por medio de la presente se hace constar que la Bachiller en estomatología, Srta. Andrea Gaviria Martínez, alumna de la Facultad de estomatología de la UPSJB, realizó la parte experimental de su proyecto de tesis: CONTROL DE LA CAPA INHIBIDA DE OXIGENO PARA EVALUAR LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN RESINA BULK-FILL Y NANOHIBRIDAS CONVENCIONALES CON Y SIN PULIDO. ESTUDIO *IN VITRO*.

Se expide el presente documento para los fines que sean convenientes.

Atentamente.

Lima de del 2021

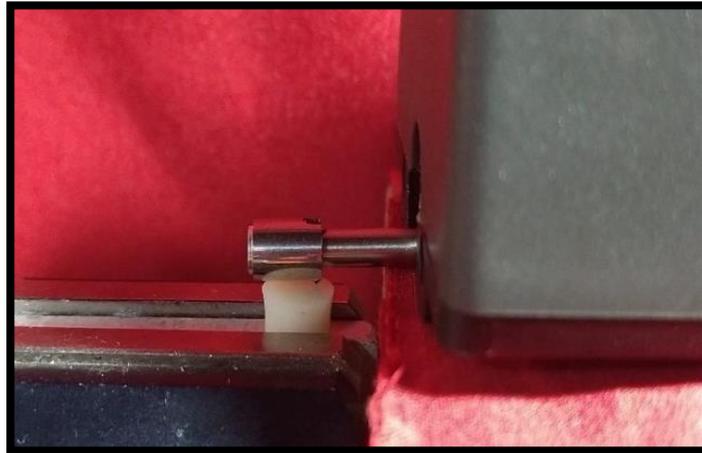
C.D. Rolando Gómez Villena

Responsable del Centro dental Dent A Medic

COP. 8093

ANEXO 3. INSTRUMENTO DE MEDICION

ANEXO 3. INSTRUMENTO DE MEDICIÓN



(Huatec SRT-6200® Beijing ,China).

ANEXO 4. FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS



UNIVERSIDAD PRIVADA
SAN JUAN BAUTISTA

Fecha:

Pulido	Grupos	Aplicación de Glicerina	Rugosidad superficial (μm)	
Antes de Pulir	A1	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	A2	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	A3	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B1	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B2	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B3	Con glicerina		
		Sin glicerina		
Con (Disco Sof-Lex)	A1	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	A2	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	A3	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B1	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B2	Con glicerina		
		Sin glicerina		
	B3	Con glicerina		
		Sin glicerina		

ANEXO 5. MATRIZ DE CONSISTENCIA

titulo	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE		
	General	General	General	Dimensión	Indicador	Nivel de medición
CONTROL DE LA CAPA INHIBIDA DE OXIGENO PARA EVALUAR LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN RESINA BULK-FILL Y NANOHIBRIDAS CONVENCIONALES CON Y SIN PULIDO. ESTUDIO IN VITRO	<p>¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y nanohíbridas convencionales, con y sin pulido?</p>	<p>Evaluar la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con y sin pulido, después de controlar la capa inhibida de oxígeno.</p>	<p>La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y nanohíbridas convencionales, con y sin pulido.</p>	<p>- Resinas compactas.</p> <p>-Micras (μm).</p> <p>- Pulido.</p> <p>- Glicerina.</p>	<p>-Tipo de resina.</p> <p>-Rugosímetro .</p> <p>-Aplicación de pulido.</p> <p>-Uso de la glicerina.</p>	<p>Nominal: -Resina Bulk-Fill. -Resina Nanohíbrida</p> <p>-Razón: -0,1,2 (μm)</p> <p>Nominal: -Con pulido. -Sin pulido.</p> <p>Nominal: -Con glicerina. -Sin glicerina.</p>
	Específicos	Específicos	Específicos			

	<ul style="list-style-type: none"> • ¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con pulido? • ¿La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, sin pulido? • ¿Existen diferencias significativas de la rugosidad superficial al comparar las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido? 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar el efecto de la capa inhibida de oxígeno sobre la rugosidad superficial de resinas con pulido, tipo bulk fill y nanohíbridas convencionales. • Evaluar el efecto de la capa inhibida de oxígeno sobre la rugosidad superficial de resinas sin pulido, tipo bulk fill y nanohíbridas convencionales. • Comparar la rugosidad superficial de las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido. 	<ul style="list-style-type: none"> • La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, con pulido. • La capa inhibida de oxígeno modificaría significativamente la rugosidad superficial de las resinas bulk fill y las nanohíbridas convencionales, sin pulido. • Existen diferencias significativas de la rugosidad superficial al comparar las resinas bulk fill con las resinas nanohíbridas convencionales, con y sin pulido. 			
--	--	---	---	--	--	--

DISEÑO, TIPO Y NIVEL	POBLACION Y MUESTRA	TECNICAS E INSTRUMENTOS	ANALISIS ESTADISTICO
<p>-Por el número de variables: Analítico: Porque se realizará un análisis bivariado con dos factores.²¹</p> <p>-Por el número de mediciones: Longitudinal: Porque la recolección de datos se realizará en dos momentos diferentes sobre la misma muestra.²¹</p> <p>-Según la fuente de recolección de datos: Prospectivo: Porque el investigador obtendrá los resultados producto de la investigación.</p> <p>-Por la intervención: Experimental <i>In vitro</i>, debido a que el investigador manipulará la variable independiente.²¹</p> <p>-Nivel Explicativo: Porque se evaluará la relación de causa y efecto.²¹</p>	<p>Las unidades de análisis serán 120 bloques de resina elaboradas con resinas Bulk Fill, A1: Tetric® N-Ceram Bulk-fill IVA, Ivoclar Vicadent (TNF-BF), A2: Opus Bulk Fill APS A2, FGM (O-BF), A3: Filtek™ Bulk Fill A2, 3M (F-BF) y nanohíbrida convencional, B1: Tetric® N-Ceram A2, Ivoclar Vicadent (TNC-NC), B2: Opallis EA2, FGM (O-NC), B3: Filtek™ Z250 XT A2, 3M (FXT-NC) de 6 x 6 mm elaboradas especialmente para el presente proyecto⁹.</p> <ul style="list-style-type: none"> • CRITERIOS DE INCLUSION <ul style="list-style-type: none"> - Bloques elaborados con resinas de las casas comerciales 3M(Filtek™ Bulk Fill A2, Filtek™ Z250 XT A2), Ivoclar Vicadent (Tetric® N-Ceram Bulk-fill IVA, Tetric® N-Ceram A2) y FGM 	<p>Se realizará un molde estandarizado de 6 mm de altura x6 mm de diámetro, según la Norma Técnica ISO 4949- 2019^{9,10}.</p> <p>Para los grupos, sin aplicación de glicerina y antes de pulir (A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior queden paralelas. Las muestras de resina se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED(Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² -1200 mW/cm² por 20 segundos.</p> <p>Para los grupos, con aplicación de glicerina y antes de pulir (A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Antes de fotopolimerizar se aplicará una capa de glicerina en la superficie de la muestra, posteriormente se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm² - 1200 mW/cm² por 20 segundos.</p> <p>Para los grupos, sin glicerina y pulido (A1, A2, A3,</p>	<p>Posteriormente los datos serán importados por el programa SPSS (<i>Statistical Package for the Social Sciences</i> Inc. IBM, NY, USA) versión 24.0. Para el análisis descriptivo se empleará medidas de tendencia central y dispersión, como la media y la desviación estándar. Para el análisis inferencial, se evaluará si los datos presentan distribución normal y homocedasticidad. De acuerdo a estos resultados, se decidirá una prueba paramétrica o no paramétrica. En todas las comparaciones se considerará un $p < 0.05$, para las diferencias significativas.</p>

	<p>(Opus BulkFill APS A2, OpallisEA2).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bloques elaborados de resina con una dimensión de 6x6mm. - Bloques elaborados con resina dentro de fecha de caducidad - Bloques elaborados con resina de la mismatonalidad A2. <p>• CRITERIOS DEEXCLUSION</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bloques de resinas con presencia de grietas o burbujas en la superficie después del proceso de fotopolimerizado. 	<p>B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Las capas de resina se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm2 -1200 mW/cm2 por 20 segundos. Posteriormente se pulirán las superficies de las muestras con un sistema de disco (Sof-Lex, 3M ESPE, St Paul, SM,EE. UU.) De grano grueso a fino.</p> <p>Para los grupos, con aplicación de glicerina y pulido(A1, A2, A3, B1, B2 y B3): se colocará una matriz de celuloide sobre el molde y una lámina portaobjetos de 1 mm de espesor encima para asegurar que las superficies superior e inferior quedaran paralelas. Antes de fotopolimerizar se aplicará una capa de glicerina en la superficie de la muestra, posteriormente se fotopolimerizarán desde la parte superior del molde con una lámpara de curado LED (Light-Emitting Diode) (Valo® - Ultradent©) con una intensidad de 1000 mW/cm2 - 1200 mW/cm2 por 20 segundos. Posteriormente se pulirán las superficies de las muestras con un sistema de disco (Sof-Lex, 3M ESPE, St Paul, SM,EE. UU.) de grano grueso a fino.</p> <p>Ensayo de rugosidad superficial Una vez obtenidos los 120 bloques de resina, se realizará la medición de la rugosidad superficial antes de llevarse a cabo el procedimiento de pulido. Luego de ello, la muestra será almacenada en una estufa a</p>	
--	--	---	--

		<p>37°C por 24 horas. Al día siguiente, se realizará el pulido a todas las superficies de los bloques de resina, de acuerdo al tipo de tratamiento asignado a cada grupo. Posteriormente se volverá a medir la rugosidad superficial, luego de realizarse el pulido. En cada probeta de resina se realizarán las mediciones con el rugosímetro de aproximación de 0,001 micras (Huatec SRT-6200® China) en el laboratorio High Technology Laboratory Certificate (HTL). El valor de la rugosidad superficial en cada bloque de resina se determinará con el promedio en micras de las mediciones en cuatro zonas diferentes de la superficie. (Anexo 3).</p> <p>La investigadora tendrá acceso al informe realizado por el laboratorio y la información será recogida en una ficha de recolección de datos (Anexo 4), para luego crear una base de datos en Microsoft Excel 2019, donde se registrará la información obtenida.</p>	
--	--	--	--

RESEARCH

Open Access



Surface roughness and oxygen inhibited layer control in bulk-fill and conventional nanohybrid resin composites with and without polishing: in vitro study

Andrea Gaviria-Martinez¹, Leonor Castro-Ramirez¹, Marysela Ladera-Castañeda², Luis Cervantes-Ganoza³, Hernán Cachay-Criado¹, María Alvino-Vales¹, Goretty Garcia-Luna¹, Carlos López-Gurreonero², Alberto Cornejo-Pinto^{1,2} and César F. Cayo-Rojas^{1*}

Abstract

Background: It has been demonstrated that dental restorations with rough surfaces can have several disadvantages such as pigment retention or plaque accumulation, which can facilitate caries formation, color variation, loss of brightness, degradation of restoration, among others. The present study aimed to assess surface roughness in bulk fill and conventional nanohybrid resins with and without polishing, controlling the oxygen inhibited layer.

Methods: This in vitro and longitudinal experimental study consisted of 120 resin blocks of 6 mm diameter and 4 mm depth, divided into two groups: Bulk Fill (Tetric[®] N-Ceram Bulk-fill, Opus Bulk Fill APS, Filtek[™] Bulk Fill) and conventional nanohybrid (Tetric[®] N-Ceram, Opallis EA2, Filtek[™] Z250 XT). Each resin group was divided into two equal parts, placing glycerin only on one of them, in order to control the oxygen inhibited layer. Subsequently, the surface roughness was measured before and after the polishing procedure with Sof-Lex discs. The data were analyzed with the T-test for related measures, and for comparison between groups before and after polishing, the non-parametric Kruskal Wallis test with the Bonferroni post hoc was used, considering a significance level of $p < 0.05$.

Results: Before polishing, the resin composites with the lowest surface roughness were Opus Bulk Fill APS ($0.383 \pm 0.186 \mu\text{m}$) and Opallis EA2 ($0.430 \pm 0.177 \mu\text{m}$) with and without oxygen inhibited layer control, respectively; while after polishing, those with the lowest surface roughness were Opus Bulk Fill APS ($0.213 \pm 0.214 \mu\text{m}$) and Tetric N-Ceram ($0.097 \pm 0.099 \mu\text{m}$), with and without oxygen inhibited layer control, respectively. Furthermore, before and after polishing, all resins significantly decreased their surface roughness ($p < 0.05$) except Opus Bulk Fill APS resin with oxygen inhibited layer control ($p = 0.125$). However, when comparing this decrease among all groups, no significant differences were observed ($p < 0.05$).

Conclusion: The Opus Bulk Fill APS resin with oxygen inhibited layer control presented lower surface roughness both before and after polishing, being these values similar at both times. However, after polishing the other bulk fill and conventional nanohybrid resins with and without oxygen inhibited layer control, the surface roughness decreased significantly in all groups, being this decrease similar in all of them.

*Correspondence: cesarcayorjas@gmail.com

¹ School of Stomatology, Universidad Privada San Juan Bautista, Lima, Peru
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2022. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Keywords: Bulk-fill resin, Comparative study, Dental materials, Dental polishing, Dentistry, Nanohybrid resin, Oxygen inhibited layer, Resin composite, Surface roughness

Background

Resin composites continue to be the most widely used material in dental practice because technology has been improving their mechanical and optical properties in order to achieve highly esthetic and functional restorations [1–4].

Resin composites have in their structure an organic matrix with a mixture of monomers such as Bis-GMA (Bisphenol-A-Glycidyl Methacrylate), TEGDMA (Triethylene Glycol Dimethacrylate), UDMA (Urethane Dimethacrylate), HEMA (Hydroxyethylmethacrylate), Bis-EMA (Bisphenol A Polyethylene Glycol Diether Dimethacrylate), fillers such as silica, quartz or ceramic glass and a photoinitiator such as camphorquinone, BAPO (bisacyl phosphine oxide), among others, thus obtaining a classification of macrohybrid, microhybrid, nanohybrid and hybrid, which vary the quantity and size of their particles [3, 5–7]. However, the increase in filler loading also leads to an increase in stiffness and stress during light curing [3]. For this reason, a new resin composite system called “Bulk Fill or monoincremental” was developed, which can be placed in increments of 4 mm, thus reducing the number of clinical steps and the shrinkage effect, as well as having polymerization accelerators in its composition that reduce light curing time [4, 8].

Because resin composites are highly esthetic, they are the first choice for restoring teeth. Therefore, their shelf life continues to be a concern. It has been reported that one of the factors contributing to clinical success of resin composites is the final polishing of restoration, since it allows to obtain a smooth and shiny surface [4, 9]. In this sense, it has been demonstrated that a rough surface generates several complications over time, such as pigment retention and plaque accumulation, which would facilitate the formation of secondary caries, restoration degradation and gingival inflammation [4, 9, 10]. Likewise, the lack of a smooth finish in the occlusal contact areas would generate greater friction, causing wear on the antagonist tooth surface and even microfractures in the restoration. [4, 10]

On the other hand, polishing quality and surface finish in resin composites is influenced by several factors such as filler particle size and filler loading [9, 11, 12]. Some studies indicate that to achieve ideal polishing it is necessary for resin composites to have small particles, so microfilled resin composites achieve better surface quality and higher gloss [9, 12]. However, these microfilled resin composites have inferior mechanical

properties compared to universal resin composites such as nanohybrids and nanofillers [12].

To test the effectiveness of different polishing systems on resin composites, it is common to assess surface roughness. Several studies report that aluminum abrasive polishing wheel produces better results for most types of resin composites compared to other polishing tools [13–15].

Although finishing and polishing systems help to avoid a rough resinous surface, it is still a challenge to completely remove the oxygen-inhibited layer (OIL), which forms during light-curing of resin composite. Upon contact with atmospheric oxygen, the resin composite leaves an uncured layer because oxygen inhibits the polymerization reaction, resulting in formation of a polymer chain that is more prone to staining and wear [2, 10]. In order to achieve a highly esthetic and functional restoration, it is necessary to block OIL at the time of light curing, since it decreases the surface quality of restoration [2, 16]. Many dentists use glycerin to prevent the formation of OIL, since it prevents atmospheric oxygen from contacting the resin composite surface, thus preventing it from reacting with free radicals, improving the degree of conversion and the surface mechanical properties of resin composites [10, 16, 17].

Different studies had as limitations the operator variable, the types of movement and the pressure applied for polishing, since these can influence surface roughness, as reported by St-Pierre et al. [12] Babina et al. [18] and Madhyastha et al. [19]. Due to this, all suggested that procedures should be performed by one operator to reduce biases, so the need arises to assess surface roughness using polishing systems with identical movements, in the same direction and performed by a single operator. In addition, studies such as Aljammah et al. [20] and Khudhur et al. [21] recommended measuring surface roughness before polishing, since they only measured and compared surface roughness between different resin composites after polishing, and were unable to assess the variation between before and after polishing. In turn, Ramírez et al. [10] and Ishii et al. [4] suggested assessing the surface characteristics of bulk fill resin composites versus conventional nanohybrid resin composites.

Therefore, the present study aimed to assess surface roughness of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites with and without polishing, controlling the oxygen inhibited layer. Specific objectives were: (1) To

determine surface roughness, before and after polishing, of bulk fill and conventional nanohybrid type resin composites, with and without oxygen inhibited layer control. (2) To compare surface roughness, before and after polishing, of bulk fill and conventional nanohybrid type resin composites, with and without oxygen inhibited layer control. (3) To compare surface roughness variation between before and after polishing of bulk fill type and conventional nanohybrid type resin composites, with and without oxygen inhibited layer control.

The null hypothesis stated that there was no significant difference in surface roughness of bulk-filled resin composites versus conventional nanohybrid resin composites, with and without polishing, after control of the oxygen inhibited layer. This study considered the CRIS Guidelines (Checklist for Reporting In-vitro Studies) [22].

Methods

Type of study and delimitation

This longitudinal and prospective in vitro experimental study was conducted at the School of Stomatology of the Universidad Privada San Juan Bautista and at the High Technology Laboratory Certificate (ISO/IEC Standard: 17,025), Lima, Peru, in the months of October to December 2021, with approval letter No.1199-2021-CIEI-UPSJB.

Sample calculation and selection

A total of 120 resin composite blocks were made and standardized, evenly distributed in six groups of 20 blocks. They were then divided in simple random order without replacement into two equal subgroups of resin composite blocks with glycerin (n=10) and without glycerin (n=10) (Fig. 1). The total sample size (n=120) was calculated from data obtained in a previous pilot study in which the variance analysis formula was applied in the statistical software G*Power version 3.1.9.7 considering a significance level (α)=0.05 and a statistical power (1-β)=0.80, with an effect size of 0.13, with 12 groups and 2 paired measures.

Variables

Variables included were: type of compact resin composite, surface roughness, polishing system and glycerin application.

Sample characteristics and preparation

The samples were 120 blocks of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites measuring 6 mm in diameter and 4 mm in depth [10, 23]. (Table 1). The resin composite blocks were made by a single operator, coded and distributed in the following way (Fig. 2):

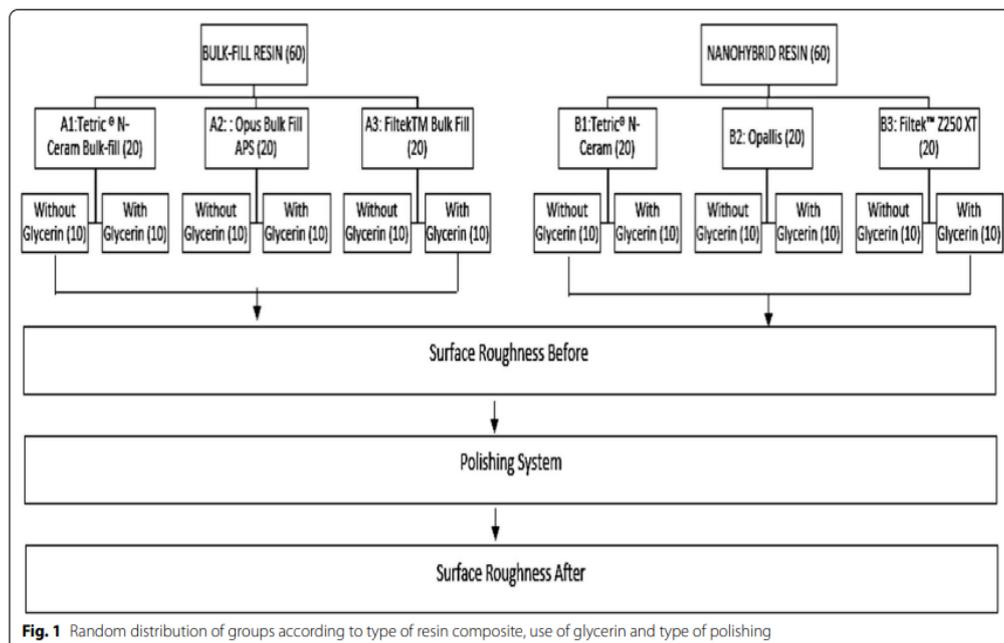


Fig. 1 Random distribution of groups according to type of resin composite, use of glycerin and type of polishing

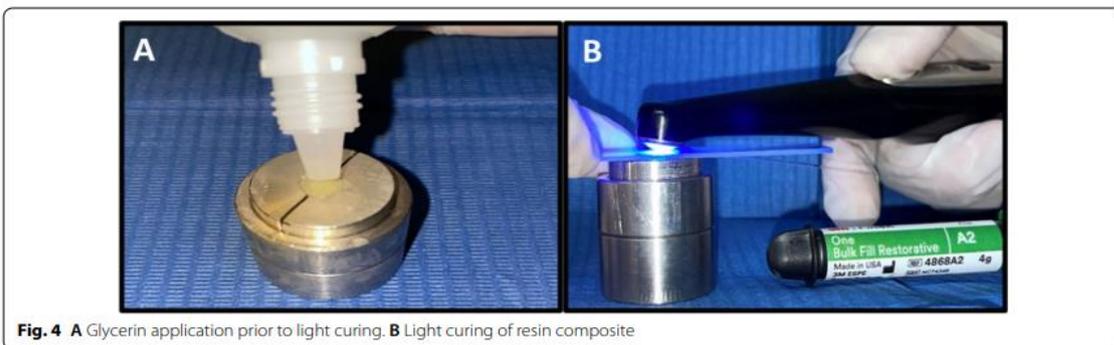
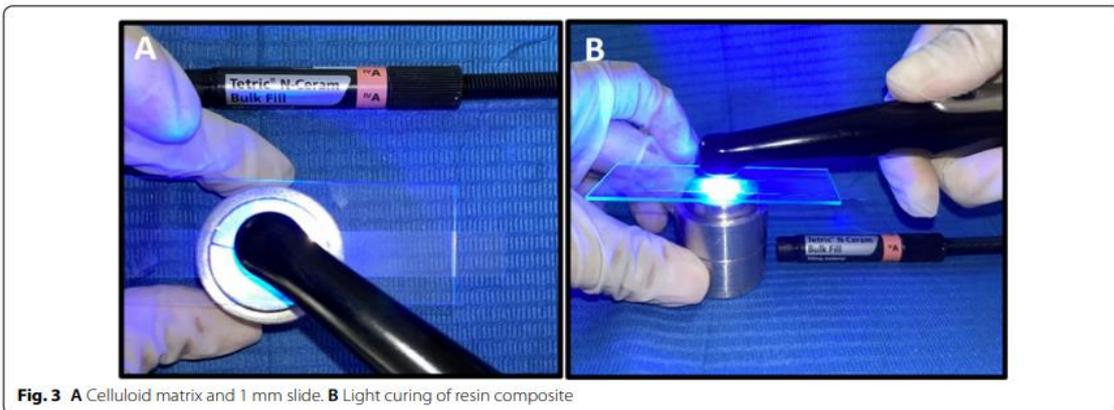
For non-glycerin applied and unpolished groups (control groups), a celluloid matrix was placed on top of the mold and a 1 mm thick microscope slide on top of the matrix to ensure that upper and lower surfaces were parallel. The resin composite samples were light-cured from the top of the mold with an LED (Light-Emitting Diode) curing lamp (Valo[®], Ultradent[®], South Jordan, UT, USA) with an intensity of 1000 mW/cm² for 20 s (Fig. 3). The intensity was verified by a radiometer (Litex 682, Dentamerica[®], City of Industry, CA, USA). For glycerin-applied and unpolished groups, the same procedure was

followed, except that before light-curing the last increment, a layer of glycerin was applied on the surface of sample and light-cured from top of the mold with the same intensity and time. (Fig. 4).

For non-glycerin applied and polished groups, a celluloid matrix was placed on top of the mold and a 1 mm thick microscope slide was placed on top of the matrix to ensure that upper and lower surfaces were parallel. The resin composite layers were light-cured from top of the mold with an LED curing lamp at an intensity of 1000 mW/cm² for 20 s. Subsequently, the specimen

Table 1 Materials tested

Product	Type	Composition	Filler % (wt-vol)	Manufacturer	Lot
Filtek [™] bulk fill A2	Nanofill bulk fill	Matrix: AUDMA, UDMA, AFM y 1, 12-dodecane-DMA Filler: not agglomerated/ not aggregated silica, not agglomerated/not aggregated zirconia, aggregated zirconia / silica compound, ytterbium trifluoride	76.5 wt-58.4 vol	3 M, ESPE, St. Paul, MN, USA	NC74349
Tetric [®] N-ceram bulk-fill IVA	Nanohybrid bulk fill	Matrix: bis-GMA, bis-EMA, UDMA Filler: barium silicate alumino glass, "isofiller" (prepolymer, glass and ytterbium fluoride), ytterbium fluoride and mixed oxides	76 wt-54 vol	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Z02TBZ
Opus bulk fill APS A2	Nanohybrid Bulk Fill	Matrix: UDMA Filler: Nanofiller Photoinitiating-Advanced Polymetization System (APS). Inorganic load of silanized silicon dioxide (silica), barium glass aluminosilicate	76.5 wt-58.4 vol	FGM, Santa Catarina, Brasil	010,221
Opallis EA2	Nanohybrid	Matrix: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA, TEGDMA. Filler: The loads are a combination of silanized barium-aluminum silicate glass and nanoparticles of silicon dioxide, camphorquinone as photoinitiator, accelerators, stabilizers and pigments	79.8 wt-58 vol	FGM, Santa Catarina, Brasil	171,120
Tetric [®] N-ceram A2	Nanohybrid	Matrix: Bis-GMA, Bis-EMA, UDMA Filler: Dimethacrylates, additives, catalysts, stabilizer sand pigments, barium glass, ytterbium trifluoride, mixed oxide and prepolymerized filler	81 wt-57 vol	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Z022ZP
Filtek [™] Z250 XT A2	Nanohybrid	Matrix: BIS-GMA, TEGDMA, UDMA Filler: Silane treated ceramic, Bisphenol a polyethylene glycol diether dimethacrylate	82 wt-68 vol	3 M, ESPE, St. Paul, MN, USA	NE65758
Sof-lex System	Finishing polishing sytem	Aluminum oxide abrasive discs	–	3 M, ESPE, St. Paul, MN, USA	NA38805 NC80025 NA38805 NC93054



surfaces were polished by the same operator with a four-step disc system (Sof-Lex, 3 M ESPE, St. Paul, SM, USA) from coarse to fine grit (Table 1). The polishing

discs were changed after use on each sample. For glycerin-applied and polished groups, the same procedure was followed except that before light-curing the last

increment, a layer of glycerin was applied to the sample surface, then light-cured from top of the mold with the same intensity and time, and finally polished under the same system. (Fig. 5).

Surface roughness test

Surface roughness was measured on 120 resin composite blocks before the polishing procedure was performed. After that, the sample was stored in an oven at 37 °C for 24 h. Then, the upper surface of the resin composite blocks, which was previously marked, was polished according to the type of treatment assigned to each group and the surface roughness was measured again. On each resin block the measurements were performed with the 0.001 μm roughness meter (Huatec SRT-6200[®], Haidian, Beijing, China). For measuring the surface roughness values of samples, the measuring length was taken as 1.75 mm and the shear value as 0.25 mm.

The surface roughness value on each resin composite block was determined as the average in microns of the measurements on four different areas of the upper surface. (Fig. 6).

Statistical analysis

Data collected were recorded in a Microsoft Excel 2019[®] spreadsheet and subsequently imported for statistical analysis by the SPSS program (Statistical Package for the Social Sciences Inc. IBM, NY, USA) version 24.0. For descriptive analysis, measures of central tendency and dispersion, such as mean and standard deviation, were used. For hypothesis testing, we evaluated if the data presented normal distribution and homoscedasticity, using Shapiro Wilk's test and Levene's test, respectively. According to these results, normal distribution was observed in the mean difference for all groups (before and after polishing), so it was decided to use the T-test for related measures. However, for intergroup comparison, both before and after polishing, the nonparametric Kruskal Wallis test with Bonferroni's post hoc was used. A significance level of $p < 0.05$ was considered for all comparisons.

Results

Before polishing, it could be observed that the resin composites with highest surface roughness were Tetric N-Ceram Bulk Fill ($0.750 \pm 0.380 \mu\text{m}$) and Filtek Bulk Fill ($0.749 \pm 0.433 \mu\text{m}$), with and without oxygen inhibited layer control, respectively. The resin composites with lowest surface roughness were Opus Bulk Fill APS ($0.383 \pm 0.186 \mu\text{m}$) and Opallis EA2 ($0.430 \pm 0.177 \mu\text{m}$),

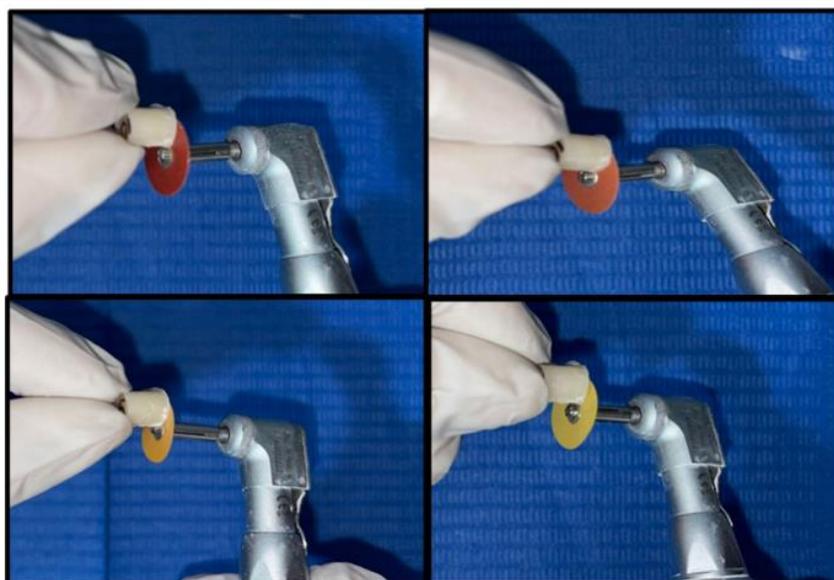
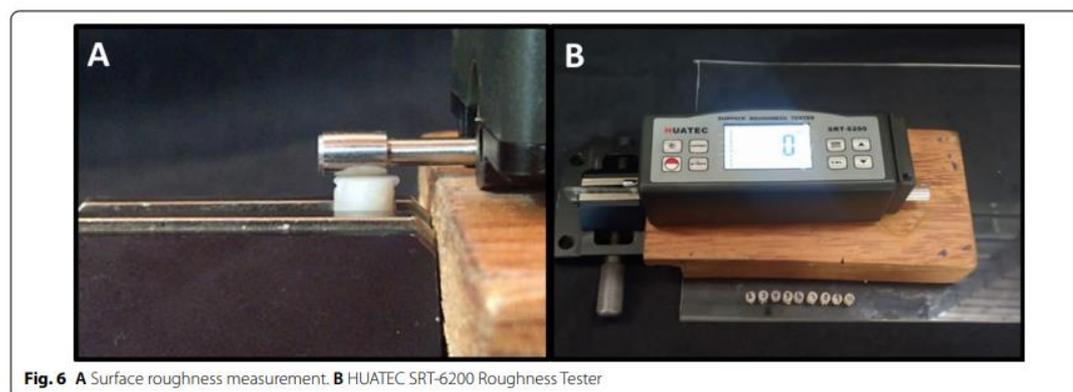


Fig. 5 Four-step polishing procedure with Sof-lex system



with and without oxygen inhibited layer control, respectively (Table 2). On the other hand, after polishing it could be observed that the resin composites with highest surface roughness was Filtek Bulk Fill with control ($0.422 \pm 0.231 \mu\text{m}$) and without control ($0.580 \pm 0.398 \mu\text{m}$) of the oxygen inhibited layer; while the resin composites with lowest surface roughness were Opus Bulk Fill APS ($0.213 \pm 0.214 \mu\text{m}$) and Tetric N-Ceram ($0.097 \pm 0.099 \mu\text{m}$), with and without control of the oxygen inhibited layer (Table 2). In addition, it could be seen

Table 2 Descriptive values of surface roughness before and after polishing of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without oxygen inhibition layer control

Polish	Resin composite	n	Mean	SD	Median	IQR	Minimum	Maximum
Before	TNC-BF(G)	10	0.750	0.380	0.547	0.692	0.403	1.441
	TNC-BF	10	0.661	0.482	0.503	0.740	0.120	1.498
	TNC-CN (G)	10	0.574	0.342	0.466	0.477	0.264	1.288
	TNC-CN	10	0.549	0.315	0.581	0.572	0.112	1.056
	O-BF (G)	10	0.383	0.186	0.374	0.332	0.113	0.629
	O-BF	10	0.740	0.431	0.669	0.830	0.085	1.340
	O-CN (G)	10	0.651	0.524	0.514	0.483	0.155	1.899
	O-CN	10	0.430	0.177	0.442	0.285	0.144	0.725
	F-BF (G)	10	0.556	0.233	0.462	0.267	0.364	1.038
	F-BF	10	0.749	0.433	0.660	0.711	0.294	1.555
After	F-CN (G)	10	0.681	0.180	0.737	0.273	0.370	0.852
	F-CN	10	0.575	0.330	0.500	0.394	0.163	1.322
	TNC-BF(G)	10	0.261	0.264	0.159	0.339	0.033	0.751
	TNC-BF	10	0.299	0.159	0.243	0.209	0.084	0.618
	TNC-CN (G)	10	0.279	0.341	0.145	0.414	0.021	1.004
	TNC-CN	10	0.097	0.099	0.074	0.138	0.017	0.328
	O-BF (G)	10	0.213	0.214	0.137	0.353	0.014	0.568
	O-BF	10	0.223	0.216	0.133	0.338	0.036	0.608
	O-CN (G)	10	0.262	0.408	0.119	0.256	0.016	1.377
	O-CN	10	0.134	0.161	0.069	0.162	0.015	0.506
F-BF (G)	10	0.422	0.231	0.352	0.327	0.180	0.875	
F-BF	10	0.580	0.398	0.497	0.746	0.119	1.304	
F-CN (G)	10	0.261	0.163	0.195	0.244	0.015	0.540	
F-CN	10	0.286	0.263	0.199	0.289	0.046	0.907	

n Sample, SD Standard deviation, IQR Interquartile range, F-BF Filtek Bulk Fill, F-CN Filtek Z250-XT, TNC-BF Tetric N-Ceram Bulk-fill, TNC-CN Tetric N-Ceram y, O-BF Opus Bulk Fill APS, O-CN Opallis EA2, CN Conventional Nanohybrid, (G) With oxygen inhibited layer control

that all resin composites without exception decreased their surface roughness after being subjected to polishing (Fig. 7) (Additional file 1: Table S1).

Before polishing, when comparing surface roughness of all groups of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without oxygen inhibition layer control, no significant differences could be observed ($p=0.308$). However, after polishing, when comparing all groups of resin composites, significant differences could be observed in at least two of the groups ($p=0.002$). Thus, when performing multiple comparisons of surface roughness, significant differences could be seen between Tetric N-Ceram resin composite and Filtek Bulk Fill resin with control ($p=0.023$) and without control ($p=0.010$) of the oxygen inhibited layer, being the latter significantly different from Opallis EA2 resin composite ($p=0.044$). (Table 3).

When comparing the surface roughness variation between before and after ($\bar{X}_f - \bar{X}_i$) polishing of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without oxygen inhibited layer control, it could be observed that the surface roughness in all resin composite groups decreased significantly ($p < 0.05$), except for the Opus Bulk Fill APS resin composite with

oxygen inhibited layer control ($p=0.125$) (Fig. 8). On the other hand, when making comparisons of the variations between all groups of resin composites, significant differences could be observed in at least two groups ($p=0.021$). However, when a post-test was performed with the Bonferroni adjustment, it was found that these differences between at least two groups were not significant for any comparison ($p > 0.05$). (Table 4).

Discussion

Surface quality of resin composites is important because poor polishing could be detrimental by compromising their durability. In addition, control of inhibited oxygen layer is crucial as it could compromise the mechanical properties of resin composites [11, 17]. Therefore, the present study aimed to assess surface roughness of bulk-fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without polishing, after controlling the oxygen inhibited layer. As a result, it was obtained that Bulk Fill resins (Filtek, Tetric N-Ceram and Opus APS) and conventional nanohybrid composite resins (Filtek Z250 XT, Tetric N-Ceram and Opallis EA2) after being polished with prior control of the oxygen inhibited layer, showed

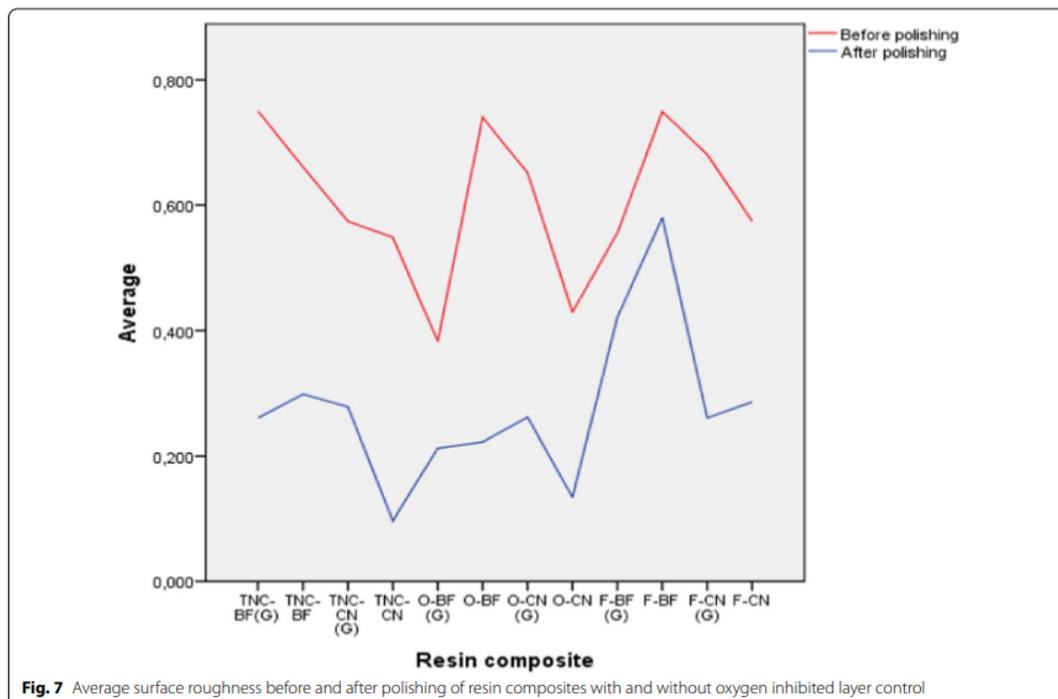


Fig. 7 Average surface roughness before and after polishing of resin composites with and without oxygen inhibited layer control

Table 3 Comparison of surface roughness before and after polishing of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites with and without oxygen inhibited layer control

Polish	Resin composite	n	Median	IQR	K-W	p-value			
Before	TNC-BF(G)	10	0.547	0.692	12.776	0.308			
	TNC-BF	10	0.503	0.740					
	TNC-CN (G)	10	0.466	0.477					
	TNC-CN	10	0.581	0.572					
	O-BF (G)	10	0.374	0.332					
	O-BF	10	0.669	0.830					
	O-CN (G)	10	0.514	0.483					
	O-CN	10	0.442	0.285					
	F-BF (G)	10	0.462	0.267					
	F-BF	10	0.660	0.711					
	F-CN (G)	10	0.737	0.273					
	F-CN	10	0.500	0.394					
	After	TNC-BF(G)	10	0.159			0.339	29.007	0.002*
		TNC-BF	10	0.243			0.209		
TNC-CN (G)		10	0.145	0.414					
TNC-CN		10	0.074 ^a	0.138					
O-BF (G)		10	0.137	0.353					
O-BF		10	0.133	0.338					
O-CN (G)		10	0.119	0.256					
O-CN		10	0.069 ^{ab}	0.162					
F-BF (G)		10	0.352 ^{bc}	0.327					
F-BF		10	0.497 ^c	0.746					
F-CN (G)		10	0.195	0.244					
F-CN		10	0.199	0.289					

Different letters were used to indicate significant differences ($p < 0.05$) between independent pairs, according to Bonferroni post hoc adjustment. However, if two values coincide with equal letters it means that there were no differences between them

n Sample; IQR Interquartile range; K-W Kruskal-Wallis test, * $p < 0.05$: Significant differences in at least two groups. F-BF Filtek Bulk Fill, F-CN Filtek Z250-XT, TNC-BF Tetric N-Ceram Bulk-fill, TNC-CN Tetric N-Ceram y, O-BF Opus bulk fill APS, O-CN Opallis EA2; CN Conventional nanohybrid, (G) With oxygen inhibited layer control

consistent and significant decrease in surface roughness, thus rejecting the null hypothesis.

Glycerin has been used in dentistry to control the oxygen inhibited layer (OIL). Oxygen inhibits polymerization because its reactivity with free radicals is greater than that of resin composite monomers. During this inhibition process, oxygen interacts with the resin liquid and is consumed by the formed radicals [2, 10, 16]. In this sense, glycerin converts the highly reactive radicals on the surface into relatively stable hydroperoxides, which allows to obtain a better light-curing quality in the outermost layer of resin composites, avoiding the formation of OIL [10, 17]. For this reason, in the present study it was decided to use glycerin because it avoids the contact of atmospheric oxygen with the surface of the resin composite, thus preventing it from reacting with free radicals and improving the degree of conversion and surface mechanical properties [2, 10]. Although studies such as Lassilla et al. [24] and Strnad et al. [25] suggest that celluloid tape controls OIL since it blocks the contact of the

material with oxygen, they also reported that it would not eliminate it completely since it can trap bubbles during placement. Therefore, this study opted for additional use of glycerin.

In spite of the above, the results of present study showed no significant differences in roughness when analyzing resin composites with and without control of the oxygen inhibited layer, being in agreement with the results obtained by Tsujimoto et al. [26] However, this was discrepant with that obtained by Borges et al. [2] and Meita et al. [16], perhaps because they used resin composites with different chemical composition than the sample of present study, being this a determinant factor in surface roughness. [2, 10, 17]. In addition, the polishing system used by Borges et al. [2] and Meita et al. [16] was different from the one used in present study.

The polishing system used in present study was the Sof-lex disc, which is an abrasive disc impregnated with aluminum oxide. Its use was justified because it was reported as the system that presents the lowest surface

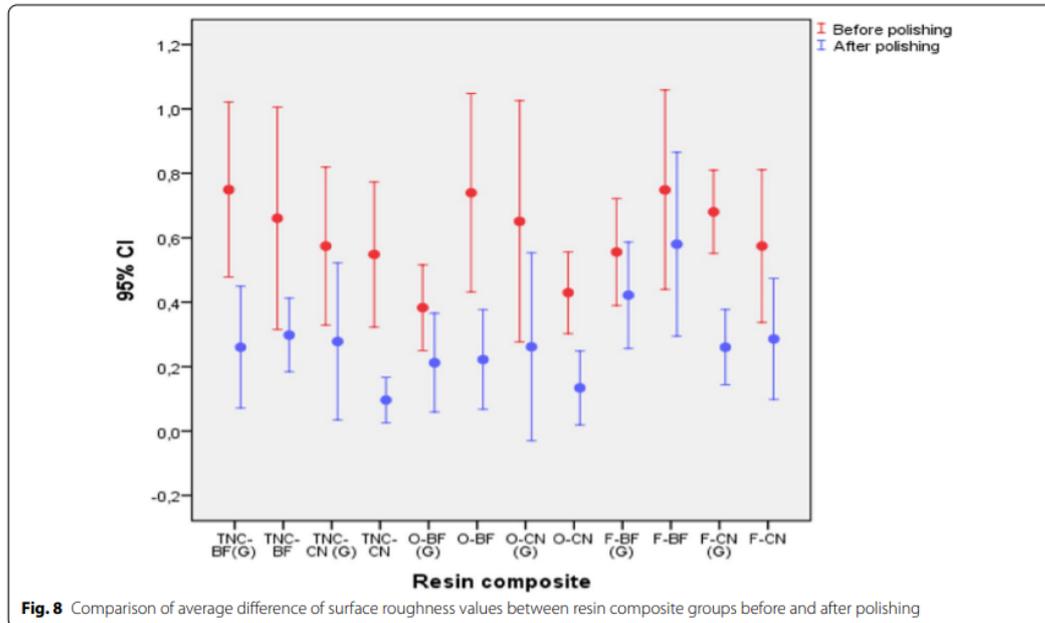


Table 4 Surface roughness variation between before and after polishing of bulk fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without oxygen inhibited layer control

Resin composite	$(\bar{x}_f - \bar{x}_i)$	Median	SD	SE	95% CI		w	t	p*	K-W	p**
					LL	UL					
TNC-BF(G)	-0.489	-0.419 ^a	0.243	0.077	-0.663	-0.315	0.060	-6.353	0.000	22.462	0.021**
TNC-BF	-0.362	-0.254 ^a	0.465	0.147	-0.695	-0.030	0.196	-2.463	0.036		
TNC-CN (G)	-0.296	-0.272 ^a	0.145	0.046	-0.400	-0.192	0.334	-6.436	0.000		
TNC-CN	-0.452	-0.552 ^a	0.266	0.084	-0.642	-0.262	0.227	-5.384	0.000		
O-BF (G)	-0.170	-0.222 ^a	0.319	0.101	-0.398	0.058	0.917	-1.691	0.125		
O-BF	-0.518	-0.504 ^a	0.441	0.140	-0.833	-0.202	0.338	-3.709	0.005		
O-CN (G)	-0.389	-0.412 ^a	0.248	0.079	-0.567	-0.212	0.493	-4.959	0.001		
O-CN	-0.295	-0.303 ^a	0.201	0.064	-0.439	-0.151	0.518	-4.640	0.001		
F-BF (G)	-0.134	-0.103 ^a	0.110	0.035	-0.213	-0.056	0.192	-3.877	0.004		
F-BF	-0.169	-0.188 ^a	0.086	0.027	-0.231	-0.107	0.387	-6.187	0.000		
F-CN (G)	-0.420	-0.430 ^a	0.244	0.077	-0.594	-0.246	0.333	-5.448	0.000		
F-CN	-0.288	-0.294 ^a	0.212	0.067	-0.440	-0.136	0.886	-4.294	0.002		

Equal letters (a) were used to indicate no significant difference ($p > 0.05$) for independent pairwise comparison, according to Bonferroni post hoc adjustment $(\bar{x}_f - \bar{x}_i)$: Mean difference; (\bar{x}_f) : After polishing; (\bar{x}_i) : Before polishing; SD Standard deviation; SE Standard error of mean; 95% CI 95% confidence interval, LL Lower limit, UL Upper limit; w: Normality analysis based on Shapiro Wilk Test (normal distribution: $p > 0.05$); t: Student's t-test for related measures (significant differences $*p < 0.05$), K-W Kruskal Wallis test (significant differences in at least two groups: $**p < 0.05$)

roughness with respect to other commonly used systems [27]. However, it should be taken into account that surface roughness can also be related to other factors, for example: number of steps, polishing time, particle size

of the organic load in resin composites, among others [2, 10, 15, 16]. Regarding the number of steps, Jones et al. [28] reported that for a multipass system, 25 s of polishing should be performed for each disc used. However, in

accordance with the manufacturer's recommendations, in present study it was decided to apply 20 s of polishing per disc [29]. On the other hand, Kılıç et al. [30] reported that particle size of the organic filler in resin composite influences its surface roughness, and further reported that bulk fill resin composites exhibited higher roughness because they contain large filler particles to increase translucency while achieving composite application in a single 4 mm layer, unlike the nanohybrid resin composites that contain smaller filler particles, which reduces the interparticle spacing, limiting the removal of both particles and organic matrix during polishing and indirectly preventing an increase in surface roughness [30]. In this sense, in present study the Filtek Bulk Fill resin composite with and without OIL control presented higher surface roughness compared to the conventional Tetric N-Ceram nanohybrid resin composite after polishing. This could be related to particle size and filler components, as Tetric N-Ceram resin composite (0.5–1.5 μm) [31] has barium glass filled with ytterbium fluoride, while Filtek Bulk Fill resin composite (0.5–4 μm) [32] contains zirconium and silica within its composition [33]. However, the Opus Bulk Fill APS resin composite showed lower surface roughness than Tetric N-Ceram Bulk Fill and Filtek Bulk Fill before polishing, maintaining similar values after polishing with and without control of the oxygen inhibited layer. This was probably due to the fact that this resin composite works with a new APS (*Advanced Polymerization System*) technology patented by FGM, which consists of a combination of different photoinitiators that interact with each other and allow to amplify the polymerization capacity, increasing the degree of conversion and depth of cure, which allows us to suppose that this would improve the mechanical and surface properties [33, 34]. Additionally, it should be noted that a single polishing system will not produce the same effects on every type of resin composite, regardless of OIL control [12]. It is worth mentioning that Opus Bulk Fill APS resin composite with OIL control maintained its low surface roughness values before and after polishing, being different from when OIL was not controlled, since the values were significantly reduced after polishing. This may have occurred because the glycerin applied to the last layer of Opus Bulk Fill APS resin composite prior to light curing behaved as an atmospheric oxygen inhibitor, helping to convert the highly reactive radicals on the surface into relatively stable hydroperoxides, allowing for better light curing quality in the outermost layer [35].

In present study, the surface roughness of the conventional nanohybrid and bulk fill resin composites with and without OIL control did not exceed an average of 0.75 μm and 0.58 μm before and after polishing, respectively. These values are in agreement with the ISO

1302:2002 surface quality standard, [36] which considers surface roughness between 0.0025 and 0.8 μm as acceptable. Furthermore, the values obtained in present study agree with those obtained by Midobuche et al. [37] who assessed surface roughness of the Sof-Lex[®] polishing system on esthetic nanoparticle resin composites, obtaining surface roughness values below 1 μm , which is acceptable within clinical parameters.

The present study is important because, considering the results obtained, surface roughness could be improved with a finishing and polishing procedure regardless OIL control or not. This allows to recommend finishing and polishing not only for aesthetic reasons, but also to improve the surface of both conventional nanohybrid and bulk fill resin composites, since it will significantly reduce the formation of grooves and irregularities on surface, with excellent polish and high gloss, avoiding the accumulation of plaque and pigmentations that could alter the natural appearance of the restoration, in addition to facilitating longevity of resin composite both aesthetically and in its functional performance [10, 38]. However, clinically, it is not easy to access all resin surfaces when polishing, so it is also suggested to apply glycerin before light curing the last layer to ensure good polymer conversion, avoiding the formation of the oxygen inhibited layer.

As a limitation of the present study, it is recognized that results obtained cannot be fully extrapolated to clinical practice since it is an *in vitro* study. In addition, it is important to highlight that the use of stainless steel metallic matrix to make the samples, as indicated by ISO 4049–2019, [23] could underestimate the depth of polymerization that actually occurs in a clinical situation, because the internal walls of the metallic matrix do not scatter the light but absorb it, reducing the amount of photons available for activation. [39, 40]

It is recommended for future studies to control the polishing time variable and check if it is an influential factor in the resin composite surface roughness. In addition, the oxygen inhibited layer and roughness could be evaluated by comparing different polishing systems and using resin composites with different composition, since this could be a determining factor in surface roughness.

Conclusion

In summary, recognizing limitations of the present *in vitro* study, the Opus Bulk Fill APS resin composite with oxygen inhibited layer control presented lower surface roughness, both before and after polishing, being these values similar at both times. However, after polishing of the other bulk fill and conventional nanohybrid resin composites, with and without oxygen inhibited layer control, the surface

roughness decreased significantly in all groups, being this decrease similar in all of them.

Abbreviations

Bis-GMA: Bisphenol-A-glycidyl methacrylate; Bis-EMA: Bisphenol A polyethylene glycol diether dimethacrylate; BAPO: Bisacyl phosphine oxide; BF: Bulk fill; CI: Confidence interval; CRIS: Checklist for reporting in-vitro studies; HEMA: Hydroxyethylmethacrylate; CN: Conventional nanohybrid; OIL: Oxygen inhibited layer; TEGDMA: Triethylene glycol dimethacrylate; UDMA: Urethane dimethacrylate; SPSS: Statistical package for the social sciences.

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s12903-022-02297-w>.

Additional file 1: Table S1. Surface roughness data of resin composites with and without polishing, according to the oxygen inhibited layer control.

Acknowledgements

We thank the Research and Social Responsibility team of the Universidad Privada San Juan Bautista, Stomatology Academic Program, Lima and Ica, Peru, for their constant support in the preparation of this manuscript.

Author contributions

They conceived the research idea (AGM, CCR), elaborated the manuscript (AGM, LCR, CCR, LAG), collected, tabulated the information (AGM, ACP, CLG), carried out the bibliographic search (AGM, MILC, HCC, MAV), interpreted the statistical results (CCR, ACP), helped in the development of the discussion (AGM, LCR, CCR, CLG), performed the critical review of the manuscript (CCR, GGL, LCG, CLG, MLC). All authors read and approved the final version of the manuscript.

Funding

Self-financed.

Availability of data and materials

The data recorded in this study are available as supplementary material in this paper.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

This study, being an in vitro study, was exempted from review by an ethics committee. However, his execution was approved with resolution No.1199-2021-CIEI-UPSJB dated Oct 24, 2021.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no conflict of interest with the development and publication of this research.

Author details

¹School of Stomatology, Universidad Privada San Juan Bautista, Lima, Peru. ²Grupo de Investigación Salud y Bienestar Global, Postgraduate School, Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Peru. ³Faculty of Stomatology, Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Lima, Peru.

Received: 30 January 2022 Accepted: 17 June 2022

Published online: 26 June 2022

References

- Cayo C, Carrillo A. Marginal sealing applying sodium hypochlorite versus phosphoric acid as dental conditioner. *Rev Cubana Estomatol.* 2020;57(1):e2872.
- Borges M, Silva G, Neves F, Soares C, Faria-E-Silva A, Carvalho R, Menezes M. Oxygen inhibition of surface composites and its correlation with degree of conversion and color stability. *Braz Dent J.* 2021;32(1):91–7. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202103641>.
- Paolone G, Moratti E, Goracci C, Gherlone E, Vichi A. Effect of finishing systems on surface roughness and gloss of full-body bulk-fill resin composites. *Mater (Basel).* 2020;13(24):1–9. <https://doi.org/10.3390/ma13245657>.
- Ishii OR, Takamizawa T, Tsujimoto A, Suzuki S, Imai A, Barkmeier W, Latta M, Miyazaki M. Effects of finishing and polishing methods on the surface roughness and surface free energy of bulk-fill resin composites. *Oper Dent.* 2020;45(2):E91–104. <https://doi.org/10.2341/18-246-L>.
- Tomaselli L, Oliveira D, Favarão J, Silva A, Pires-de-Souza F, Geraldelli S, Sinhoreti M. Influence of pre-heating regular resin composites and flowable composites on luting ceramic veneers with different thicknesses. *Braz Dent J.* 2019;30(5):459–66. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902513>.
- Pratap B, Gupta R, Bhardwaj B, Nag M. Resin based restorative dental materials: characteristics and future perspectives. *Jpn Dent Sci Rev.* 2019;55(1):126–38. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2019.09.004>.
- Kusuma H, Rinastiti M, Cune M, de Haan-Visser W, Atemat J, Busscher H, van der Mei H. Biofilm composition and composite degradation during intra-oral wear. *Dent Mater.* 2019;35(5):740–50. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.02.024>.
- Cayo C, Lancari L, Mendoza R, Cervantes L. Marginal filling and adhesive resistance of bulk fill resin applying 18% edta gel compared with 37% phosphoric acid gel in vitro dental conditioning. *J Oral Res.* 2019;8(3):228–35.
- Soliman H, Elkholy N, Hamama H, El-Sharkawy F, Mahmoud S, Comisi J. Effect of different polishing systems on the surface roughness and gloss of novel nanohybrid resin composites. *Eur J Dent.* 2021;15(2):259–65. <https://doi.org/10.1055/s-0040-1718477>.
- Ramirez G, Medina J, Aliaga A, Ladera M, Cervantes L, Cayo C. Effect of polishing on the surface microhardness of nanohybrid composite resins subjected to 35% hydrogen peroxide: an in vitro study. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2021;11(2):216–21. https://doi.org/10.4103/jispcd.JISPCD_9_21.
- Rodrigues S, Chemin P, Plaia P, Ferracane J. Surface roughness and gloss of actual composites with different polishing systems. *Oper Dent.* 2015;40(4):418–29. <https://doi.org/10.2341/14-014-L>.
- St-Pierre L, Martel C, Crépeau H, Vargas M. Influence of polishing systems on surface roughness of composite resins: polishability of composite resins. *Oper Dent.* 2019;44(3):122–32. <https://doi.org/10.2341/17-140-L>.
- Bansal K, Gupta S, Nikhil V, Jaiswal S, Jain A, Aggarwal N. Effect of different finishing and polishing systems on the surface roughness of resin composite and enamel: an in vitro profilometric and scanning electron microscopy study. *Int J Appl Basic Med Res.* 2019;9(3):154–8. https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR_11_19.
- Ozgünaltay G, Yazici A, Görücü J. Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of new tooth-coloured restoratives. *J Oral Rehabil.* 2003;30(2):218–24. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.2003.01022.x>.
- Zhang L, Yu P, Wang X. Surface roughness and gloss of polished nano-filled and nanohybrid resin composites. *J Dent Sci.* 2021;16(4):1198–203. <https://doi.org/10.1016/j.jds.2021.03.003>.
- Tangkudung MU, Trilaksana AC. Glycerin for resin composite restoration. *Makassar Dent J.* 2019;8(3):169–73.
- Panchal A, Asthana G. Oxygen inhibition layer: a dilemma to be solved. *J Conserv Dent.* 2020;23(3):254–8. https://doi.org/10.4103/JCDJCD_325_19.
- Babina K, Polyakova M, Sokhova I, Doroshina V, Arakelyan M, Novozhilova N. The effect of finishing and polishing sequences on the surface roughness of three different nanocomposites and composite/enamel and composite/cementum interfaces. *Nanomater (Basel).* 2020;10(7):1339. <https://doi.org/10.3390/nano10071339>.
- Madhyastha PS, Hegde S, Srikant N, Kotian R, Iyer SS. Effect of finishing/polishing techniques and time on surface roughness of esthetic

- restorative materials. *Dent Res J (Isfahan)*. 2017;14(5):326–30. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.215962>.
20. Aljamhan A, Habijb A, Alsarhan M, AlZahrani B, AlOtaibi H, ALSunaidi N. Effect of finishing and polishing on the surface roughness of bulk fill composites. *Open Dent J*. 2021;15:25–32. <https://doi.org/10.2174/1874210602115010025>.
 21. Khudhur HA, Bakr DK, Saleem SS, Mahdi SF. Compression of surface roughness of different bulk-fill composite materials using one-step polishing systems (an in-vitro study). *J Hunan Univ Nat Sci*. 2022;49(1):120–8.
 22. Krithikadatta J, Gopikrishna V, Datta M. CRIS guidelines (checklist for reporting in-vitro studies): a concept note on the need for standardized guidelines for improving quality and transparency in reporting in-vitro studies in experimental dental research. *J Conserv Dent*. 2014;17:301–4.
 23. ISO 4049:2019-Dentistry-polymer-based restorative materials [Accessed 03 Jan 2022]. Available from: <https://www.iso.org/standard/67596.html>.
 24. Lassila L, Dupont A, Lahtinen K, Vallittu PK, Garoushi S. Effects of different polishing protocols and curing time on surface properties of a bulk-fill composite resin. *Chin J Dent Res*. 2020;23(1):63–9. <https://doi.org/10.3290/j.cjdr.a44337>.
 25. Strnad G, Kovacs M, Andras E, Beresescu L. Effect of curing, finishing and polishing techniques on microhardness of composite restorative materials. *Procedia Technol*. 2015;19:233–8.
 26. Tsujimoto A, Barkmeier W, Takamizawa T, Latta M, Miyazaki M. Influence of the oxygen-inhibited layer on bonding performance of dental adhesive systems: surface free energy perspectives. *J Adhes Dent*. 2016;18(1):51–8. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a35515>.
 27. Da Costa G, Melo A, De Assunção I, Borges B. Impact of additional polishing method on physical, micromorphological, and microtopographical properties of conventional composites and bulk fill. *Microsc Res Tech*. 2020;83(3):211–22. <https://doi.org/10.1002/jemt.23404>.
 28. Jones C, Billington R, Pearson G. Laboratory study of the loads, speeds and times to finish and polish direct restorative materials. *J Oral Rehabil*. 2005;32:686–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2842.2005.01487.x>.
 29. 3M ESPE S.A. Sof-Lex. Product technical profile finishing and polishing systems [Accessed 10 Jan 2022]. Available from: <https://multimedia.3m.com/mws/media/1802940/sof-lex-technical-profile.pdf>.
 30. Kılıç V, Gök A. Effect of different polishing systems on the surface roughness of various bulk-fill and nano-filled resin-based composites: an atomic force microscopy and scanning electron microscopy study. *Microsc Res Tech*. 2021;84(9):2058–67. <https://doi.org/10.1002/jemt.23761>.
 31. Di Francescantonio M, Rocha R, Rodrigues T, Cidreira L, Ruggiero R, Martins A, Giannini M. Evaluation of composition and morphology of filler particles in low-shrinkage and conventional composite resins carried out by means of SEM and EDX. *J Clin Dent Res*. 2016;13(1):49–58. <https://doi.org/10.14436/2447-911x.13.1.049-058.oar>.
 32. Fronza B, Rocha R, Ayres A, Martins A, Rueggeberg F, Giannini M. Inorganic composition and filler particles morphology of bulk fill composite. *Dent Mater*. 2013;29(S1):e47. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.08.097>.
 33. Patel B, Chhabra N, Jain D. Effect of different polishing systems on the surface roughness of nano-hybrid composites. *J Conserv Dent*. 2016;19(1):37–40. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.173192>.
 34. FGM. Opus bulk fill APS | FGM [Internet]. 2020. Disponible en: <https://fgmdental.es/producto/composite-baja-tension-contraccion-opus-bulk-fill-aps/>.
 35. Marigo L, Nocca G, Fiorenzano G, Callà C, Castagnola R, Cordaro M, et al. Influences of different air-inhibition coatings on monomer release, microhardness, and color stability of two composite materials. *Biomed Res Int*. 2019;2019(4240264):1–8. <https://doi.org/10.1155/2019/4240264>.
 36. ISO 1302:2002. Geometrical product specifications (GPS). Indication of surface texture in technical product documentation [Accessed 09 Jul 2021]. Available from: <https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:1302:en>.
 37. Midobuche PEO, Zermeño LMT, Guizar MJM, et al. Determinación de la calidad de pulido de resinas de nanorelleno empleando un microscopio de fuerza atómica. *Rev ADM*. 2016;73(5):255–62.
 38. Bayrak GD, Sandalli N, Selvi-Kuvvetli S, Topcuoglu N, Kulekci G. Effect of two different polishing systems on fluoride release, surface roughness and bacterial adhesion of newly developed restorative materials. *J Esthet Restor Dent*. 2017;29(6):424–34. <https://doi.org/10.1111/jerd.12313>.
 39. Cayo C, Hernández K, Aliaga A, Ladera M, Cervantes L. Microleakage in class II restorations of two bulk fill resin composites and a conventional nanohybrid resin composite: an in vitro study at 10,000 thermocycles. *BMC Oral Health*. 2021;21:619.
 40. Gutierrez A, Pomacondor C. Depth of cure comparison of bulk-fill resin composites with two LED light-curing units: polywave versus monowave. *Odontol Sanmarquina*. 2020;23(2):131–8. <https://doi.org/10.15381/os.v23i2.17757>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions

