



Universidad Autónoma del Estado de México

“EFECTO EN LA MICRODUREZA DE RESINAS COMPUESTAS APLICANDO UN RECUBRIMIENTO DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA INMERSAS EN UN ADHESIVO HIDROFÍLICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

CIRUJANO DENTISTA

PRESENTAN

P.C.D. ALEJANDRA ITZEL LÓPEZ FLORES

P.C.D. ANDREA GONZÁLEZ FLORES

DIRECTORES DE TESIS

DR. EN O. ROGELIO JOSÉ SCUGALL VILCHIS

DR. EN EST. VICTOR HUGO TORAL RIZO

REVISORES DE TESIS

DRA. EN C.S. EDITH LARA CARRILLO

DR. EN C.S. ULISES VELÁZQUEZ ENRÍQUEZ

TOLUCA, MÉXICO



SEPTIEMBRE 2018

2017-2021

FO

Facultad de Odontología

ÍNDICE

	CONTENIDO	Pág.
	RESUMEN	5
1	INTRODUCCIÓN	7
2	ANTECEDENTES	9
3	NANOTECNOLOGÍA	9
	3.1 APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL ÁREA DE LA SALUD	9
	3.2 CRONOLOGÍA DE HECHOS QUE MARCARON EL SURGIMIENTO DE LA NANOTECNOLOGÍA	10
	3.3 NANOMEDICINA	11
	3.4 TERAPÉUTICA DE LA NANO-ODONTOLOGÍA	11
	3.5 NANOPARTÍCULAS EN ODONTOLOGÍA.	12
	3.6 TIPOS DE NANOPARTÍCULAS APLICADAS EN ODONTOLOGÍA	13
	3.6.1 Nanopartículas de Sílice	13
	3.6.2 Nanocristales	13
	3.6.3 Cerámica moldeable Nano optimizada	13
	3.6.4 Nanopartículas metálicas	14
	3.6.5 Nanopartículas de Oro (NPs Au)	14
	3.6.6 Nanopartículas de Plata (NPs Ag)	14
	3.7 APLICACIONES DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA (NPs Ag)	15
	3.8 PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS DE LAS NANOPARTÍCULAS	16
	3.9 PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA (NPs Ag) EN ODONTOLOGÍA	16
	3.10 RESINAS COMPUESTAS	17
	3.11 RESUMEN HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS	18

3.12	DEFINICIONES	19
3.12.1	Resina compuesta dental	19
3.12.2	Compuesto	19
3.12.3	Fotopolimerización	19
3.13	INDICACIONES PARA EL USO DE LAS RESINAS COMPUESTAS	19
3.14	REQUISITOS Y PROPIEDADES DE LAS RESINAS COMPUESTAS:	20
3.14.1	Selección de color	21
3.14.2	Consistencia	21
3.14.3	Susceptibilidad de pulido	21
3.14.4	Propiedades mecánicas	21
3.14.5	Absorción de agua/solubilidad	21
3.14.6	Contracción de polimerización	22
3.14.7	Estabilidad cromática	23
3.14.8	Resistencia a la abrasión	23
3.14.9	Radiopacidad	24
3.15	CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS	24
3.16	COMPOSICIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS	29
3.17	FACTORES QUE FAVORECEN LA ADHESIÓN	31
3.18	ADHESIVOS DENTALES	32
3.19	CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS DENTALES	32
3.20	DUREZA SUPERFICIAL DE LAS RESINAS COMPUESTAS	35
3.21	MÉTODOS DE MEDICIÓN DE DUREZA	36
3.22	MÉTODO DE DUREZA VICKERS	39
3.22.1	Operación del probador Vickers	39
3.23	COLOR	40
3.23.1	Opacidad, translucidez y transparencia	41
3.24	MODIFICADORES ÓPTICOS DE LAS RESINAS	42
4	PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	43
5	JUSTIFICACIÓN	45
6	OBJETIVOS	46

7	HIPÓTESIS	47
8	MARCO METODOLÓGICO	48
	8.1 Diseño de la investigación	48
	8.2 Material y equipo	48
	8.3 Unidad de estudio	52
	8.4 Procedimiento	53
	8.5 Análisis estadístico	62
9	RESULTADOS	65
10	DISCUSIÓN	69
11	CONCLUSIONES	72
12	SUGERENCIAS	73
13	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.	74

RESUMEN

Las resinas compuestas son polímeros utilizados comúnmente en la odontología, aparecieron con el fin de sustituir a los silicatos y resinas acrílicas; los cuales requieren un índice apropiado para resistir fuerzas durante su uso en boca. La nanotecnología está dirigida a la fabricación de nanopartículas con propiedades únicas, y las nanopartículas de plata (NPs Ag) son nanomateriales comúnmente utilizados que ayudan a mejorar las propiedades físicas o mecánicas de los materiales comúnmente utilizados en la odontología.

Objetivo: Conocer el efecto que tienen las nanopartículas de plata en la microdureza Vickers de las resinas compuestas.

Metodología: Se realizó un total de 15 bloques de resina compuesta en moldes cúbicos de teflón de 10mm de diámetro por 1mm de grosor, 5 fabricados con resina compuesta *per sé*, 5 fabricados de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico, 5 fabricados de resina compuesta con un recubrimiento de nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico. Se evaluó el cambio de color de los 5 bloques fabricados de resina compuesta con un recubrimiento de nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico en comparación con los 5 bloques fabricados de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico.

En cada grupo se evaluaron un total de 50 indentaciones para medir la microdureza Vickers. En el análisis estadístico, se realizó utilizando la prueba ANOVA comparados con el método de Scheffé, para resolver el problema de comparaciones múltiples.

Resultados: Se encontró que en el tercer grupo (GIII), la aplicación de un recubrimiento de nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico fue significativamente superior el valor de microdureza Vickers comparado con los otros dos grupos de estudio. Y en el segundo grupo (GII) se demostró que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico disminuye su valor microdureza Vickers en los bloques de resina compuesta.

De igual manera se observó al evaluar el cuarto grupo (GIV) en cuanto a cambio de color, la presencia de pigmentaciones de color blanco sobre los bloques de resina compuesta en los cuales fue aplicado un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un adhesivo hidrofílico, con respecto al grupo dos (GII), en el cual únicamente solo colocó un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico y no hubo diferencia de color considerable.

Conclusiones: Al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico con nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en el mismo, aumenta la microdureza Vickers significativamente en los bloques de resina compuesta analizados. Así mismo se muestra que en el segundo grupo (GII) el valor promedio es menor en comparación del primer grupo (GI) y el segundo grupo (GII) se demostró que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico disminuye microdureza Vickers en los bloques de resina compuesta. De igual manera se demostró que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico con nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en éste, se observa un cambio de color significativo en cuanto a su superficie donde fue colocado.

Palabras clave: nanopartículas, plata, microdureza, resinas compuestas, color.

1. INTRODUCCIÓN

Mediante el uso de la nanotecnología innovadora, los logros en el campo de los materiales dentales hicieron su aparición en las resinas compuestas comerciales y adhesivas, selladores de conductos radiculares para tratamientos endodónticos, resinas acrílicas para prótesis totales, selladoras de fosas y fisuras etc. Estos materiales se utilizan en ciertos campos de la odontología para diferentes propósitos y afirman tener mejores propiedades.

La nanotecnología está dirigida a la fabricación de nanopartículas con propiedades únicas. Como en las resinas compuestas, se dirige al desarrollo de éstas, con propiedades mecánicas mejoradas, amplía la vida útil de la restauración u obturación. El mejoramiento adicional de resinas compuestas tiene como resultado un material restaurativo con propiedades antibacterianas.

Los sistemas de biomateriales restaurativos avanzados con nanorelleno tienen el potencial de mejorar esta relación entre la estructura dentaria y las partículas de relleno y proporcionan una interfaz más estable y natural entre los tejidos duros mineralizados del diente.

Las resinas compuestas son materiales poliméricos compuestos por tres componentes principales. Dos de ellos se basan en la matriz orgánica e inorgánica, y el otro se basa en un agente de acoplamiento para unir la matriz orgánica representada por el material de relleno. El agente de acoplamiento podría ser definido como una molécula que contiene Silano en un extremo formando un enlace iónico con el óxido de Silano (SiO_2) y grupos metacrilato en el otro extremo (formando un enlace covalente con la resina).¹

El color es una característica primordial en odontología, y tiene suma importancia en los materiales dentales de obturación ya que existe una relación entre la percepción del aspecto físico del mismo y el ojo humano.

Es importante el conocer nuevas opciones para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y estéticas de los materiales dentales.

Por lo cual el objetivo de este estudio fue: conocer el efecto que tienen las Nanopartículas de plata (NPs Ag) en la microdureza Vickers de las resinas compuestas y si existe un cambio de color al aplicar dicho recubrimiento.

En el presente estudio se evaluó el efecto que tiene el aplicar un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico para determinar si hay diferencia en el valor de la microdureza Vickers de las resinas compuestas, comparando 3 grupos, siendo estos, la resina compuesta *per sé*, ésta misma aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico y tercer grupo mencionado anteriormente en cual se aplicó un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico así poder determinar si ésta es una opción para aumentar la dureza de dichas resinas compuestas.

Se evaluó de igual manera el cambio de color de la resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico con respecto al grupo en el cual únicamente solo colocó un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico.

1. ANTECEDENTES

2. NANOTECNOLOGÍA

La Nanotecnología se puede definir como "El estudio de los materiales o estructuras muy pequeños". Sin embargo, para crear pequeñas estructuras, la nanotecnología implica el desarrollo de nuevos materiales, dispositivos y sistemas con propiedades físicas, químicas y biológicas que son diferentes de las de estructuras a gran escala. La nanotecnología es por lo tanto una tecnología prometedora de nivel molecular con una plétora de aplicaciones científicas, áreas industriales y médicas.¹

El prefijo "nano" proviene del griego y significa "enano". Usualmente se emplea la palabra "Nanociencia" para referirse al estudio de los fenómenos y el manejo de la materia a escala nanométrica (un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro; un nano=0.000000001), mientras que la nanotecnología se encarga del estudio, creación, diseño, síntesis, identificación, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas a través del control de la materia en dimensiones cercanas al intervalo de 1-100 nanómetros, así como de la exploración de fenómenos y propiedades de la materia a dicha escala. La nanotecnología molecular, genera materiales funcionales por medio de técnicas fisicoquímicas.²

3.1 APLICACIONES DE LA NANOTECNOLOGÍA EN EL ÁREA DE LA SALUD

La Nanotecnología ha sido empleada en muchas aplicaciones, incluida la Odontología, donde desempeña un papel importante en el diagnóstico, materiales dentales y diferentes técnicas terapéuticas.¹

La Nanotecnología está permitiendo un gran aporte en el desarrollo de nuevo mecanismos y materiales en la medicina oral. La aplicación de la Nanotecnología en las ciencias de la vida se da mediante la elaboración de robots, sensores y diversos instrumentos implantados en el cuerpo humano, que puedan ser aplicados para el tratamiento del tejido afectado.²

Durante los últimos años la Odontología a nivel mundial ha tenido progresos significativos que han permitido mejorar la calidad de vida de millones de personas. La generación de nuevos medicamentos, la utilización de tecnología avanzada para apoyar el diagnóstico y el tratamiento, han revolucionado la forma de atender y comprender a los pacientes.²

La Nanotecnología puede desempeñar un papel importante en la mejora de esta continuidad entre la estructura dental y los biomateriales restauradores, desarrollando sistemas que obtienen una forma más estable y natural en la interfaz con los tejidos duros mineralizados del diente.¹

3.2 CRONOLOGÍA DE HECHOS QUE MARCARON EL SURGIMIENTO DE LA NANOTECNOLOGÍA

De acuerdo con la definición de la Iniciativa Nacional de Nanotecnología, la Nanotecnología es la manipulación de diferentes materiales para diferentes propósitos a nanoescala. La capacidad de organizar los átomos como lo deseamos y, posteriormente, para lograr un efecto eficaz, el control completo de la estructura de la materia es posible a través de la nanotecnología. Según Ozbay en el 2006, los propósitos de la Nanotecnología son permitir el análisis de estructuras usando la nanoescala, para comprender mejor las propiedades de las estructuras en nanoescala, para fabricar nanoestructuras, para desarrollar diferentes dispositivos bajo nanoprecisión, y establecer un enlace entre nano y dimensiones macroscópicas por métodos apropiados.¹

Richard Feynman en 1959, fue el primero en hacer referencia de las posibilidades de la nanociencia y la nanotecnología en su discurso que dio en el Instituto Tecnológico de California, titulado “En el fondo hay espacio de sobra”. Eric Drexler fundador del Instituto Foresight en 1980, implantó por primera vez el término “nanotecnología”. Gerd Binnig y Heinrich Rohrer, diseñaron y fabricaron el microscopio de efecto túnel (premio Nobel de física, 1986). Este consiste básicamente en visualizar átomos como entidades independientes.²

3.3 NANOMEDICINA

La Nanomedicina puede superar muchos problemas médicos importantes. Avances en la nanotecnología médica ha resultado en un nuevo campo llamado "Nanomedicina" Robert A. Freitas Jr. describió por primera vez este concepto en 1993, y lo definió como la observación, el control y el tratamiento de los sistemas biológicos del cuerpo humano a nivel molecular utilizando nanoestructuras y nanodispositivos. Similar a la Nanomedicina, se espera que la Nanotecnología aplicada a la Odontología permita una salud oral casi perfecta mediante el uso de nanomateriales y biotecnologías, incluida la ingeniería de tejidos y diferentes tecnologías tales como nanorobots.¹

3.4 TERAPÉUTICA DE LA NANO-ODONTOLOGÍA

La Nano-odontología es la aplicación odontológica de la Nanotecnología, que permitirá el uso de instrumentos de investigación útiles, nuevas vías y mecanismos avanzados de liberación de moléculas y/o medicamentos, para la reparación de tejidos dañados.²

A la Nano-odontología se le puede establecer como propósito el control, rastreo, construcción, reparación, protección y mejoramiento del funcionamiento bucal. En este contexto, la Nano-odontología hace uso de sistemas nanométricos adecuados para integrarse en microdispositivos o a un medio biológico, para realizar una función. Con todos estos avances, hoy en día los especialistas de Odontología tienen un gran interés por seguir investigando más acerca de las moléculas o materiales orgánicos llamados "Biomateriales", que son elementos compatibles con el cuerpo humano que se usan para construir órganos artificiales, sistemas de rehabilitación, prótesis o para reemplazar tejidos lesionados. Así mismo, implementar la aplicación de métodos y técnicas nanotecnológicas para encontrar alternativas terapéuticas, o la creación de estructuras nanodiseñadas para liberación de medicamentos.²

La última innovación en este campo ha sido la introducción de materiales de nanorelleno, mediante la combinación de escala nanométrica, partículas y nanoagrupamientos en una matriz de resina convencional. Dado que estos nanorellenos no se dispersan, ni absorben la luz visible, pueden proporcionar un método para incorporar radioopacidad en un material sin interferir con su estética. También permite una alta carga de relleno, con la consecuente reducción en la contracción de la polimerización. Además, la posibilidad de aumentar de una manera tan enorme, la adhesión de biomateriales restauradores para la dentina y el esmalte, es un factor clave en la fiabilidad y longevidad de las restauraciones adhesivas.¹

3.5 NANOPARTÍCULAS EN ODONTOLOGÍA.

Las nanopartículas han sido introducidas como materiales con un buen potencial para ser usados de una manera extensa en aplicaciones biológicas y médicas.³

Las nanopartículas son otra opción que ha comenzado a tener un rol destacado tanto en la Medicina como en la Odontología; por ejemplo, existen aplicaciones concretas como la de las nanopartículas de plata que se utilizan como una alternativa más segura en empastes dentales ya que poseen propiedades antidesgaste, antifúngicas y antibacterianas.²

Las nanopartículas se han propuesto como sistemas de administración de fármacos para el control de caries y restauración, remineralización dental, manejo de la hipersensibilidad dentinaria, vacuna contra la caries dental, manejo del biofilm oral, desinfección de los conductos radiculares, anestesia local, e infección periodontal. Por ejemplo, las nanopartículas mejoran tratamientos para enfermedades de estructuras dentales y orales. Se propuso que las nanopartículas pueden ser entregadas selectivamente a sitios o células objetivo. Una de las aplicaciones más importantes de las nanopartículas en Odontología es el tratamiento de la enfermedad periodontal.¹

3.6. TIPOS DE NANOPARTÍCULAS APLICADAS EN ODONTOLOGÍA

3.6.1 Nanopartículas de Sílice

En la última década, las nanopartículas de Sílice, por ejemplo, Aerosil (Degussa), HDK (Wacker), y Cab-O-Sil (Cabot Corp.) se han propuesto como rellenos a nanoescala para mejorar las resinas dentales. Estos pueden mejorar el comportamiento reológico, resistencia al rayado / abrasión y dureza superficial de los productos finales. Las partículas de sílice del tamaño de nanómetros se han agregado a algunos adhesivos para reforzar el adhesivo y así producir mayores fuerzas de unión. Sin embargo, el efecto fortalecedor de los rellenos en adhesivos es incierto porque no está claro si estos rellenos realmente pueden penetrar en las redes de colágeno desmineralizado, ya que el espacio interfibrilar de las redes de colágeno está dentro del rango de 20nm, mientras que las partículas de relleno tienen un tamaño de aproximadamente 40nm.

3.6.2 Nanocristales

Nanocristales de nitrato de potasio, sales de calcio solubles en agua, fluoruro de calcio e hidroxiapatita sustituida con carbonato han sido propuestas como sustancias activas para el tratamiento de la sensibilidad dentinaria, remineralización de las superficies dentales e inhibición de la caries. Los nanocristales se pueden formular como compuestos para la higiene bucal o dental, como soluciones, suspensiones, aceites, resinas u otros productos sólidos. El efecto mejorado de los nanocristales en comparación con sus polvos se puede explicar por su pequeño tamaño, lo que les permite infiltrarse y penetrar en los túbulos dentinarios o superficies porosas de los dientes, formando un depósito terapéutico.

3.6.3 Cerámica moldeable Nano optimizada

Para optimizar la cerámica moldeable, algunos materiales basados en Nanotecnología pueden ser usados. De esta manera, nanorellenos y nanopigmentos podrían ser utilizados para mejorar la capacidad de acabado, pulido y reducir el desgaste, ajustar el color de los rellenos a los dientes restantes, y aumentar la estabilidad del material y evitar que se pegue a los instrumentos. ¹

3.6.4 Nanopartículas metálicas

Las nanopartículas metálicas, de menos de 100nm, se han estudiado ampliamente debido a su singularidad y características fisicoquímicas con mayor actividad catalítica y antimicrobiana en comparación con los metales a granel. Los principales riesgos para la salud relacionados con el uso de tales partículas consisten en citotoxicidad, translocación a células no deseadas, imprevisibilidad, y preocupaciones de seguridad indeterminadas. Algunas nanopartículas de metal como Cobre, Cobalto, Óxido de Titanio y Óxido de Silicio mostraron una mayor toxicidad debido a su aumento de área superficial, causando efectos inflamatorios en las células.¹

Las nanopartículas metálicas son las más prometedoras ya que muestran buenas propiedades antibacterianas debido a su gran área de superficie a relaciones de volumen, lo que atrae el creciente interés de los investigadores debido al aumento de la resistencia microbiana contra los iones metálicos, los antibióticos y el desarrollo de cepas resistentes.³

3.6.5 Nanopartículas de Oro (NPs Au)

El oro ha mostrado un efecto antimicrobiano débil o nulo contra muchos microorganismos. Algunos grupos de investigación han informado que las mezclas de nanopartículas de oro con antibióticos dan como resultados materiales con propiedades bactericidas mejoradas. El efecto ha sido comparado con antibióticos tales como la Mupirocina.⁴

3.6.6 Nanopartículas de Plata (NPs Ag)

La plata se ha utilizado desde la antigüedad para controlar la infección. Plata, iones de plata, y los compuestos de plata tienen una fuerte actividad antibacteriana contra diferentes microorganismos, incluida *Escherichia Coli*. La toxicidad de los compuestos de plata, incluso a bajas concentraciones, ha sido una cuestión de discusión.¹

La introducción de materiales restauradores antibacterianos posiblemente puede ayudar a superar las limitaciones de los materiales restaurativos contemporáneos.

Los materiales de ortodoncia que contienen plata, adhesivos, resina compuesta, materiales de revestimiento suave de la dentadura han sido investigados recientemente.⁴

La incorporación de nanopartículas de plata (NPs Ag) disminuye o aumenta la resistencia a la flexión de la base de la prótesis acrílica de curado térmico siendo influenciadas por la concentración de nanopartículas de plata (NPs Ag). Numerosos investigadores han estudiado las nanopartículas de plata (NPs Ag) y su contenido en propiedades antifúngicas y antibacterianas en la base de prótesis realizada con resina acrílica. Sugirieron que estas nanopartículas sirven como buenos agentes antifúngicos y antibacterianos.⁵

3.7 APLICACIONES DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA (NPs Ag)

Las nanopartículas de plata (NPs Ag) están siendo utilizadas como una alternativa a en los componentes restauradores dentales en áreas de los dientes que soportan mucha tensión masticatoria, lo que exige una gran resistencia del material restaurador contra restauración/fractura dental. Los notables beneficios que estas nanopartículas presentan las mejores propiedades antifúngicas resistentes al desgaste que han permitido su uso en la Odontología restauradora clínica.¹

La plata ha encontrado aplicación versátil en la atención de la salud humana. Su larga historia incluye purificación de agua, cuidado de heridas, prótesis óseas, cirugía ortopédica reconstructiva, dispositivos cardíacos, catéteres y aparatos quirúrgicos.⁴

Recientes estudios realizados durante el 2012 al 2017 *in vitro* revelan la excelente actividad antimicrobiana de las Nanopartículas de Plata (NPs Ag), cuando están asociadas con materiales dentales como nanocompuestos, resinas acrílicas, monómeros de resina, adhesivos, medicación intraconducto y recubrimientos para implantes. Además, se demostró que las nanopartículas de plata (NPs Ag) son herramientas interesantes en el tratamiento de cánceres orales debido a sus propiedades antitumorales.⁶

3.8 PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS DE LAS NANOPARTÍCULAS

Los posibles usos de nanopartículas como agentes de aplicación tópica dentro de materiales dentales y la aplicación de nanopartículas en el control de infecciones orales son importantes para la Nano-odontalgia. Las nanopartículas inorgánicas y sus nanocompuestos se aplican como buenos agentes antibacterianos. Debido al brote de enfermedades infecciosas causadas por diferentes bacterias patógenas y al desarrollo de resistencia a los antibióticos, las compañías farmacéuticas y los investigadores están buscando nuevos agentes antibacterianos. Las nanopartículas metálicas pueden usarse como inhibidores de crecimiento efectivos en diversos microorganismos y; por lo tanto, son aplicables a diversos dispositivos médicos. La Nanotecnología revela el uso de nanopartículas elementales como ingrediente antibacteriano activo para materiales dentales. En Odontología, se cree que tanto los materiales de restauración como las bacterias orales son responsables del fracaso de la restauración. La causa principal del fracaso de la restauración es la caries secundaria. La caries secundaria es causada principalmente por la invasión de bacterias de la placa (bacterias productoras de ácido) tales como *Streptococcus mutans* en presencia de carbohidratos fermentables. Para hacer restauraciones de larga duración, se deben crear materiales con propiedades antibacterianas. El potencial de las nanopartículas para controlar la formación de biofilm dentro de la cavidad oral también está siendo objeto de un escrutinio creciente.³

3.9 PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS DE LAS NANOPARTÍCULAS DE PLATA (NPs Ag) EN ODONTOLOGÍA

Las nanopartículas de plata (NPsAg) se han estudiado ampliamente por sus propiedades antimicrobianas, que proporcionan una extensa aplicabilidad en Odontología.⁶

Debido a este creciente interés de las nanopartículas de plata (NPsAg), el objetivo para el estudio de sus propiedades es revisar su uso en nanocompuestos; recubrimientos de implantes; preformulación con actividad antimicrobiana contra

patógenos cariogénicos, biofilm periodontal, patógenos fúngicos y bacterias endodónticas; y otras aplicaciones como el tratamiento del cáncer oral y la anestesia local.⁶

La acción antimicrobiana, antifúngica y antiviral de la plata o compuestos de plata es proporcional a la cantidad de iones de plata liberados y su disponibilidad para interactuar con las membranas celulares microbianas.⁴

Se cree que los materiales de resina compuesta de nanorelleno ofrecen excelente desgaste resistencia, fuerza y estética final debido a su excepcional capacidad de pulido y retención de brillo.¹

3.10 RESINAS COMPUESTAS

Durante la primera mitad del Siglo XX, los únicos materiales que tenían color del diente y podían ser empleados como materiales de restauración estética eran los silicatos. A pesar de que liberaban flúor, no se emplearon en dientes permanentes, debido a que en pocos años sufrían un desgaste importante. Las resinas acrílicas muy parecidas a las que se utilizan para cubetas individuales y para dentaduras (polimetilmetacrilato) reemplazaron a los silicatos a finales de los años 40 y principios de los 50, debido a su parecido con el diente, su insolubilidad en los fluidos orales, su facilidad de manipulación y bajo costo.⁷

Desgraciadamente las resinas acrílicas, también presentan una resistencia al desgaste baja; presentan una contracción de polimerización alta lo que hace que se caiga de las paredes de la preparación y que tenga una filtración marginal elevada.⁷

Las resinas compuestas aparecieron con el fin de sustituir a los silicatos y resinas acrílicas, que hasta antes de los sesenta eran los únicos materiales utilizados para restauración estética en dientes anteriores. La acidez tan alta de los cementos de Silicato y la inestabilidad volumétrica de las resinas acrílicas fue la principal razón para buscar materiales sustitutos.⁸

El Doctor estadounidense Rafael L. Bowen desarrolló en los años sesenta una molécula orgánica polimérica que tiene menos cambios dimensionales llamada “Bisfenol A Glicidil dimetacrilato (BIS-GMA)” Y que con el agregado de partículas inorgánicas reduce aún más el cambio dimensional aumentando su resistencia.⁸

Los esfuerzos de Bowen en la síntesis de un polímero reforzado de características notables en cuanto a propiedades físico-mecánicas, para ser usado como material restaurador estético se ven compensados, por el cual se le recuerda como “El padre de las resinas compuestas”.⁹

Esta mezcla de material orgánico y material inorgánico tratado con un silano orgánico funcional para poder unirse con el orgánico es lo que recibe el nombre de resina compuesta. La norma que corresponde a este grupo de materiales es la norma 27 de la ADA (American Dental Association).⁸

3.11 RESUMEN HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS

1941 Sistema iniciador peróxido-amina.

1950 Resinas acrílicas.

1962 Monómero de Bowen.

1963 Primer compuesto de macrorelleno (cuarzo).

1970 Sistema iniciador por la luz UV para uso odontológico.

1974 Introducción de los microrellenos.

1977 Primer microrelleno para uso en dientes anteriores, primer compuesto curado por luz visible.

1980 Primer híbrido.

1982 Compuesto para incrustaciones.

1983 Macrorellenos altamente cargados para uso odontológico.

1984 Compuestos microrellenos radiopacos.

1996 Resinas compuestas fluidas.

1998 Resinas compuestas empacables.

2000 Resinas compuestas de nanorrelleno.¹⁰

3.12 DEFINICIONES

3.12.1 Resina compuesta dental: Material con una gran densidad de entrecruzamientos poliméricos, reforzados por una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de relleno cristalinas u orgánicas y/o pequeñas fibras que se unen a la matriz gracias a un agente de conexión.⁷

3.12.2 Compuesto: En el campo de la odontología se define como una pasta de material restaurador basado en resinas que actúan como aglutinador orgánico, monomérico, que contiene al menos 60% de relleno inorgánico, junto con un sistema que produce la polimerización.¹⁰

3.12.3 Fotopolimerización: Es la conversión de oligómeros y monómeros a una matriz de polímeros que puede ser iniciada por diferentes medios para formar radicales libres que la inician, que a su vez determinan distintas características mecánicas, físicas y deformación. En las resinas compuestas fotopolimerizables esto ocurre de la siguiente manera: éstas contienen canforoquinonas o dicentonas que, al ser estimuladas por un haz de luz azul (la que proviene de una lámpara para fotopolimerizar) con un intervalo de 430 a 500 nanómetros de longitud de onda, incidirán en los iniciadores y los activarán para que rompan las dobles ligaduras y se dé la polimerización y el endurecimiento.⁸

3.13 INDICACIONES PARA EL USO DE LAS RESINAS COMPUESTAS

Las resinas compuestas se usan para restaurar dientes anteriores y posteriores temporales o permanentes, dientes fracturados, erosiones, para selladores fosas y fisuras y para reconstruir muñones, cementación de brackets, cementación de puentes, incrustaciones, elaboración de coronas y puentes fijos, carillas de dientes anteriores, base de obturaciones y de prótesis.^{8,10}

3.14 REQUISITOS Y PROPIEDADES DE LAS RESINAS COMPUESTAS:

Las resinas compuestas como material de obturación deben cumplir una serie de requisitos:

1. Requisitos de manipulación.
2. Requisitos físico-químicos.
3. Requisitos clínicos.
4. Requisitos toxicológicos.

1. Requisitos de manipulación:

- Fácil selección de color.
- Consistencia óptima (manejo).
- Mínima sensibilidad a la humedad del material no polimerizado.
- Buen pulido.
- Buenas características de polimerización.
- Baja fotosensibilidad.

2. Requisitos físico-químicas:

- Buenas propiedades mecánicas.
- Coeficiente de expansión térmica similar a las estructuras dentarias.
- Mínima o ninguna absorción de agua.
- Mínima o nula solubilidad.
- Mínima o ninguna contracción.
- Alto grado de conversión del monómero.
- Buena estabilidad durante su almacenamiento.

Requisitos clínicos:

3.

- Buena estabilidad en boca.
- Buena coincidencia de color con los tejidos dentarios.
- Buena estabilidad cromática.
- Abrasión similar al esmalte dental.
- Suficiente radiopacidad.
- Muy buena adaptación a los bordes de la preparación.

- Adhesión a los tejidos dentarios.
- Compatibilidad con los sistemas adhesivos dentarios.
- Buena estabilidad de márgenes durante largos periodos.
- Liberación de flúor como valor añadido.
- Mínima o ninguna tendencia a la acumulación de placa.

4. Requisitos toxicológicos:

- Mínimo riesgo toxicológico posible.
- Biocompatibilidad.

3.14.1 Selección de color: Es necesario que tenga un amplio abanico de matices para poder seleccionar colores claros en dientes jóvenes y oscuros en adultos. El producto debe tener al menos entre ocho y diez matices.

3.14.2 Consistencia: Es la capacidad que tienen los compuestos de ser o no pegajosos durante el proceso de obturación y de poder tallarse y mantener una forma estable, así como de buena resistencia debido a la viscosidad. La consistencia le permite al odontólogo adaptar con precisión el material a las paredes de la cavidad y poder tallar en forma anatómica la superficie oclusal. Los compuestos viscosos raramente presentan porosidad.

3.14.3 Susceptibilidad de pulido: Depende en el alto grado del material de relleno, los de microrelleno son los que tienen mejor pulido y alto brillo, los más difíciles son los de macrorelleno, los híbridos tienen un pulido intermedio.

3.14.4 Propiedades mecánicas: No hay una correlación entre propiedades mecánicas y el comportamiento clínico de las resinas compuestas, quizá esto se debe a que las propiedades mecánicas se realizan en el laboratorio en condiciones ideales estandarizadas y se cuestionan si las mismas pueden extrapolarse a las situaciones clínicas.⁷

3.14.5 Absorción de agua/solubilidad: La absorción de agua en la cavidad bucal puede reducir las propiedades físicas y mecánicas de forma clínica relevante. Además del peligro de una debilitación del material debido a la humedad del medio bucal. Puede producir las siguientes modificaciones en los compuestos:

- Aplastamiento temporal de la compensación de contracción de polimerización y de las tensiones de contracción del compuesto.
- Debilitamiento de la unión entre la matriz de polímero y el relleno, con la consecuente disminución de las propiedades físicas y mecánicas del material.
- Disminución de la unión del material a los tejidos dentales, lo que puede producir desajuste marginal, en caso extremo, fracaso de la obturación.
- Empeoramiento del aspecto estético del compuesto, por ejemplo, modificaciones de la translucidez.

Esta se atribuye principalmente a la separación hidrolítica de la unión entre el relleno y el silano. Se han demostrado influencias negativas en relación con la resistencia a la tracción, resistencia a la torsión, el módulo de elasticidad y el comportamiento frente a la abrasión del compuesto. La solubilidad del agua de los compuestos correctamente polimerizados es mínima y no representa, de acuerdo con la experiencia, ningún factor limitativo en la utilización clínica.

3.14.6 Contracción de polimerización: Es un factor limitante para el uso de los mismos en las técnicas de restauración adhesiva. Es por ello que al contrarrestar esta contracción en cavidades grandes posteriores se recomienda el uso de incrustaciones de resina compuesta. La contracción a la polimerización se debe a que la distancia entre las moléculas y las cadenas del polímero se acorta. La contracción de polimerización de las resinas compuestas oscila entre 2.6 y 4.8% en 24 horas (por volumen).

Se puede contrarrestar en cierto modo por varios mecanismos:

- Obturar con pequeñas porciones.
- Reducir la obturación en masa.
- Controlar los vectores de contracción.
- Utilizar técnicas de capas incrementales o incrustaciones.⁷

3.14.7 Estabilidad cromática: Los cambios de color en los compuestos pueden deberse:

- Decoloraciones o adherencias en la superficie: Causados por algún componente de los alimentos.
- Cambios cromáticos o de translucidez.
- Sedimentaciones o decoloraciones en desajustes marginales.

3.14.8 Resistencia a la abrasión: En el pasado la insuficiente resistencia a la abrasión, especialmente de los compuestos macroparticulados, era un factor limitativo para la aplicación de los compuestos de obturación en la zona de posteriores. En la investigación de los materiales, se han dividido los mecanismos de abrasión en los siguientes tipos:

- **Abrasión adhesiva:** Es originada por la fricción inmediata de dos cuerpos donde se forman fuerzas de unión adhesivas con la consecuente abrasión.
- **Abrasión abrasiva:** Partículas duras en superficies o entre superficies originan una abrasión sobre la superficie más blanda.
- **Abrasión por corrosión:** Se debe a cambios químicos en la superficie: oxidación por fricción.
- **Abrasión por fatiga:** Debido a la formación de fisuras debajo de la superficie de la obturación, por carga mecánica continua, lo cual origina pérdida de material.

Las siguientes propiedades del material pueden considerarse como los factores principales que determinan el comportamiento frente a la abrasión del compuesto:

- Calidad y tipo de la unión material de relleno-polímero.
- Dureza de los materiales de relleno.
- Estabilidad química del material de unión relleno-matriz.
- Grado de relleno y densidad.
- Resistencia a la abrasión a la matriz del polímero.
- Tamaño de las partículas de relleno.⁷

3.14.9 Radiopacidad: Debido a la imposibilidad de una visión directa en clínica, a los materiales de obturación se les exige un suficiente radiopacidad para así poder determinar el diagnóstico de caries secundaria, excesos en el borde cervical, sobrantes, deficiencias en la restauración, inclusiones de aire y otras imperfecciones de las restauraciones en dientes posteriores.

El valor de la radiopacidad mínima de los materiales de restauración se relaciona en principio con la radiopacidad de la dentina, pero, por motivos de seguridad del diagnóstico dicho valor se ha establecido de acuerdo con la radiopacidad del esmalte dental (250% Al). Para un contraste claro en el radiodiagnóstico se exige incluso una radiopacidad de más de 300% Al.⁷

3.15 CLASIFICACIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS

1. De acuerdo a la Norma 27 de la ADA.

- **Clase A:** Material recomendado por el fabricante para usarse en restauraciones que involucran caras oclusales.
- **Clase B:** Material recomendado para todos los demás usos.
- **Tipo I:** De reacción química o quimiopolimerizables (autopolimerizables).
- **Tipo II:** De activación por energía externa de la luz azul o fotopolimerizables y la polimerización dual.⁸

2. En función del tamaño y la distribución de las partículas de relleno

Resinas compuestas tradicionales: Este grupo de resinas se desarrolló durante los años 70s y se modificó ligeramente a lo largo de los años. Estas resinas compuestas tradicionales también se llaman resinas compuestas convencionales o de macrorelleno, debido a que su uso ya no está tan extendido. El relleno que se utiliza con mayor frecuencia es el sílice amorfo pulverizado y el cuarzo. Hay una distribución muy variada de los tamaños de las partículas de cuarzo. Aunque el promedio es de 8 a 12µm, hay partículas de hasta 50µm. La carga de relleno es por

lo general del 70 al 80% en peso o del 60 al 70% de volumen. La principal desventaja clínica de las resinas compuestas tradicionales es la superficie rugosa que se produce como consecuencia del desgaste por abrasión de la matriz de resina blanda.

Resinas compuestas de partícula pequeña: Se redujo el tamaño de las partículas inorgánicas de relleno en un rango de 0,5 a 3 μ m, aunque con una distribución excesivamente amplia en los tamaños. Esta amplia distribución de las partículas de relleno facilita una gran carga de relleno y las resinas compuestas de partícula pequeña (PP) contienen más relleno inorgánico (80-90% en peso y 65-77% en volumen) que las resinas compuestas tradicionales, estas se encuentran en desuso.

Resina compuesta híbrida: Combina relleno pequeño o tradicional con los microrellenos (partículas de tamaño menor a la micra o partículas de relleno coloidales). Cualquier resina con dos o más tamaños de relleno se puede considerar como híbrida. Las resinas compuestas del futuro que contienen fibras y/o rellenos de nanopartículas se pueden clasificar de la misma manera. Las resinas compuestas híbridas empleadas con mayor frecuencia a partir del año 2000, normalmente se refieren a aquellas que contienen rellenos con un tamaño medio de partícula de aprox. 0.5 a 1.0 μ m junto con un 10 a 15% de microrelleno. También se describen dos categorías especiales de híbridos que varían respecto a su definición: las resinas compuestas fluidas y las resinas compuestas condensables.⁷

Resina compuesta microhíbrida: Resultan de la combinación de resinas híbridas, con resinas de microrelleno.

- Sus usos: Restauraciones estéticas anteriores y posteriores.
- Ventajas: Pequeño tamaño de la partícula, alta resistencia, alta resistencia al desgaste, pulibilidad mejorada, mayor rango de colores (esmalte translúcido y dentina opaca).
- Desventajas: Mas contracción de polimerización que las empacables, menor resistencia al desgaste que las empacables, menos lustrosas que las de microrelleno.¹⁰

Resinas compuestas de microrelleno: Estas partículas tienen un tamaño individual aproximado de $0.04\mu\text{m}$ (40nm), presenta una apariencia superficial muy suave similar a la obtenida con las restauraciones directas de las resinas acrílicas sin relleno. El concepto de resina compuesta de microrelleno alude al refuerzo de la resina gracias a este tipo de relleno.

Las resinas de microrelleno tienen una fracción volumétrica de relleno inorgánico mucho más baja que las resinas convencionales o de partícula pequeña, no se contraerán tanto como cabe esperar debido al volumen de la resina total. La limitación mayor de estos materiales es que la unión entre las partículas de resina compuesta y la matriz de resina que va a fraguar durante la restauración clínica es relativamente débil, la mayoría de las resinas compuestas de microrelleno no son adecuadas para superficies con grandes tensiones.

Resinas compuestas condensables: Para las restauraciones de las zonas posteriores.

Resinas fluidas: Resina compuesta híbrida con un bajo nivel de relleno y con una distribución más restringida de tamaños de partícula que aumenta la fluidez y favorece una adaptación más íntima con las superficies preparadas de los dientes.⁷

Resinas de nanorelleno: Utilizan nanorelleno en combinación con partículas híbridas y en este caso específico, los productos se denominan *nanohíbridas* (20-25nm). Tienen las propiedades mecánicas de las microhíbridas, pero superficies más suaves y brillantes.

Ventajas: Carga de relleno aumentada, menor contracción a la polimerización, desgaste reducido, resistencia y módulo de elasticidad adecuada, pulibilidad y retención de brillo mejorada.¹⁰

3. De acuerdo a su consistencia

De acuerdo con la fluidez de la resina compuesta:

- **Resinas compuestas espesas**

- **Resinas compuestas fluidas:** Están cargadas con el mismo tamaño de partículas de relleno, pero con menor cantidad con el objeto de reducir la viscosidad, básicamente son cementos de resina.
- **Resinas compuestas empacables**

4. De acuerdo al método de curado

- **Autocurables o de curado químico o curado en frío:** Se basan en el sistema peróxido-amina y endurecen al mezclar la pasta base y el catalizador.
- **Fotocurables:** Fotopolimerizan en presencia de la luz ultravioleta, capaces de iniciar la polimerización o reacción en cadena del polímero Bis-GMA.
- **Termocurables:** Su activador es el calor y su iniciador es el Peróxido de Benzoilo. Se utilizan para confección de coronas, puentes fijos e incrustaciones.

5. Clasificación de acuerdo a su uso

Compuestos para obturación: De dientes anteriores y posteriores.

- Resinas compuestas para dientes anteriores: Son las resinas de microrelleno por sus propiedades estéticas y facilidad de pulido; sin embargo, también pueden utilizarse las resinas híbridas. Para saber cuál usar, la decisión se debe basar en las siguientes características:
- **Resinas de microrelleno:**
 - Usadas en áreas de bajas tensiones.
 - Para cubrir compuestos híbridos.
 - Mejor estética.
 - Fáciles de pulir y obtienen un gran brillo.¹⁰
- **Resinas híbridas:**
 - Utilizadas en cavidades anteriores más extensas.
 - Fracturas de restauraciones de porcelana.
 - Fáciles de pulir, pero el brillo o acabado es inferior a las de microrelleno.
 - Resinas compuestas para Dientes Anteriores.

Resinas compuestas para dientes posteriores: Debido al mejoramiento de sus propiedades y las desventajas de las amalgamas como material de obturación, han aparecido compuestos para uso en dientes posteriores.

Las diferencias de estas resinas con las usadas para dientes anteriores son: mayor cantidad de relleno, mayor resistencia y radiopacidad.

- **Resinas compuestas multiuso (Universal)**

Este tipo de resinas no es más que resinas híbridas con partículas, con un diámetro casi siempre inferior a $1\mu\text{m}$ que pueden usarse en dientes anteriores y posteriores y que combinan la resistencia y textura superficial. El tamaño de las partículas de estos productos es más pequeño y se les denomina *microhíbridas*.¹⁰

- **Usos y razones para sus indicaciones en dientes posteriores:**

Razones de tipo estético.

- Obturaciones Clase I en combinación con selladores de fosas y fisuras. Restauraciones de cúspides fracturadas de premolares y algunos molares. (Generalmente asociadas con grandes incrustaciones o restauraciones de amalgamas.)
- Reemplazar obturaciones extensas de amalgamas.
- Restauración temporal de dientes no vitales fracturados.
- Odontopediatría.
- Odontogeriatría.
- Superficies oclusales fracturadas o erosionadas.

Muchos de los problemas que han sido reportados por el uso de resinas compuestas en dientes posteriores han sido reducidos por el uso de adhesivos dentinarios, tales como: sensibilidad postoperatoria, dificultad en obtener un buen sellado proximal, excesiva abrasión, longevidad de la obturación.¹⁰

- **Compuestos para muñones:** Se pueden unir a las estructuras dentarias, tienen resistencia adecuada, se pueden contrastar con el diente, se cortan igual que la dentina y pueden prepararse inmediatamente de después de ser curadas.

- **Compuestos para incrustaciones.**
- **Compuestos para coronas y puentes fijos.**
- **Compuestos para bases de obturaciones.**

Se han desarrollado para reducir la filtración en las obturaciones. Son resinas con alto contenido de relleno, tienen baja viscosidad y pueden ser de curado químico o curado doble. Su principal propiedad es la fluidez, para permitir que el material fluya sobre la superficie o fondo de la preparación, los compuestos fluidos permiten menos filtración que los espesos o mariales de alta viscosidad. Las bases de resinas compuestas se emplean especialmente cuando hay suficiente esmalte en la pared gingival para permitir el uso de adhesivos. Se colocan después de la limpieza, el grabado y la aplicación del adhesivo, luego se coloca una resina de fotocurado.¹⁰

3.16 COMPOSICIÓN DE LAS RESINAS COMPUESTAS

La base de la composición de las resinas compuestas son la molécula BIS-GMA (bisfenol A glicidil dimetacrilato) o UDMA (dimatacrilato de uretano) o una mezcla de las dos, además del Trietilenglicol Dimetacrilato (TEGDMA), como material orgánico, más partículas finas de material inorgánico (Sílice, Bario, Hidroxiapatita, Zirconio, etc.), recubierto por un agente acoplador, básicamente por un silano órgano-funcional, así como activadores iniciadores e inhibidores de la reacción depolimerización , como se muestra en la Figura 1.⁸

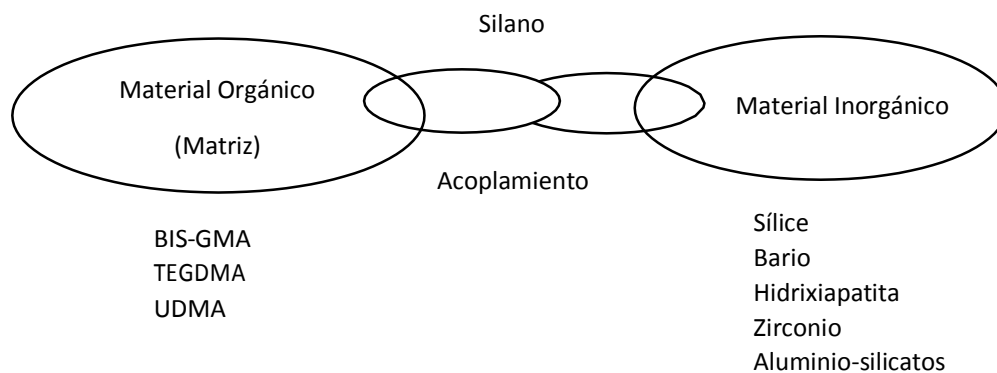


Figura 1. Esquema de formulación general de las resinas compuestas.⁸

En la siguiente tabla se muestran las ventajas y las desventajas de los componentes de las resinas compuestas, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los componentes de las resinas compuestas.¹²

Componentes	Ventajas	Desventajas
Matriz orgánica	<ul style="list-style-type: none"> • Combinación de colores • Agente aglutinante • Propiedades reológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto coeficiente de expansión térmico lineal • Alta contracción de polimerización • Alta sorción de agua • Bajas propiedades mecánicas • Baja estabilidad de color
Partículas de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta las propiedades mecánicas • Bajo coeficiente de expansión térmico lineal • Reduce la contracción de polimerización • Son relativamente más inertes que la matriz orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Rugosidad • Influye en el pulido y brillo superficial • Dificulta el paso de luz
Agente de unión	<ul style="list-style-type: none"> • Permite la transmisión homogénea de tensiones masticatorias entre la matriz y la carga • Unión de las partículas de carga a la matriz orgánica • Aumenta la estabilidad hidrolítica y de color a lo largo del tiempo 	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de hidrolisis • Aumenta las tensiones de contracción de polimerización

Conocer el componente orgánico base de la resina permite elegir de acuerdo con éste los sistemas auxiliares de adhesión, ya que moléculas de la misma familia proveen mayor fuerza de adhesión. Sabiendo el tamaño de las partículas de la resina se podrá seleccionar la zona donde colocarla: partículas grandes o convencionales (1-25 μ m) tienen buena resistencia ante cargas (para dientes posteriores), resinas con partículas pequeñas o de microrelleno (0.04-1 μ m) para dientes anteriores y resinas con partículas pequeñas y grandes, o híbridas (0.1 a 3 μ m) permiten obtener y mantener tersuras por un tiempo aceptable y alta resistencia y baja abrasión, por lo que su uso para dientes anteriores y posteriores está justificado.⁸

3.17 FACTORES QUE FAVORECEN LA ADHESIÓN

Los factores que favorecen la adhesión son:

1. Dependientes de las superficies:

- Limpias y secas.
- En contacto íntimo: Lo mejor que se adapta a un sólido es un líquido, por lo tanto, el biomaterial restaurador o su adhesivo deberían serlo. Si no hay íntimo contacto, las reacciones químicas y las trabas mecánicas no se producirán.
- Superficie lisa vs rugosa: Desde el punto de vista de la adhesión física es indispensable que la superficie sea irregular para que el adhesivo se trabaje al endurecer al endurecer en contacto con ella. Desde el punto de vista de la adhesión química es preferible una superficie lisa en donde un adhesivo pueda correr y adaptarse sin dificultad.¹¹

2. Dependientes del adhesivo:

- Con alta humectación o capacidad de mojado: Mientras más humectante sea el biomaterial a aplicar o sus sistemas adhesivos, mejor será el contacto favoreciendo con ello sus potenciales uniones físicas y químicas.
- Con alta estabilidad dimensional: Ya sea al momento de endurecer o una vez endurecido, frente a variaciones térmicas, frente a su propio proceso de endurecimiento o frente a tensiones que intenten deformarlo.
- Con alta resistencia mecánica química adhesiva cohesiva: Que lo hagan soportar las fuerzas de oclusión funcional y el medio oral.
- Biocompatibilidad: Es importante que se dé la compatibilidad biológica con el diente, así como con los tejidos bucales y el paciente en sí mismo.¹¹
- Viscosidad: El adhesivo es efectivo cuando, además de estar en contacto íntimo con el sustrato, este se distribuye fácil y rápidamente sobre el sustrato.¹²

3. Dependientes del biomaterial:

- Fácil manipulación y adaptación
- Con técnica adhesivas confiables

- Compatible con los medios adhesivos a utilizar.

4. De los fabricantes del adhesivo:

- Con productos probados (tanto en el laboratorio como clínicamente), de alta durabilidad, con instrucciones claras y precisas, de bajo costo, fácil almacenamiento y prolongada vida útil.¹¹

Los adhesivos a base de agua/alcohol tienen una presión de vapor más baja en comparación con los que son a base de acetona. Esto significa que los adhesivos con solventes menos volátiles tardan más en evaporar todo el solvente y el agua residual presente en la superficie.

El espesor ideal de adhesivo debe ser aproximadamente de 50 a 200 μm para actuar como una capa resistente capaz de absorber parte del estrés masticatorio.

La forma de aplicación del adhesivo también influye en su rendimiento. Después de aplicar el adhesivo sobre la superficie es necesario aplicar un chorro de aire a una distancia de 20cm por 10 segundos para permitir la evaporación del solvente y de agua residual. La aplicación del chorro de aire muy cerca tiende a incorporar oxígeno en la capa de adhesivo, el cual es un inhibidor de la polimerización.¹²

3.18 ADHESIVOS DENTALES

La adhesión puede ser definida como la fuerza que mantiene unidos dos sustancias o sustratos de diferentes composiciones. Desde que sus moléculas están en íntimo contacto (distancia máxima de 0.0007 μm).¹²

Antes de que se adoptase la técnica de grabado total de dentina y esmalte se utilizaron agentes de adhesión al esmalte. Debido a que las resinas compuestas son más viscosas que las resinas acrílicas sin relleno, se desarrollaron los agentes de adhesión a esmalte para mejorar la humectación y la adaptación de la resina a la superficie grabada de esmalte.¹⁰

El primer intento por lograr adhesión a los tejidos dentales corresponde atribuírselo, según Mc Lean en el año 2000, al químico suizo Oscar Hagger, quien en 1949 patentó en su país un producto basado en el *dimetacrilato del ácido glicerofosforico*, una resina acrílica restauradora autopolimerizable. Los adhesivos han aparecido y continúan haciéndolo de manera tan abundante y frenética que, particularmente a partir de mediados de la década de 1970, los fabricantes ingeniosamente optaron por promocionar sus productos calificando a cada uno de ellos como el de última generación.¹¹

Nakabayashi y Cols., en 1982 revelaron que las resinas hidrofílicas se mezclaban con las fibras de colágeno de la dentina desmineralizada creando una *capa de infiltración o capa híbrida* compuesta de dentina mezclada con resina. De forma ideal, el adhesivo dentinario debería ser hidrófilo para mejorar la superficie de la dentina preparada que es ligeramente húmeda. Debido a que la mayoría de las resinas compuestas tienen una matriz de resina hidrofóbica, los adhesivos deben presentar grupos hidrofílicos que reaccionen con la superficie húmeda de dentina y grupos hidrofóbicos que aseguren una unión con la resina restauradora. La clave de la adhesión se encuentra en el desarrollo de unos monómeros hidrofílicos que pueden reaccionar con la masa de colágeno producida por el grabado dentinario con un ácido, al que se le denomina *acondicionador*.

Es habitual describir las diferentes generaciones de adhesivos que fueron desarrollados al principio y que eran relativamente ineficaces, hasta los más modernos que presentan una relativa adhesión funcional.¹⁰

3.19 CLASIFICACIÓN DE LOS ADHESIVOS DENTALES

Adhesivos de Primera Generación

Los adhesivos dentinarios iniciales se basaron en los modelos de los eficaces agentes de conexión a base de silano. La conexión con silano se ha empleado para fijar el relleno inorgánico con la matriz de la resina compuesta.¹⁰

Adhiriéndose químicamente a la dentina y a la “smear layer”. Sin embargo, sus niveles de adhesión solo alcanzaban 4 y 5Mpa.¹¹

Adhesivos de Segunda Generación

Los adhesivos de segunda generación más característicos son el NPG-GMA (*ADDUCT N-fenil glicina y metacrilato de glicidilo*). No se ha demostrado ninguna evidencia de que ocurra una adhesión química significativa entre estos adhesivos y la estructura dentaria en condiciones *in vivo*.¹⁰

Adhesivos de Tercera Generación

A mitad de la década de 1980, se continuaron basándose en el empleo de un grupo ácido que reaccionaban con los iones Ca^{2+} y de un grupo metacrilato que copolimerizaba con las resinas sin relleno que se aplicaban antes de la colocación de los materiales de restauración de resina compuesta.^{10, 11}

Cuya novedad consistía en la adición de monómeros hidrófilos, principalmente HEMA (Hidroxietilmetacrilato), lo que permitió lograr niveles de adhesión cercanos a las 10MPa.

Adhesivos de Cuarta Generación

A partir de 1990 aparecieron los primeros productos de la cuarta generación cuya importante innovación consistió en incorporar al sistema un tercer compuesto, denominado *primer*, un agente promotor de la adhesión; por ello, también se les conoce como *la generación de los tres compuestos*: acondicionador, primer y agente adhesivo, cada uno presentando su propio envase y frasco.¹¹

Adhesivos de Quinta Generación

A mediados de la década de 1990, se desarrolló cuando se dieron cuenta que el éxito clínico era mucho mayor si se reducía el número de pasos implicados. Los nuevos adhesivos se basan en una compleja combinación de retención micromecánica.^{10, 11}

Adhesivos de Sexta Generación

Surgen en 1999, estos se identifican por haber unido en un solo compuesto la triada, acondicionador, primer y agente adhesivo, aunque en realidad esa unión solo se produce en el momento de su aplicación, puesto que se presentan ya sea en “blisters” de dos cámaras o en dos frascos.

Adhesivos de Séptima Generación

A finales del 2002 fue dado a conocer el producto, es muy semejante a los de sexta, presenta este si todos sus ingredientes en un solo frasco y obviamente prescinde de toda mezcla.

- Otra clasificación de los adhesivos dentales es:

Por la forma de tratar la superficie adhesiva

- Los que emplean al acondicionamiento ácido previo: Requieren el uso de ácido fosfórico en concentraciones entre 30% y 37%.
- Los autoacondicionadores: Logran prescindir del ácido fosfórico.

Por el sistema de activación

- Fotoactivados: Se aplica una fuente de luz que activa el inicio de la polimerización.
- Químicamente activados: En desuso.
- De activación dual.¹¹

3.20 DUREZA SUPERFICIAL DE LAS RESINAS COMPUESTAS

La dureza de los materiales es una propiedad convencional, es posible definirla como resistencia que un material opone a su penetración.¹²

La dureza superficial de las resinas compuestas puede ser medida por una serie de métodos.¹²

Las pruebas de dureza se incluyen en numerosas especificaciones sobre materiales dentales de la American Dental Association (ADA). La mayoría se basa en la capacidad de la superficie de un material de resistir la penetración de una punta de diamante o de una bola de acero bajo una carga determinada. Las pruebas que se usan con más frecuencia para determinar la dureza de los materiales dentales se conocen con los nombres de: Barcol, Brinell, Rockwell, Shore, Vickers y Knoop. La elección de la prueba debe depender del material que se estudie.¹⁰

Para este tipo de material, resina compuesta, la punta penetradora comúnmente utilizada es aquella que registra la llamada dureza Knoop o Vickers. Los materiales con mayor contenido volumétrico de carga, hay tendencia que la resistencia a la penetración sea mayor que para los materiales con menor volumen de carga.

La dureza de la resina compuesta también depende de otro factor: el grado de conversión de la matriz orgánica de la resina. Por ejemplo, la incorporación de carga inorgánica a la matriz de resinas acrílicas, determinó un aumento significativo de la dureza de este material y simultáneamente de su resistencia al desgaste.¹²

3.21 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE DUREZA

En la mayoría de las disciplinas el concepto de dureza que se acepta normalmente es: resistencia a la indentación.¹⁰

La dureza no es una propiedad intrínseca del material; por lo tanto, no puede ser definida en términos de unidades fundamentales de masa, longitud y tiempo. La dureza es la medida de la resistencia de un material a la penetración, considerada como un indicativo indirecto de la resistencia del material al desgaste en la cavidad bucal.

El método para medir un valor de dureza es a través de la medida del área de indentación dejada por un indentador de formato específico cuando es aplicado sobre una superficie por un determinado periodo.¹²

Existen cuatro pruebas estandarizadas para expresar la dureza de los materiales: dureza Brinell, Rockwell, Vickers y Knoop. Las pruebas de dureza de Vickers y Knoop emplean un indentador de diamante. La prueba de dureza de Vickers es utilizada para materiales que prácticamente no poseen ningún tipo de recuperación elástica.¹²

La prueba de dureza Brinell es una de las más antiguas que se han utilizado para determinar la dureza de los metales. En esta prueba se emplea una bola de acero endurecido sometida a una carga específica en la superficie pulida de un material. La carga se divide por el área de la superficie proyectada de la indentación y el cociente se denomina *número de dureza Brinell*, que suele abreviarse como NDB. Por tanto, cuanto menor sea la indentación, mayor será el número y más duro será el material.

La prueba de dureza Brinell se ha empleado para determinar la dureza de los metales y de los materiales metálicos empleados en odontología.

La prueba de dureza de Vickers utiliza el mismo principio para probar la dureza que la prueba de Brinell.

Utiliza una pirámide de base cuadrada. Aunque la impresión es cuadrada y no redonda, el método para calcular el *número de dureza Vickers* (DV) es el mismo que para calcular el NDB, dividiendo la carga entre el área de indentación proyectada. Se mide la longitud de las diagonales de la indentación y se hace una media. La prueba de Vickers se utiliza en la especificación de la ADA sobre aleaciones dentales de oro. Esta prueba es adecuada para determinar la dureza de los materiales dentales, también se ha usado para calcular la dureza de la estructura

Las pruebas no Knoop y Vickers se clasifican como pruebas de microdureza en comparación con las de Brinell y Rockwell, que son pruebas de macrodureza.¹⁰

La dureza de Knoop de la dentina se calcula en 65, mientras que el esmalte dentario tiene un valor de 300. La resina compuesta convencional tiene un valor de 60.⁹

En el caso de la microdureza las cargas aplicadas al penetrador generan un estrés concentrado, suficiente para generar huellas y deformaciones permanentes sobre la superficie de las muestras en la prueba.¹³

La prueba de Vickers utiliza cargas de menos de 9.8N. Las muescas resultantes son menores y se limitan a una profundidad inferior a 19 μ m. Es capaz de medir la dureza de las regiones pequeñas y de los objetos más finos.¹⁰

Los métodos existentes para la medición de la dureza se distinguen básicamente por la forma de la herramienta empleada; es decir, penetrador, por las condiciones de aplicación de la carga y por la propia forma de calcular la dureza. La elección del método para determinar la dureza depende de factores tales como: tipo, dimensiones y espesor de la muestra, entre otros. La preparación del material y el ensayo mismo tienen pequeños efectos en la lectura de dureza. Las características de varios materiales o el espesor del espécimen tienden a determinar el tipo de prueba de dureza. El operador debe verificar y conocer qué tipo de prueba específica usar para una muestra dada, la metodología indica que: La superficie de prueba debe ser representativa del material. La superficie de prueba debe ser pulida para que la indentación sea clara y definida, particularmente a bajas cargas.¹⁴

La superficie a prueba debe ser paralela y perpendicular al indentador. Usar la carga mayor posible sin romper las leyes siguientes:

- Cargas mayores crean grandes indentaciones, que mejor representan el material de prueba.
- El espesor mínimo del material a probar es 10 veces la profundidad de la penetración.¹⁴

3.22 METODO DE DUREZA VICKERS

En la prueba de Vickers, el valor de la dureza es la razón de la carga aplicada al área de indentación. Dichas cargas son de 5 a 120kgs con incrementos en 5kgs.

El método emplea un indentador de diamante en forma de pirámide de base cuadrada con 136° en la punta. Tal penetrador se aplica lenta y perpendicularmente a la superficie cuya dureza se desea medir, bajo la acción de una carga P. Esta carga se mantiene durante un tiempo determinado, después del cual se retira y se mide la diagonal (d) de la impresión que queda sobre la superficie de la muestra. La dureza de Vickers, expresada como HV se define como la relación entre la carga aplicada expresada en kgs -fuerza y el área de la superficie lateral de la impresión.¹⁵⁻

17

3.22.1 Operación del probador Vickers

La operación consiste en colocar el espécimen en el yunque, para después aplicar la carga lentamente, las medidas de las diagonales de la indentación se efectúan con ayuda de un objetivo del microscopio incorporado al microdurómetro. Se calcula el área de la superficie de la muesca que forma una pendiente y posteriormente el microdurómetro da automáticamente el valor Vickers.¹⁷

Cuanto menor sea la indentación, mayor será el número y más duro será el material.⁷

Las ventajas del método Vickers son: Aproximación en la repetibilidad de la indentación, también, es un método rápido y útil para muestras delgadas; y un solo tipo de indentador se utiliza para todos los tipos de metales y superficies tratadas.

Su desventaja recae en lo lento que resulta preparar la superficie de la muestra a ser analizada.

El cálculo del número Vickers es:

P: Carga aplicada (medida en kg/f).

d²: Área de la indentación (medida en milímetros cuadrados).

La carga aplicada se especifica cuando se proporciona HV. El microscopio para la lectura de la indentación tiene una tolerancia de más o menos 1/1000 de milímetro.¹⁸

Las medidas de las diagonales para determinar el área son promediadas. La designación correcta Vickers es el múltiplo seguido por HV. Las cargas pueden ser de un gramo hasta 1kg para pruebas de microdureza Vickers.¹⁸

3.23 COLOR

Las resinas fotoactivadas, son los mejores materiales estéticos directos para dientes anteriores, pues la combinación de colores permite un excelente medio de mimetizarlas con la naturaleza de los dientes. Estas resinas compuestas en general son comercializadas en jeringas con diferentes colores. El color es un fenómeno físico que se refiere al comportamiento de un cuerpo frente a la incidencia de luz. El color puede ser dividido en matiz, croma y valor. El matiz describe el color predominante de un objeto. Genéricamente los matices en odontología son designados con las letras A, B, C Y de acuerdo con la escala VITA Lumin Classical (Vita Zahnfabrik).¹² Como se puede observar en la Figura 2.

MATIZ	Característica óptica
A	Matiz marrón – rojizo
B	Matiz amarillo- rojizo
C	Matiz gris
D	Matiz gris- amarillo

Figura 2. Esquema de tipos de matiz.¹²

La percepción de los colores, es dada en nuestros ojos a través de los conos y fibras nerviosas situadas en la fovea de la retina.¹²

Los bastones son más sensibles a la luz y nos permiten observar en situaciones de baja luminosidad, los conos son los responsables de la percepción del color. En 1905, el artista americano A. H. Munsell sugirió un método para describir los colores, clasificándolos de acuerdo con su matriz, croma y valor. Dicho método es análogo a las tres dimensiones de cualquier objeto que son la longitud x altura x ancho, debido a que el color es tridimensionalmente descrito. El matiz describe el color predominante de un objeto. El croma es el grado de saturación o la intensidad de la matriz, este es identificado por números, por ejemplo, el matriz A va del A1 hasta el A4. El valor es la luminosidad del color o la distinción entre un color claro y otro oscuro. El croma, es definido como saturación de un determinado matiz, o simplemente cuan fuerte o débil es un color. El croma es identificado por la numeración gradual, siguiendo la escala VITA, de 1 a 4.

El valor, brillo o luminosidad, representa la dimensión más dinámica de los sólidos, siendo conceptualizada como cantidad de negro o blanco en un objeto, es decir, la escala de varios tonos de gris, en restauraciones, se refiere, a la cantidad de opacidad (más blanco) o translucidez (más gris) en las resinas compuestas.

Las resinas compuestas microparticuladas presentan cargas con tamaños reducidos, facilitando el paso de la luz por la matriz orgánica. Eso le otorga un aspecto translúcido. Para que esas resinas compuestas presenten características más opacas, pigmentos como el bióxido de titanio es adicionando al material.

Las resinas compuestas híbridas y microhíbridas son generalmente menos translúcidas que las microparticuladas, debido al mayor tamaño de las partículas inorgánicas y su distribución en la matriz. En la polimerización de las resinas compuestas, el color se altera en el sentido azul del espectro después de la polimerización.¹²

3.23.1 Opacidad, translucidez y transparencia

La diferencia entre materiales opacos, transparentes y translucidos es el grado de transmisión de luz que es posible en cada uno. Los cuerpos opacos contienen pigmentos que impiden el pasaje de luz y así la energía incidente es absorbida o

reflejada. Por otro lado, están los objetos transparentes, en el cual gran parte de la luz incidente es refractada, es decir, atraviesa toda su extensión del cuerpo siguiendo su curso hasta alcanzar estructuras capaces de reflejarla o absorberla.¹²

3.24 MODIFICADORES ÓPTICOS DE LAS RESINAS

Para que las resinas compuestas tengan una apariencia natural deben tener unas propiedades de tonos y translucidez semejantes a la estructura dental. La tonalidad se logra mediante la adición de diferentes pigmentos (normalmente son cantidades minúsculas de partículas de óxidos de metal). La translucidez y opacidad se ajustan lo necesario para parecerse a las de la dentina y esmalte.

Cuando se observa una restauración con menos luz (dispersada), se percibe oscuro, esta deficiencia se puede corregir mediante un opacificador, sin embargo, si se agrega demasiada cantidad de éste se observa demasiada blanca (un valor demasiado elevado). Los fabricantes para incrementar la opacidad, añaden a las resinas compuestas dióxido de titanio y óxido de aluminio.

Para que se logre una polimerización óptima, las tonalidades oscuras y las resinas de opacificación se deben aplicar en capas más delgadas. Esta característica es aún más importante cuando se pretende fraguar un adhesivo bajo una capa de resina compuesta.¹⁰

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mediante el uso de la nanotecnología innovadora, los logros en el campo de la odontología hicieron su aparición en el mercado de materiales dentales como resinas compuestas y adhesivos para rellenos dentales, selladores de conducto para tratamientos de endodoncia, acrílico, resinas para dentaduras completas y dentaduras blandas, cementos para cementación de puentes, selladores para rellenos preventivos en niños y, por supuesto, recubrimientos para productos dentales, materiales de implantes. Estos materiales se utilizan en diferentes campos de la odontología para diferentes propósitos y afirman tener propiedades mejoradas.¹

La nanotecnología está dirigida a la fabricación de nanopartículas con propiedades únicas. Además de las nanopartículas, también hay una gran variedad de nanofibras y nanotubos que se han inventado. La incorporación de éstos en resinas compuestas como rellenos, se dirige al desarrollo de compuestos con propiedades mecánicas mejoradas. Una resina compuesta con propiedades mecánicas mejoradas, que también se adhiere bien a la estructura del diente, amplía la vida útil de la restauración. Otras nanopartículas que pueden remineralizar parcialmente el esmalte y la dentina también se incorporan en resinas compuestas y adhesivos.¹

En la actualidad existe una amplia diversidad de materiales para obturación dental y adhesivos en el mismo sitio. Por lo que es complicado identificar el material que nos proporcione completamente las propiedades ideales necesarias para el uso de las resinas compuestas y adhesivos dentales.

Ya que la nanotecnología se basa en el uso de materiales a nivel anatómico para alcanzar propiedades únicas, que a su vez pueden ser manipuladas para la aplicación deseada, se debe tener en cuenta que mucho de los procesos biológicos toman lugar a nivel de la escala manométrica y es posible aplicar la nanotecnología para revolucionar el campo de la odontología, pues presenta una gran promesa en

el futuro cercano, que cambie la dirección de los avances tecnológicos en un sin número de aplicaciones.

Debido a lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué efecto tiene la aplicación de un recubrimiento de nanopartículas de plata inmersas en un adhesivo hidrófilico en la microdureza y color de las resinas compuestas utilizadas como material de obturación en la Odontología restauradora?

5. JUSTIFICACIÓN

La realización del presente trabajo de investigación surge de la necesidad de conocer el efecto de las nanopartículas de plata sobre las propiedades físicas de resinas compuestas fotopolimerizables de última generación. Utilizadas en el mercado, para así contar con un material de obturación con propiedades físicas que reúnan las propiedades de la nanotecnología con la seguridad de obtener un material que satisfaga las necesidades que se buscan para el éxito de los tratamientos en los pacientes.

Actualmente la nanotecnología permite incursionar a terrenos antes inconcebibles, se ha posicionado firmemente en el campo de la medicina y su uso en odontología podría ser clave para saber de las propiedades que puede reforzar sobre los materiales dentales utilizados.

Es importante que el odontólogo esté informado acerca del éxito o fracaso que puede derivarse de la microdureza que proveen las resinas compuestas tradicionalmente utilizadas como material de obturación en odontología, así como de la propuesta del uso de una nueva tecnología nanométrica el servicio del área odontológica, para lograr el beneficio propio y el de los pacientes.

Para comprender el modo en el que las ciencias a nanoescala puedan revolucionar el presente y mejorar el futuro de los materiales utilizados en odontología.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

Conocer el efecto que tienen las nanopartículas de plata en la microdureza Vickers de las resinas compuestas.

Objetivos específicos

- Evaluar la microdureza de la resina compuesta *per sé*.
- Evaluar la microdureza de la resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico.
- Evaluar la microdureza de la resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico.
- Evaluar el cambio de color de la resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico.

7. HIPÓTESIS

Hipótesis de Trabajo

Las nanopartículas de plata inmersas en un adhesivo hidrofílico producen mayor microdureza Vickers en las resinas compuestas.

Hipótesis Nula

Las nanopartículas de plata inmersas en un adhesivo hidrofílico no producen mayor microdureza Vickers en las resinas compuestas.

8. MARCO METODOLÓGICO

8.1 Diseño de la investigación

Se trata de una investigación: experimental, comparativa, transversal, prospectiva.

8.2 Material y equipo

- Moldes cúbicos de teflón 10mm de diámetro por 1mm de grosor.
- Adhesivo hidrofílico. Transbond MIP (3M Unitek).
- Resina compuesta de última generación. Tetric N-Ceram, Color A2. Ivoclar Vivaden.
- Microbrush.
- Pipetas de 10ml.
- Tubos de diluciones.
- Lámpara para resinas.
- Espátula de teflón para resinas, pinzas porta brackets, explorador.
- Nanopartículas de Plata (NPs Ag) a una concentración de 0.009g y un tamaño promedio de 5nm en una solución de 15-20nm.
- Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).
- Microscopio incorporado al instrumento.

Como se ilustra en la Figura 3, se confeccionó un molde de teflón de color blanco con las siguientes medidas 10mm de diámetro por 1mm de grosor para fabricar los bloques de resina compuesta para su estudio.



Figura 3. Molde de teflón para con confeccionar los bloques de resina.

Como se ilustra en la Figura 4, se fabricaron los bloques de resina compuesta, con espátula de teflón para su confección, modelado y adaptación al molde de teflón, con el explorador se extrajeron del mismo y con las pinzas porta brackets se realizó su transportación.



Figura 4. Instrumental para la fabricación y manipulación de bloques de resina compuesta de arriba hacia abajo, explorador, espátula para resinas y pinzas porta brackets.

Como se muestra en la Figura 5, para la fabricación de los cubos de resina se utilizó resina compuesta fotopolimerizable Tetric N-Ceram, Color A2. Ivoclar Vivadent.



Figura 5. Resina compuesta fotopolimerizable Tetric N-Ceram, Color A2. Ivoclar Vivadent

Como se ilustra en la Figura 6, para fotopolimerizar los cubos de resina compuesta se utilizó una lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED.



Figura 6. Lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED.

Como se muestra en la Figura 7, el adhesivo que se utilizó para realizar el recubrimiento sobre los bloques de resina compuesta fue un adhesivo hidrofílico de uso ortodóntico Transbond™ MIP, que es compatible con las NPsAg.



Figura 7. Adhesivo hidrofílico de uso ortodóntico Transbond™ MIP

Como se ilustra en la Figura 8, se utilizaron las Nanopartículas de Plata (NPs Ag) a una concentración de 0.009g y un tamaño promedio de 5nm en una solución de 15-20nm.



Figura 8. De adelante hacia atrás, adhesivo hidrofílico de uso ortodóntico Transbond™ MIP, Frasco que contiene las Nanopartículas de Plata (NPs Ag) a una concentración de 0.009g y un tamaño promedio de 5nm en una solución de 15-20nm, Lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED, tubos de diluciones.

Se utilizó una pipeta de 10ml, junto con tubos de diluciones para trasportar las Nanopartículas de Plata (NPs Ag) a una concentración de 0.009g y un tamaño promedio de 5nm en una solución de 15-20nm (Figura 9).



Figura 9. Pipeta de 10 ml. y tubos de diluciones.

Como se observa en la Figura 10, las pruebas de este estudio fueron realizadas con un Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).



Figura 10. Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).

8.3 Unidad de estudio

Se realizó un total de 15 bloques de resina compuesta en moldes cúbicos de teflón de 50mm de diámetro por 1mm de grosor, 5 fabricados con resina compuesta *per sé*, 5 fabricados de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico, 5 fabricados de resina compuesta con un recubrimiento de nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico. En cada grupo se evaluaron un total de 50 indentaciones para medir la microdureza Vickers. Se evaluó el cambio de color de los 5 bloques fabricados de resina compuesta con un recubrimiento de nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico en comparación con los 5 bloques de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico.

8.4 Procedimiento

Paso 1: Como se ilustra en la Figura 11, se fabricaron los bloques de resina compuesta para los 3 grupos de estudio utilizando el molde de teflón y el instrumental antes mencionado para la confección, modelado y adaptación de estos, fotopolimerizando con la lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED.

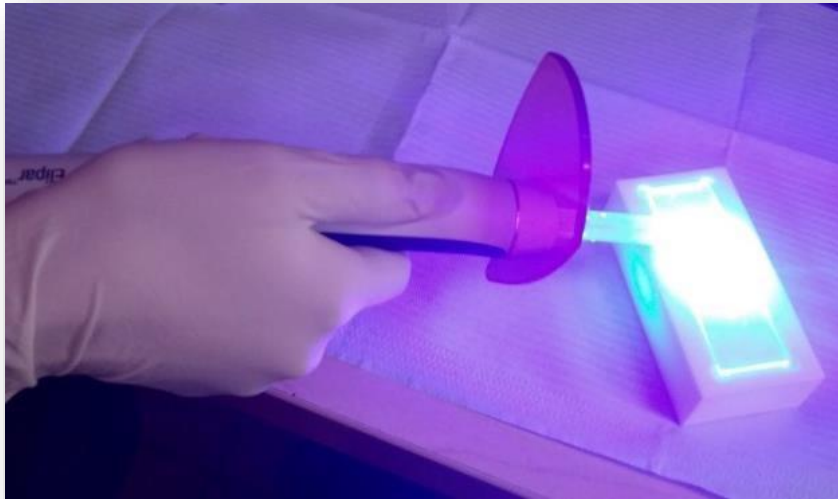


Figura 11. Fabricación y fotopolimerización de bloques de resina compuesta en molde de teflón.

En la Figura 12, se ilustra la manipulación de los cubos de resina compuesta.

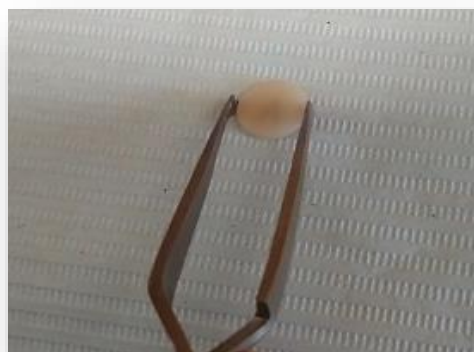


Figura 12. Bloque de resina compuesta fabricado.

Como se ilustra en la Figura 13, Se almacenaron los bloques de resina compuesta en un recipiente con subdivisiones con el fin separar cada grupo de estudio.



Figura 13. Almacenamiento de bloques de resina compuesta.

Paso 2: (Figura 14), se aplicó el recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico *per sé* en los 5 bloques de resina compuesta asignados para su estudio con un microbrush y con ayuda de las pinzas porta brackets para su manipulación.



Figura 14. Aplicación del adhesivo hidrofílico *per sé*, sobre los bloques de resina compuesta.

Como se muestra en la Figura 15, se aplicó aire para adelgazar la capa de adhesivo hidrofílico colocado sobre los bloques de resina compuesta.

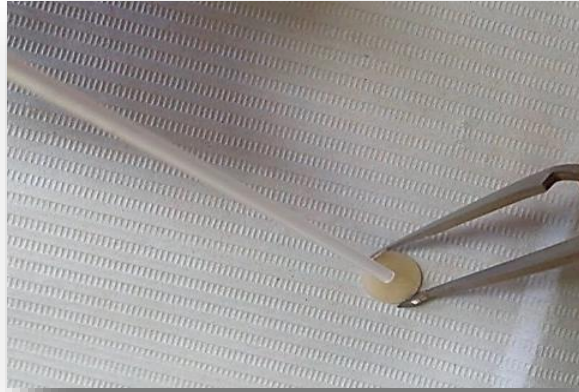


Figura 15. Aplicación de aire para adelgazar la capa de adhesivo hidrofílico colocado sobre los bloques de resina compuesta.

Se fotopolimerizó el adhesivo hidrofílico aplicado sobre el bloque de resina compuesta utilizando la lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED y las pinzas porta brackets para su manipulación (Figura 16).



Figura 16. Fotopolimerización del adhesivo hidrofílico colocado previamente.

Como se observa en la Figura 17. Se marcaron con lápiz los bloques de resina compuesta con la inicial "A" que indica la colocación del agente adhesivo hidrofílico.

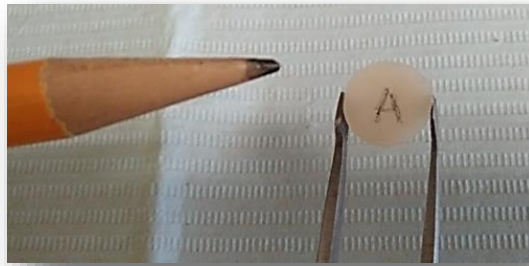


Figura 17. Clasificación de los bloques de resina compuesta con la inicial "A" que indica la colocación del agente adhesivo hidrofílico.

Paso 3: Se realizó la aplicación del recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico, en los 5 bloques de resina compuesta asignados para su estudio. Se tomó la muestra del agente adhesivo hidrofílico *per sé* con la pipeta de 10ml y tubo de diluciones (Figura 18).



Figura 18. Toma de muestra del agente adhesivo hidrofílico *per sé*.

Como se observa en la Figura 19, se tomó la muestra de las Nanopartículas de plata (NPs Ag) con la pipeta de 10ml y tubo de diluciones.



Figura 19. Toma de muestra con pipeta de 10 ml de las Nanopartículas de plata (NPs Ag).

En la Figura 20, se ilustra la mezcla del agente adhesivo hidrofílico con las Nanopartículas de plata (NPs Ag) en un recipiente indicado para el almacenamiento de adhesivos dentales.



Figura 20. Mezcla del agente adhesivo hidrofílico *per sé* con las Nanopartículas de plata (NPs Ag).

Como se ilustra en la Figura 21, se aplicó el recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico en los 5 bloques de resina compuesta asignados para su estudio con un microbrush y con ayuda de las pinzas porta brackets para su manipulación.

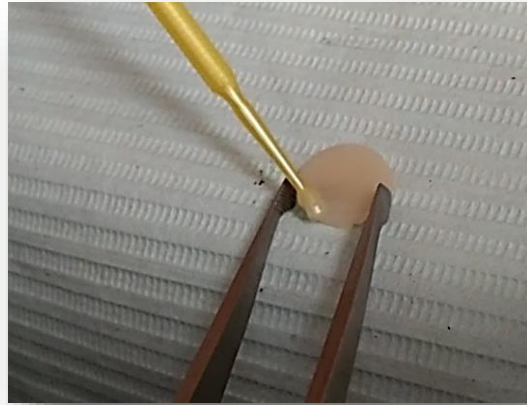


Figura 21. Aplicación del recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico sobre los bloques de resina compuesta.

Se aplicó aire para adelgazar la capa de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico sobre los bloques de resina compuesta (Figura 22).

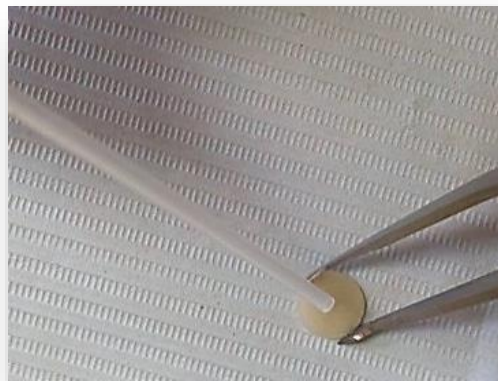


Figura 22. Aplicación de aire para adelgazar la capa de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico sobre los bloques de resina compuesta.

Como se ilustra en la Figura 23, se fotopolimerizó el recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico colocado previamente utilizando la lámpara de fotocurado 3M ESPE Elipar™ LED y las pinzas porta brackets para su manipulación.



Figura 23. Fotopolimerización del recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico colocado previamente.

Se marcaron con lápiz los bloques de resina compuesta con la inicial “N” que indica la colocación del recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico (Figura 24).



Figura 24. Clasificación de los bloques de resina compuesta con la inicial “N” que indica la colocación del recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico.

Paso 4: Como se observa en la Figura 25, se tomaron 50 muestras totales de los 15 bloques de resina compuesta realizados y preparados previamente para la determinación de su microdureza, utilizando el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China) registrando los resultados obtenidos. Los bloques de resina compuesta se colocaron en el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China), para ser analizados.

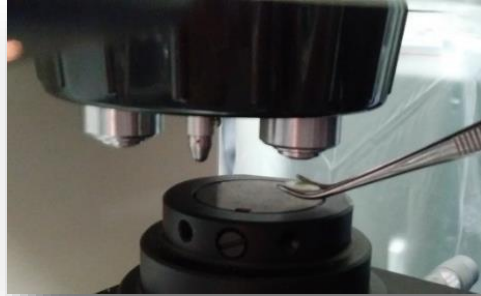


Figura 25. Colocación en el microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China) de los bloques de resina compuesta para ser analizados.

El indentador de diamante en forma de pirámide realiza la muesca en el bloque de resina compuesta que resulta del proceso de medición de microdureza Vickers con el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China), para ser analizados (Figura 26).



Figura 26. Bloque de resina compuesta en proceso de medición de microdureza Vickers con el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).

Como se observa en las Figuras A y B, se analizaron todos los bloques de resina compuesta con el microscopio incorporado en el Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).



Figura A. Análisis de muestras de los bloques de resina compuesta.



Figura B. Análisis de muestras de los bloques de resina compuesta.

Se registraron los datos obtenidos en la pantalla del Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China), ver Figura 27.



Figura 27. Muestra del resultado de cada bloque de resina compuesta en la pantalla del Microdurómetro modelo SXHV-1000TA (Sinowen; DongGuan, China).

Como se muestra en la Figura 28, se dividieron en 3 grupos con 5 bloques cada uno.

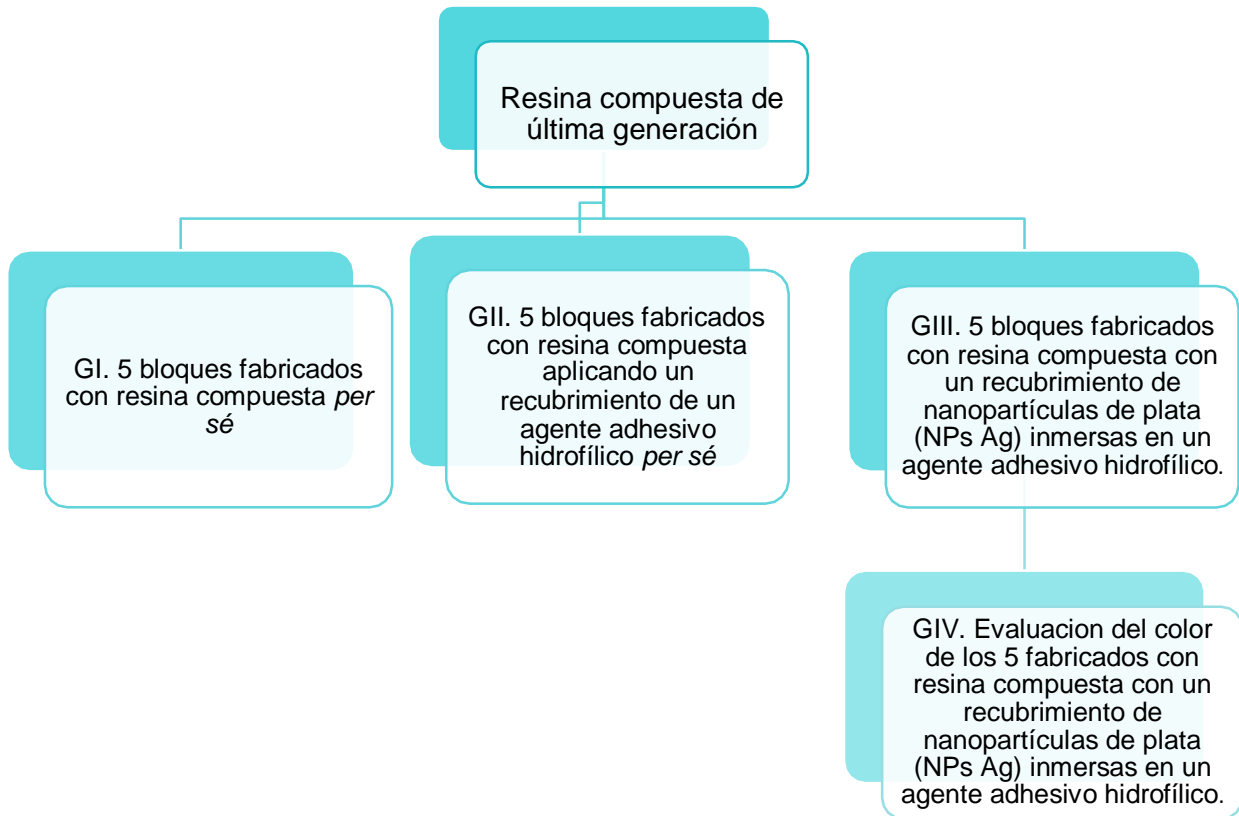


Figura 28. Diagrama de flujo de los grupos de estudio.

8.5 Análisis estadístico

El análisis consistió en el cálculo de los promedios y desviaciones estándar con los valores obtenidos en los diferentes grupos. El análisis se realizó utilizando la prueba ANOVA comparados con el método de Scheffé, para resolver el problema de comparaciones múltiples, considerando un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Variables de estudio

En la Tabla 2 se muestran las variables dependientes y en la Tabla 3 las variables independientes.

Tabla 2. Variables Dependientes				
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición
Microdureza	Se define como la resistencia a la penetración, al desgaste o al rayado de un material	Escala de Vickers. Mide la microdureza por medio de un pirámide de diamante por medio de un microdurómetro	Cuantitativa continua	NDV

Tabla 3. Variables Independientes.

Variable	Tipo de resina por grupos	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición
Resinas compuestas	<p>1. Resina compuesta per sé.</p> <p>2. Resina compuesta con un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico per sé.</p> <p>3. Resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico.</p> <p>4. Color de la resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico.</p>	<p>Material con una gran densidad de entrecruzamientos poliméricos, reforzados por una dispersión de sílice amorfo, vidrio, partículas de relleno cristalinas u orgánicas y/o pequeñas fibras que se unen a la matriz gracias a un agente de conexión.</p>	<p>Se confeccionaron 15 bloques de muestra de resina compuesta, las cuales se sometieron experimentalmente a sus cargas para mediar su resistencia y su desgaste.</p> <p>Así mismo evaluó si se observaba cambio de color en estas.</p>	<p>Cuantitativa</p> <p>Cualitativa</p>	Nominal

9. RESULTADOS

Se evaluaron 15 bloques de resina compuesta, dividiéndose en 3 grupos, midiendo 50 indentaciones por cada grupo, para la determinación de su micrudureza. En el análisis, se calcularon los valores del promedio y desviaciones estándar de cada grupo, así como los valores máximos y mínimos de cada uno respectivamente como se muestra en la Tabla 4. Posteriormente se realizaron las comparaciones de los promedios de los 3 grupos de muestras.

Las muestras de resinas compuestas *per sé* (GI), mostraron una dureza media de 51.81HV mayor, en comparación con las muestras de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico (GII) de 48.51HV.

Las muestras de resina compuesta aplicando un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico (GIII), mostraron una dureza de 54.58HV, mayor en comparación con las muestras de compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico (GII) de 48.51HV.

Las muestras de resinas compuestas *per sé* (GI), mostraron una dureza de 51.81HV considerablemente menor en comparación con las muestras de resina compuesta aplicando recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico (GIII) de 54.58HV.

Tabla 4. Valores promedio, desviación estándar, valores máximos y mínimos obtenidos en los diferentes grupos.

Grupo	Media	Desviación estándar	Valores Máximos	Valores Mínimos
GI	51.8118	6.807811447	66	39.02
GII	48.5136	12.88488274	105.8	28.75
GIII	54.5898	10.56108828	81.67	36.51

Como se ilustra en la Figura 29, se representó en una gráfica los valores máximos y mínimos de cada grupo analizado, así como también la desviación estándar y la media.

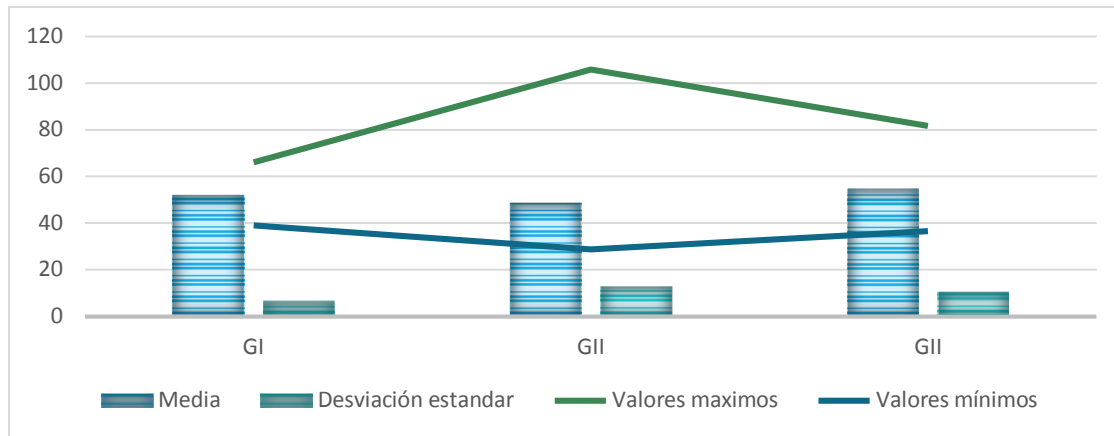


Figura 29. Muestra la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de cada grupo analizado.

En el análisis bivariado los resultados se sometieron a la prueba de ANOVA con nivel de significancia del 95% para comparar las medidas de dureza superficial. Los bloques de resina compuesta con un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico, mostró mayores valores de dureza superficial que los bloques de resina compuesta aplicando un recubrimiento de un agente adhesivo hidrofílico, siendo estadísticamente significativo ($p= 0.05$; como se muestra en la Tabla 5).

Tabla 5. Muestra las diferencias de significancia de la media de ($p= 0.05$), los valores máximos y mínimos en un intervalo del 95%.

Multiple Comparisons								
VHN								
Scheffe								
(I) GRUPO		(J) GRUPO		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
							Lower Bound	Upper Bound
dimension2	1	dimension3	2	3.29820	2.07815	.287	-1.8409	8.4373
			3	-2.77800	2.07815	.411	-7.9171	2.3611
	2	dimension3	1	-3.29820	2.07815	.287	-8.4373	1.8409
			3	-6.07620*	2.07815	.016	-11.2153	-.9371
	3	dimension3	1	2.77800	2.07815	.411	-2.3611	7.9171
			2	6.07620*	2.07815	.016	.9371	11.2153

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Tabla 6. Prueba de ANOVA comparando los promedios de todos los grupos. Obteniendo resultados estadísticamente significativos.

ANOVA					
VHN					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	925.260	2	462.630	4.285	.016
Within Groups	15871.251	147	107.968		
Total	16796.511	149			

En la Tabla 7, es posible comparar las muestras de las medias de los 3 diferentes grupos, mediante la técnica de ANOVA, por el método de Scheffé, se observa que las muestras de resina compuesta aplicando recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un agente adhesivo hidrofílico (GIII) tienen una media de mayor significancia comparado con el grupo de resina compuesta *per sé* (GII) considerándose estadísticamente significativo a los otros dos grupos.

Tabla 7. Comparación de promedio Vickers por grupos de acuerdo a la técnica de ANOVA por el método de Scheffé

VHN				
Scheffé				
GRUPO		N	Subset for alpha = 0.05	
			1	2
dimension1	2	50	48.5136	
	1	50	51.8118	51.8118
	3	50		54.5898
	Sig.		.287	.411
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 50.000.				

En el análisis cualitativo, al evaluar el cuarto grupo (GIV) en cuanto a cambio de color se observó la presencia de pigmentaciones de color blanco sobre los bloques de resina compuesta en los cuales fue aplicado un recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un adhesivo hidrofílico, con respecto al grupo dos (GII), en el cual únicamente solo coloco un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico y no hubo diferencia de color considerable (Figura 30).



Figura 30. Se muestran los bloques de resina compuesta con el recubrimiento de Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un adhesivo hidrofílico marcadas con la letra N y los bloques de resina compuesta con un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico.

10. DISCUSIÓN

El término "nano" se deriva de la palabra griega "nanos", que significa enano. La nanotecnología es la ciencia que trata con materiales, dispositivos u otras estructuras que se componen de partículas muy pequeñas, entre 1-100nm. El campo de la nanotecnología es muy diverso ya que incluye aplicaciones desde el desarrollo de nuevos dispositivos en física hasta el autoensamblaje molecular y al desarrollo de nuevos materiales. La nanobiotecnología surgió cuando la biotecnología y la nanotecnología se combinaron.

Las nanosoluciones pueden proporcionar partículas basadas en nanotecnología, que pueden ser añadidas a diferentes materiales, disolventes y polímeros que se dispersan homogéneamente (que es una de las acciones principales que se realizaron en esta investigación). De esta forma, la nanotecnología aplicada a los agentes de enlace, garantiza la homogeneidad y el adhesivo se puede mezclar perfectamente.

En odontología restauradora, el tratamiento dental implica la restauración de esas partes del diente que son afectadas como resultado de una enfermedad (caries), trauma o desarrollo anormal a un estado de salud, función normal y estética. La odontología restaurativa también implica el reemplazo de dientes faltantes mediante la colocación de una prótesis fija o removible. La restauración de las partes faltantes del diente se logra con materiales que se colocan en un entorno biológico e interactúan con los tejidos; por lo tanto, son llamados biomateriales. La búsqueda continua de los biomateriales mejora el rendimiento clínico y ha llevado a los científicos a participar en los logros de la nanotecnología en el campo de la fabricación de nuevos materiales dentales. Estos materiales con nanoescalas dimensionales, se llaman nanobiomateriales dentales.¹

Este material tiene que exhibir propiedades distintivamente diferentes del material a granel y una mayor eficiencia para ser considerado como un nanomaterial. Varios materiales dentales contienen moléculas bioactivas e interactúan con los tejidos duros y/o blandos mediante la promoción de algunas funciones del tejido dental, incluyendo a las resinas compuestas y cementos con remineralización, con capacidad y propiedades antibacterianas, implantes dentales con propiedades osteoinductivas.¹

El enfoque de este estudio fue en resinas compuestas (un material muy utilizado en odontología restauradora) y la evaluación de la microdureza de este mismo. La dureza determina el grado de deformación de un material y su resistencia a la indentación, esta característica es importante, tiene valor y parámetro primordial en las propiedades físicas de las resinas compuestas.

Este estudio tuvo como objetivo conocer el efecto que tienen las Nanopartículas de plata (NPs Ag) en la microdureza Vickers de las resinas compuestas. Aplicando en todas las muestras de los grupos, el terminado de la superficie por medio de una lámina cobre objetos y la lámpara para fotopolimerizar la resina compuesta *per sé*, para así obtener una uniformidad en los bloques realizados, y obtener una medición más confiable.

Estos resultados fueron corroborados por Park y Cols.¹⁹, quienes también verifican la influencia del pulido en la dureza de una resina compuesta, encontrando que se puede obtener una superficie lisa utilizando tiras de celuloide de igual manera. Por otro lado, el pulido puede proporcionar una superficie más resistente a la deformación.

Cabe destacar que en este estudio ninguna muestra fue pulida como tal, únicamente el terminado de la superficie fue medio de una lámina cobre objetos para crear una superficie lisa.

En esta investigación se decidió estudiar el campo de la nanotecnología, adicionando un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico con Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en una resina compuesta, utilizadas comúnmente en el mercado de la odontología restauradora.

Se buscó en este estudio evaluar si la microdureza de las resinas compuestas se incrementa al añadir Nanopartículas de plata (NPs Ag) sobre su superficie, siendo el resultado positivo.

No existen estudios similares que evalúen la eficacia de las Nanopartículas de plata (NPs Ag) sobre las propiedades físicas de algunos materiales, específicamente de la microdureza en resinas compuestas; sin embargo si existen investigaciones sobre la actividad antimicrobiana de la plata a comparación con otros metales.

La acción antimicrobiana de las resinas compuestas se logra mediante la adición de activos agentes antimicrobianos en el material y está restringido al área alrededor de la restauración. Los metales que se han usado durante siglos como agentes antimicrobianos como son la plata, el cobre, el oro, el titanio y el zinc y sus óxidos metálicos tienen diferentes propiedades antimicrobianas y diferentes espectros de actividad. Nanopartículas de metales y óxidos metálicos tienen notables propiedades antimicrobianas debido a su pequeño tamaño y su alta área de superficie a relación de su volumen que permite la presencia de una gran cantidad de átomos en la superficie y máximo contacto con bacterias. Además de que es poco probable que se desarrollen cepas resistentes a las nanopartículas metálicas. Las nanopartículas de plata tienen propiedades antibacterianas, antifúngicas, antivirales, de cicatrización de heridas y propiedades antiinflamatorias.¹

Se conoce que la plata tiene baja toxicidad y buena compatibilidad con células humanas. Se requieren más estudios para evaluar y determinar su citotoxicidad de manera exacta y si realmente mejora las propiedades físicas de los materiales que se utilizan en odontología restauradora.

11. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados promedio de los valores de microdureza en los grupos analizados en este estudio, se muestra que en el tercer grupo (GIII), el valor promedio es superior con respecto al primer grupo (GI) y el segundo grupo (GII). Demostrando con esto que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico con Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en el mismo, aumenta la microdureza Vickers significativamente en los bloques de resina compuesta analizados. Así mismo se muestra que en el segundo grupo (GII) el valor promedio es menor en comparación del primer grupo (GI) y el segundo grupo (GII), se demostró que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico disminuye microdureza Vickers en los bloques de resina compuesta.

12. SUGERENCIAS

Se sugiere realizar un estudio futuro en cuanto al análisis de color debido a que al agregar un recubrimiento de un adhesivo hidrofílico con Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en éste, se pudo observar un cambio de color significativo en cuanto a su superficie donde fue colocado, observándose pigmentaciones de color blanco sobre los bloques de resina. Por esta misma razón se pudiera indicar más adelante el uso de esta resina compuesta con un recubrimiento Nanopartículas de plata (NPs Ag) inmersas en un adhesivo hidrofílico, en dientes posteriores y en caras palatinas de dientes anteriores puesto que en dichas obturaciones no es tan elevado el compromiso con la estética y requieren mayor dureza debido a las fuerzas de masticación y oclusión aplicadas.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. In Grumezescu, Mihai Alexandru. (2016). *Nanobiomaterials in dentistry: Applications of Nanobiomaterials*. Rumania: ELSEVIER. 6ta edition, 1-11, 107-114, 135-143, 223, 311-315, 390, 432-434, 446.
2. Martínez, H. R., Abdala, H. M., Treviño, E., Garza, G., Pozas, A., & Rivera, G. (2011). Aplicación de la nanotecnología en odontología: Nano-odontología. *CES Odontología*, 24(2), 87-91.
3. Hamouda, I. M.(2012). Current perspectives of nanoparticles in medical and dental biomaterials. *Journal of biomedical research*, 26(3), 143-151.
4. Sokołowski, J., Szyrkowska, M. I., Kleczewska, J., Kowalski, Z., Sobczak-Kupiec, A., Pawlaczyk, A., & Łukomska-Szymańska, M. (2014). Evaluation of resin composites modified with nanogold and nanosilver. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 16(1), 51-61.
5. Alla, R. K., Swamy, K. R., Vyas, R., Konakanchi, A., Guduri, V., & Gadde, P. (2017). Influence of Silver Nanoparticles Incorporation on Flexural Strength of Heat-cure Acrylic Denture Base Resin Materials, *Annual Research & Review in Biology*, 17(4), 1-8.
6. Noronha, V. T., Paula, A. J., Durán, G., Galembeck, A., Cogo-Müller, K., Franz-Montan, M., & Durán, N. (2017). Silver nanoparticles in dentistry. *Dental Materials*, 33(10), 1110-1126.
7. José Luis Cova N. (2009). *Biomateriales Dentales*. Amolca. Caracas, Venezuela; Segunda Edición, 245-278.
8. Federico Humberto Barceló Santana, Jorge Mario Calero. (2008). *Materiales dentales conocimientos básicos aplicados*. México, Argentina, España, Colombia, Puerto Rico, Venezuela; Trillas. Primera Edición, 105-120.
9. Rony Joubert Hued. (2010). *Odontología Adhesiva y Estética*. Madrid, España; RIPANO, S.A. Primera Edición, 25-78.

10. Kenneth J. Anusavice. (2004). *Phillips Ciencia de los materiales dentales*. Malaga, España; ELSEVIER SAUNDERS. 11° Edición, 77-99, 381-389.
11. Gilberto Henostroza Haro. (2010). *Adhesión en odontología restauradora*. RIPANO, S.A. Madrid, España; Segunda Edición; 20-41.
12. Reis Alessandra y Alessandro Dourado Loguercio. (2012). *Materiales dentales directos de los fundamentos a la aplicación clínica*. Sao Paulo, Brasil; Gen Editorial Nacional; Santos Editora. Primera edición; 137-216.
13. Gerardo Piconi. (2011). *El zirconio en Odontología*. AMOLCA. Caracas, Venezuela; Primera edición; 34-38.
14. Avner, S. H., & Aracama, L. L. (1996). *Introducción a la metalurgia física*. New York City; (No. TN690. A96 1988.). McGraw-Hill. Gerardo Piconi. (2011).
15. Addition to the methodology of research into permanent teeth hardness. (2010). *Archives of Biological Sciences*, 62(3), 739-746.
16. Seow, W. K., & Amaratunge, A. (1998). The effects of acid-etching on enamel from different clinical variants of amelogenesis imperfecta: an SEM study. *Pediatric dentistry*, 20(1), 37-42.
17. Chuenarrom, C., Benjakul, P., & Daosodsai, P. (2009). Effect of indentation load and time on knoop and vickers microhardness tests for enamel and dentin. *Materials Research*, 12(4), 473-476.
18. Shackelford, J. F. (1995). *Ciencia de materiales para ingenieros*. Barcelona, España; Prentice Hall Hispanoamericana. Tercera Edición. Traducción al español, 113-146.
19. Park S. Krejčil, Lutz. (2000). *Hardness of celluloid strip finished or polished composite surfaces whith time*. *J Prosthetic Dentistry*;83(6):660-3