



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLÓGÍA RESTAURADORA**

**EVALUACIÓN DE LA RADIOPACIDAD DE RESINAS COMPUESTAS
DE TIPO BULK-FILL**

Paulina Paredes Rüdiger

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

Dra. Camila Corral Núñez

TUTORES ASOCIADOS

Dr. Juan Estay Larenas

Dra. Sylvia Osorio Muñoz

**Adscrito a Proyecto PRI-ODO 01/017 “Evaluación de la radiopacidad de
materiales dentales restauradores”
Santiago - Chile
2018**



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA
DEPARTAMENTO DE ODONTOLÓGÍA RESTAURADORA**

**EVALUACIÓN DE LA RADIOPACIDAD DE RESINAS COMPUESTAS
DE TIPO BULK-FILL**

Paulina Paredes Rüdiger

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
CIRUJANO-DENTISTA**

TUTOR PRINCIPAL

Dra. Camila Corral Núñez

TUTORES ASOCIADOS

Dr. Juan Estay Larenas

Dra. Sylvia Osorio Muñoz

**Adscrito a Proyecto PRI-ODO 01/017 “Evaluación de la radiopacidad de
materiales dentales restauradores”
Santiago - Chile
2018**

Dedicado a mi mamá y mi papá

AGRADECIMIENTOS

Gracias a los doctores Juan Estay y Sylvia Osorio por su apoyo, ayuda y sus enseñanzas, no solo en lo que respecta a este trabajo de investigación, sino también en las instancias en que compartimos como docente y alumna. Muchas gracias a la doctora profesora Camila Corral por su constante buena disposición y ayuda, por todo el conocimiento entregado, por tenerme en cuenta para este proyecto, pero, sobre todo, por su simpatía y amabilidad como tutora, docente y persona.

A mi familia. Gracias papis, por todo su amor y todas las oportunidades que me han dado en la vida, soy increíblemente afortunada gracias a ustedes, esto es tanto mi fruto como el suyo. A mis hermanitas por ser un apoyo, gracias por estar siempre ahí cuando las necesité.

Al Joaco por acompañarme en la mayor parte de este largo camino, por ser mi principal apoyo cuando creía que no podía dar más y consuelo en los momentos de frustración.

A mis queridísimos amigos. A la Fran y la Javito, por soportarme, por ser las mejores cómplices y consejeras, por siempre escucharme y ponerme de buen humor. También a Alonso, Jose, Lu, Nico, Igna, Cami y Paci: gracias por compartir todas las difíciles experiencias de la carrera, gracias por esos buenos momentos, por todos esos lindos gestos y todos los ratos de risas.

A Luchito por siempre salvarme en el laboratorio, recibirme allí como en par y compartir tu sabiduría conmigo, muchísimas gracias. Gracias también a los amables funcionarios, que me ayudaron y me concedieron pequeños milagros.

ÍNDICE

I. Resumen	7
II. Marco Teórico	8
1. Radiopacidad	8
2. Resinas compuestas	9
3. Radiopacidad de Resinas Compuestas	16
4. Radiopacidad de Resinas Compuestas tipo Bulk-fill	18
III. Hipótesis	20
IV. Objetivos	20
1. Objetivo General	20
2. Objetivos Específicos	20
V. Metodología	21
1. Tipo de Estudio	21
2. Materiales	21
3. Preparación de los cuerpos de prueba	22
4. Evaluación de Radiopacidad	24
5. Análisis Estadístico	27
VI. Resultados	28
VII. Discusión	36
VIII. Conclusiones	42
X. Referencias Bibliográficas	43

I. RESUMEN

Introducción: La radiopacidad es una propiedad esencial de los materiales restauradores dentales. Un adecuado contraste radiográfico de la restauración con estructuras dentales permite evaluar sus márgenes, puntos de contacto y lesiones de caries, entre otros. Recientemente, aparece un nuevo tipo de resinas compuestas, las llamadas “bulk-fill”. Las modificaciones en su composición le permiten ser aplicadas en incrementos de mayor grosor que las resinas convencionales. Sin embargo, actualmente se desconoce el grado de radiopacidad de estos materiales. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la radiopacidad de resinas compuestas bulk-fill, comparándola con materiales convencionales y con los requisitos exigidos por normativas internacionales. **Materiales y métodos:** Se evaluó la radiopacidad de resinas compuestas bulk-fill (SureFil SDR flow, Dentsply; X-tra base, VOCO; Filtek® Bulk-fill, 3M; X-tra fil, VOCO) siguiendo la metodología de la norma ISO 4049:2009. Resinas compuestas convencionales se utilizaron como material de referencia. Por cada material a evaluar se confeccionaron 5 discos de $1 \pm 0,1$ mm de grosor y 10 mm de diámetro. Las muestras se radiografiaron junto a una cuña de aluminio (de 1 a 10 mm) sobre una placa de fosforo fotoestimulable. Posteriormente, las imágenes fueron analizadas, para determinar el valor en escala de grises de las muestras y su respectivo valor en mm equivalentes de Al. Los datos se analizaron estadísticamente mediante el software SPSS Statistics 21.0. **Resultados:** Las resinas compuestas Filtek® Bulk-fill, 3M; X-tra fil, VOCO; X-tra base, VOCO y SureFil SDR flow, Dentsply presentaron radiopacidades de 2.29, 2.47, 2.47 y 2.91 mm Al respectivamente y no presentaron diferencias significativas entre sí. No se hallaron diferencias significativas de RO entre resinas compuestas convencionales y de tipo bulk-fill. Las resinas compuestas bulk-fill cumplen con el requisito de radiopacidad establecido por la norma ISO 4049:2009. **Conclusiones:** Las resinas compuestas bulk-fill presentan radiopacidad de 2.29-2.91 mm de Al, la cual es adecuada según la norma internacional. No se hallaron diferencias significativas con resinas compuestas convencionales.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. RADIOPACIDAD (RO)

El uso de rayos X es relevante en odontología clínica, considerándose a la radiografía dental como el principal examen complementario del odontólogo. (Whaites, 2010). Tradicionalmente, la imagen se generaba al pasar los rayos X a través de un objeto e interactuar con la emulsión de la película radiográfica, la cual se ennegrecía. Actualmente, la película se ha ido reemplazando por una variedad de sensores digitales y la correspondiente creación de imagen por computador. La intensidad con que la emulsión o la imagen generada por computadora se ennegrece depende del número de rayos X que llegan a la película o sensor, lo que a su vez depende de la densidad del objeto que atraviesen los rayos X.

La RO es una propiedad esencial para todos los materiales restauradores. Un material radiopaco ofrece importantes ventajas sobre uno radiolúcido, ya que permite evaluar su adaptación marginal, contorno proximal, proximidad a cámara pulpar y detectar caries adyacentes (Salzedas y cols., 2006; Tarcin y cols., 2016; Yasa E. y cols.; 2015; Yildirim y cols., 2017). Varios factores pueden influir en la radiopacidad de un material, como la composición, el tipo de restauración, el grosor, el sistema de procesamiento de la radiografía (digital o convencional), el tipo de sensores digitales y los parámetros de configuración del dispositivo, es decir, tiempo de exposición, voltaje y distancia del objetivo (Yasa E. y cols., 2015).

A finales de la década de los 80s, se introdujo por primera vez un sistema de radiografía digital en la odontología (Kapila y cols., 2015). Una de las principales ventajas de los sistemas digitales es que son más sensibles que la película tradicional de haluro de plata y permiten reducir la exposición a la radiación, lo que es favorecedor tanto para el paciente como para el operador. Otra ventaja es que este procesamiento radiográfico no requiere de productos químicos, por lo que los resultados de la imagen radiográfica son más consistentes, ya que el revelado de la película tradicional puede producir variaciones significativas, a menos que se utilice

un método estandarizado (Kapila y cols., 2015; Salzedas y cols., 2006; Yasa E. 2015).

El sistema de radiografía digital es también ampliamente utilizado para realizar investigación sobre RO de materiales dentales. Ya que, al tener una imagen digital, es posible calcular de una manera simple y reproducible valores medios de gris de las imágenes con softwares específicos. La escala de grises en la imagen digital tiene una relación inversa con la densidad óptica, siendo asignado al blanco un valor de 255 (para una imagen de 8 bits) y al negro 0 (Kapila y col., 2015; Yasa E. Y cols., 2015).

II.2. RESINAS COMPUESTAS (RC)

Actualmente las RC son ampliamente utilizadas en odontología por sus propiedades estéticas, mecánicas y su adhesividad a los tejidos dentales duros (Yildirim y cols., 2016). Destaca su uso en restauraciones posteriores, el cual ha aumentado en las últimas décadas, por la mayor demanda de restauraciones estéticas por parte de los pacientes junto a mejoras de sus propiedades mecánicas (Salzedas y cols., 2006).

En el año 1962 aparecieron las RC de la mano del Dr. Ray L. Bowen, quien desarrolló un material compuesto en base a monómero de bisfenol A-glicidildimetacrilato (Bis-GMA) y relleno inorgánico unido a un agente de unión, silano. Este último, permite a través de un enlace químico unir monómero con el relleno inorgánico (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004). Las primeras RC eran de curado químico, iniciando su polimerización al mezclar la pasta catalizadora con la pasta base. Sin embargo, presentaban varias falencias, como una alta variación dimensional térmica, gran contracción de polimerización, baja resistencia a la abrasión y cambios de color (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004). Con el tiempo y en estos más de 50 años, las RC han sido objeto de grandes modificaciones en la búsqueda por mejorar sus propiedades mecánicas y estéticas. Actualmente, la gran

mayoría de ellas polimeriza activándose con luz y se presentan como una masa altamente viscosa de fácil manipulación.

Las RC se componen básicamente de tres materiales químicamente diferentes: la matriz orgánica o monomérica, la matriz o relleno inorgánico y un agente de acoplamiento (Hervás-García y cols., 2006; Rawls y Esquivel-Upshaw., 2004). La matriz orgánica está constituida por un sistema de monómeros, siendo los más usados el Bis-GMA y el dimetacrilato de uretato (UDMA), los que son de alto peso molecular y por lo tanto altamente viscosos. Debido a su alta viscosidad son diluidos con monómeros de bajo peso molecular, tales como etilenglicol-dimetacrilato (EGDMA) y el trietilenglicol-dimetacrilato (TEGDMA), obteniéndose así una pasta clínicamente manejable (Hervás-García y cols., 2006; Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).

La matriz inorgánica o relleno inorgánico le otorga a las RC sus propiedades físicas y mecánicas. Reduce el coeficiente de expansión térmica, disminuye la contracción de polimerización, proporciona radiopacidad, mejora la manipulación e incrementa la estética. Se utilizan distintas partículas de relleno, destacando aquellas derivadas del cuarzo, como el dióxido de silicio, borosilicatos y aluminosilicatos de litio. Muchos fabricantes reemplazan de forma parcial las partículas de cuarzo, incorporando metales pesados, como bario, estroncio, zinc, zirconio y aluminio, que son elementos de alta radiopacidad (Hervás-García y cols., 2006; Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).

Finalmente, el tercer elemento básico en la composición de las RC es el agente acoplante o de unión. Debido a que las matrices orgánica e inorgánica son incompatibles entre sí, se cubre a las partículas de relleno inorgánico con vinil silano, cuya molécula posee grupos silánicos, que generan una unión iónica con el dióxido de silicio, y grupos metacrilatos, que generan una unión covalente con la matriz polimérica de la resina. (Hervás-García y cols., 2006). Esta unión química entre ambas matrices es de vital importancia, ya que otorga mejores propiedades físicas y mecánicas, como la transmisión de fuerzas de la matriz orgánica a la

inorgánica, además de prevenir la penetración del agua a través de la interfase entre el relleno y la resina (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).

Además de los tres componentes principales ya mencionados, las RC presentan otros elementos constituyentes, tales como:

- El sistema iniciador de la polimerización por radicales libres: el iniciador otorga la energía suficiente para romper el doble enlace de carbono de las moléculas de monómero, quedando así electrones libres capaces de reaccionar con otras moléculas de monómero hasta completar la polimerización. Este sistema puede activarse de forma química o física (luz y calor). El iniciador más ampliamente utilizado es la canforquinona, que se activa por luz visible a una longitud de onda de 468 nanómetros (Hervás-García y cols., 2006; Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).
- Inhibidores: se agregan para evitar la polimerización espontánea, reaccionando fácilmente con los radicales libres, evitando la propagación en cadena (Hervás-García y cols., 2006 (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).
- Modificadores ópticos: pigmentos consistentes en óxidos metálicos que permiten lograr la apariencia de las estructuras dentarias (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).

Las RC pueden clasificarse según varios criterios y uno de ellos es en base al tamaño de las partículas de relleno que contienen. En un comienzo, las RC tenían un tamaño medio de partícula que era mucho mayor que 1 micrómetro (μm), pudiendo incluso llegar a los 100 μm . Estas resinas de “macrorelleno” eran muy resistentes, debido a su alto contenido de carga (70-80% en peso, 60-65% en volumen) (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004), pero con una rugosidad de superficie y pulido deficiente (Ferracane, 2011).

Para lograr buenas propiedades estéticas, los fabricantes comenzaron a formular RC de “microrrelleno” con un tamaño medio de partículas de 0,04 μm (Ferracane, 2011). La carga de relleno en estos materiales era baja (50% en peso,

30% en volumen), pero podía aumentarse incorporando partículas de resina prepolimerizada (Ferracane, 2011; Puckett y cols., 2007). Las RC de microrrelleno logran un buen pulido, estabilidad de color y buena textura superficial, pero poseían baja resistencia mecánica. La búsqueda de RC con adecuadas propiedades estéticas, pero a la vez con buenas propiedades mecánicas continuó (Ferracane, 2011; Puckett y cols., 2007). Las mejoras en cuanto al tamaño de las partículas de relleno dieron como resultado las resinas compuestas híbridas las cuales contienen dos tipos de partículas de relleno: partículas con tamaño de entre 1 y 5 μm y micropartículas de aproximadamente 0,04 μm . Esta combinación de tamaños les otorgaría a las RC híbridas propiedades mecánicas de una RC de macrorrelleno y las cualidades estéticas de una RC de microrrelleno (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004).

Siguiendo con este concepto híbrido, que lograba la obtención tanto de propiedades mecánicas como estéticas aparecieron las RC "microhíbridas", que incorporan partículas submicrónicas, cerca de 0,04 μm , y pequeñas partículas de 0,4 - 1,0 μm (Ferracane, 2011; Puckett y cols., 2007). Estas RC poseen aproximadamente un 65% de relleno en volumen y son consideradas "universales", ya que pueden usarse para la mayoría de las aplicaciones en el sector anterior y posterior gracias a su combinación de resistencia mecánica y buen pulido (Ferracane, 2011). De forma más reciente se han desarrollado RC de "nanorelleno", que contienen sólo partículas de tamaño nanométrico, de 20 a 75 nanómetros (nm) y una carga de relleno cerca de 75-85% en peso y 60% en volumen (Rawls y Esquivel-Upshaw; 2004). La mayoría de los fabricantes han modificado las formulaciones de sus RC microhíbridas para incluir nanopartículas y rellenos de resina prepolimerizados, similares a los de las resinas de microrelleno, y han denominado a este grupo "nanohíbridos" (Ferracane, 2011). En general, las RC nanohíbridas y microhíbridas presentan propiedades muy similares, tales como la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad, aun cuando los nanohíbridos se sitúan en un rango ligeramente inferior, ambas se ubican en un rango mayor que las de microrelleno (Ferracane, 2011).

Otra forma de clasificar las RC es según su consistencia. Las RC convencionales se presentan de forma comercial dentro de tubos y son manipulables con espátulas, a diferencia de las RC fluidas, las cuales cuentan con una presentación de jeringa con finas agujas para ser aplicadas directamente a la cavidad. Este tipo de resinas presenta una baja viscosidad, adaptándose fácilmente a espacios reducidos, propiedad que logran gracias a la incorporación de surfactantes y/o a expensas de una reducción en el contenido de relleno inorgánico, lo que conlleva a propiedades mecánicas disminuidas. Debido a su menor contenido de relleno (37-53% en volumen en comparación al 50-70% en volumen de las resinas universales), a las resinas fluidas no se las considera adecuadas para restauraciones que estarán expuestas a altas exigencias mecánicas, indicándose como sellantes de fosas y fisuras, liners, restauración de cavidades mínimamente invasivas y restauraciones cervicales (Baroudi y Rodrigues, 2015)

Según consistencia también existen las RC condensables, diseñadas para proporcionar una resistencia significativa a un condensador para así lograr mejores contactos interproximales. Este tipo de RC alcanzan su consistencia altamente viscosa mediante la modificación de las distribuciones y el tamaño de relleno o mediante la adición de otros tipos de partículas, como fibras, pero generalmente no aumentando el nivel de relleno general. Actualmente se encuentran en desuso (Ferracane, 2011).

Las RC convencionales se aplican en incrementos que se polimerizan por separado para controlar la contracción de polimerización y asegurar una adecuada profundidad de polimerización (Van Ende y cols., 2017). A esta aplicación en incrementos de aproximadamente 2 mm, se le ha llamado “técnica incremental”, la cual ha sido considerada el estándar para la aplicación de estos materiales (Van Ende y cols., 2017). Sin embargo, esta técnica presenta una serie de desventajas como son la posibilidad de incorporar contaminaciones o burbujas entre capas, dificultad en la aplicación por espacio limitado y necesidad de mayor tiempo clínico (Van Ende y cols., 2017). Pensando en estas limitantes, varios fabricantes han desarrollado RC bulk-fill, que pueden ser aplicadas en la cavidad mediante una

técnica de monobloque o una capa, en incrementos de hasta 4 - 5 mm (Corral y cols., 2015).

Para permitir una adecuada polimerización de estos incrementos, los fabricantes han realizado diversas modificaciones en la composición de las RC Bulk-fill, entre ellas, aumento de la translucidez del material (Fronza y cols. 2017) y uso de sistemas fotoiniciadores optimizados (Van Ende y cols., 2017). Adicionalmente se ha modificado la matriz monomérica, la cual es similar a las RC convencionales (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, EBPDMA), pero se han agregado monómeros distintos, o modificado el Bis-GMA, añadiendo monómeros de menor viscosidad (Corral y cols., 2015). También se han reportado diferencias en el relleno inorgánico de estas RC. Observándose niveles menores a los de las RC universales, siendo estos valores comparables a las RC fluidas en porcentaje de relleno por volumen (Corral y cols., 2015). Se estima que esta menor proporción de relleno, junto al aumento de tamaño de las partículas, proporcionarían una disminución en la diferencia de índice de refracción de la luz entre matriz y relleno, mejorando así la penetración de la luz, permitiendo aumentar la profundidad de polimerización (Corral y cols., 2015). A pesar de que los fabricantes han declarado algunos componentes con sus respectivas modificaciones, existen otros, más específicos, de los cuales aún se desconoce su naturaleza (Corral y cols., 2015).

Basados en las diferentes estrategias de uso, las RC bulk-fill pueden clasificarse en dos grupos: de base y de "full-body". Las RC bulk-fill de base suelen tener baja viscosidad, por lo cual también se las suele llamar RC bulk-fill fluidas. Debido a su fluidez estas RC son dispensadas a través de una jeringa, lo que facilita la aplicación y adaptación en las cavidades menos accesibles (Van Ende y cols., 2017). Estas RC tienen un menor contenido de partículas de relleno, por lo que sus propiedades mecánicas son más bajas y son menos resistentes a la abrasión, así que deben ser cubiertas en oclusal por una capa superficial de RC convencional (Van Ende y cols., 2017), como se ilustra en **Figura 1**.

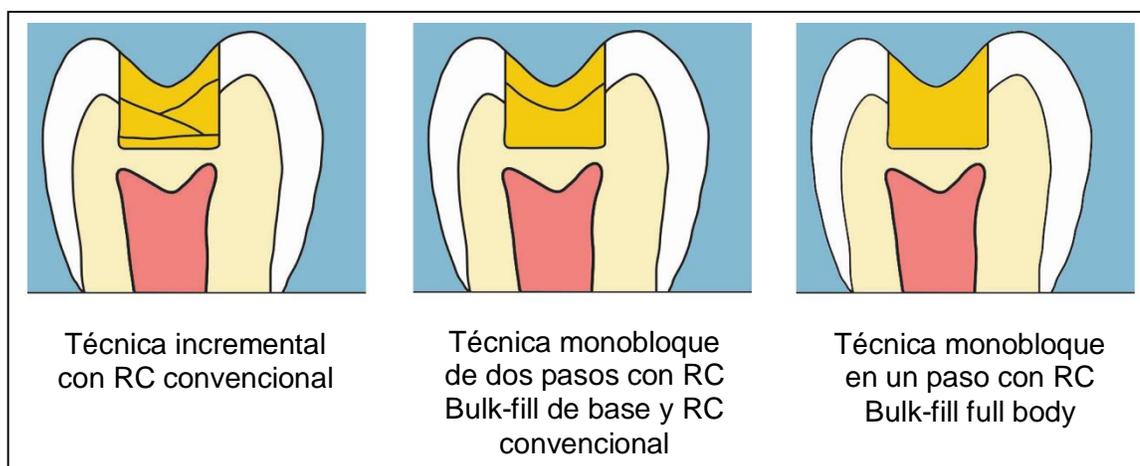


Figura 1. Esquema de la técnica incremental de aplicación de RC convencional, aplicación de RC Bulk-fill de base y de técnica monobloque con RC bulk-fill full body (modificado de Corral y cols., 2015).

Las RC bulk-fill “full-body” pueden considerarse como las únicas resinas Bulk-fill reales, ya que no requieren de ninguna cobertura. Estos materiales generalmente tienen mayores cargas de relleno, lo que las hace muy viscosas. El mayor contenido de relleno hace que la superficie sea más resistente al desgaste y, debido a la alta viscosidad, es moldeable y puede esculpirse (Van Ende y cols., 2017).

II.3. RADIOPACIDAD DE RESINAS COMPUESTAS

Las caries secundarias y la fractura constituyen la causa principal de fracaso de restauraciones de RC (Astvaldsdottir y cols., 2015; Demarco y cols., 2012; Kopperud y cols., 2012), lo que lleva al recambio y/o reparación de las mismas. Al respecto, existen estudios que validan el uso de la radiografía como examen complementario para el diagnóstico de caries secundarias debido a su alta especificidad y a que ha demostrado ser costo-efectiva (Brouwer y cols., 2016; Schwendicke y cols., 2016). Conjuntamente, se ha reportado la importancia de que las restauraciones de RC sean radiopacas para una correcta detección de caries, evaluación de márgenes, puntos de contacto y otros defectos que puedan comprometer el éxito de la restauración (Espelid y cols., 1991; Pedrosa y cols., 2011). Con el paso de los años las RC se han comenzado a usar cada vez más en el sector posterior (Corral y cols., 2015) donde se recurre con mayor frecuencia al método radiográfico para la detección de caries (Brouwer y cols., 2016). Dado lo anterior es de gran importancia que el material presente un nivel de radiopacidad que facilite el diagnóstico.

La RO de las RC está determinada por su composición (Almasi y cols., 2016; Tarcin y cols., 2016; Kapila y cols., 2015). La RO de las RC, generalmente aumenta al tener un mayor porcentaje de relleno y al incrementar el porcentaje de elementos con altos números atómicos en este (Kapila y cols., 2015). Cuanto más alto sea el número atómico (Z) del elemento añadido al relleno y mayor sea su concentración, mayor será la RO del material (Kapila y cols., 2015; Whaites, 2010). Por lo tanto, frecuentemente los fabricantes incluyen elementos químicos como iterbio ($Z=70$), lantano ($Z=57$), bario ($Z=56$), circonio ($Z=40$), itrio ($Z=39$), estroncio ($Z=38$) y zinc ($Z=30$) para aumentar la RO de las RC (Almasi y cols., 2016; Kapila y cols., 2015; Yasa B. y cols., 2015; Yasa E. y cols., 2015).

Tanto la International Organization for Standardization (ISO) como el American National Standard Institute (ANSI/ADA), han recomendado procedimientos estandarizados para cuantificar la RO de los materiales utilizando el aluminio como medida de referencia (Yasa E. y col., 2015). Se utiliza el aluminio

como parámetro debido a que ISO considera que la RO de la dentina es aproximadamente equivalente a la del aluminio del mismo espesor (Raitz y cols., 2016; Tarcin y cols., 2016; Thompson, 2011; Yasa E. y cols., 2015) y el esmalte tiene aproximadamente el doble de la radiopacidad del aluminio del mismo grosor (Kapila y cols., 2015; Tarcin y cols., 2016; Yasa E., 2015). La normativa ISO 4049:2009 “Odontología - Materiales restauradores a base de polímeros” estipula que *“si el fabricante afirma que el material es radiopaco [...] la radiopacidad, [...] será igual o superior a la del mismo espesor de aluminio y no menor a 0,5 mm por debajo de cualquier valor indicado por el fabricante”*, por lo tanto, al establecerse que la RO de las RC debe ser igual o superior a la del aluminio, se desprende que debe ser igual o superior a la RO de la dentina.

A pesar de que la norma ISO 4049:2009 establece que la RO de RC debe ser igual o superior a la de la dentina, varios autores han recomendado valores similares o superiores a la del esmalte (Espelid y cols., 1991; Pedrosa y cols., 2011). De esta forma, se facilita la evaluación de la interfaz entre restauración y diente, los defectos marginales y las caries secundarias, las cuales usualmente se ubican en el tercio gingival de las restauraciones (Salzedas y cols., 2006; Tarcin y cols., 2016). Otros autores también consideran que debería existir un límite superior para la RO de las RC, ya que los materiales muy radiopacos, como la amalgama, dificultan la evaluación de adaptación marginal y enmascaran las caries debido a la superposición (Raitz y cols., 2016; Almasi y cols., 2016). Además, una alta radiopacidad cerca de un área menos radiopaca puede crear el efecto de la “banda Mach”, que produce una ilusión visual que realza el contraste entre una zona más clara y una más oscura, haciendo que el área oscura en el límite parezca más oscura. Este efecto puede ser mal interpretado como una lesión de caries (Espelid y cols., 1991; Whaites, 2010).

Una de las técnicas utilizadas para evaluar la RO de los materiales dentales ha sido la comparación con una cuña escalonada de aluminio de alta pureza, la cual en cada escalón presenta un espesor específico mayor al del escalón anterior. Esta cuña es radiografiada junto a las muestras de las resinas compuestas bajo

condiciones radiográficas controladas. Posteriormente la RO del material suele expresarse en términos de su equivalente en milímetros de aluminio, usando una curva de calibración de referencia (Raitz y cols., 2016; Salzedas y cols., 2006).

II.4. RADIOPACIDAD DE RESINAS COMPUESTAS TIPO BULK-FILL

La composición de las RC es el factor que más afecta la RO, siendo en particular el contenido del relleno inorgánico, y la densidad de elementos de alto número atómico en él, lo que favorecería esta propiedad. Por ende, las diferentes proporciones de relleno inorgánico que poseen las RC bulk-fill, teóricamente, pueden llevar a una variación en la RO entre ellas. Mientras nuevos materiales ingresen al mercado, los estudios para evaluar la RO de estos son de gran utilidad e importancia para evitar interpretaciones erróneas durante el diagnóstico por imágenes (Tarcin y cols., 2016; Yildirim y cols., 2017,).

Según la literatura, la radiopacidad de las RC convencionales, independientemente del tipo, presenta variaciones entre diferentes marcas comerciales (Kapila y cols., 2015; Salzedas y cols., 2006; Yasa E. y cols., 2015). Independiente del sistema radiográfico y del método de evaluación, se han reportado valores de RO de RC convencionales desde valores cercanos a 1 mm de aluminio (mm Al) hasta aproximadamente 4 mm Al, siendo en algunos casos incluso mayores (Yasa E. y cols., 2015). Considerando que la composición de las RC bulk-fill difiere de las RC convencionales en cuanto a formulación química del monómero y características del relleno (tipo, fracción volumétrica, densidad y tamaño y distribución de las partículas), radiológicamente también podrían presentarse diferencias (Yasa E. y cols., 2015). Estudios recientes han demostrado que sí existe variabilidad en el grado radiopacidad de distintas RC bulk-fill (Tarcin y cols., 2016; Yasa B. y cols., 2015; Yasa E. y cols., 2015). Autores han reportado menores valores de radiopacidad en RC bulk-fill con menor porcentaje de relleno en peso y volumen (Yasa E. y cols., 2015). Mientras que también se han reportado algunas RC bulk-fill que exceden la radiopacidad del esmalte, pudiendo no ser tan favorable

por el probable efecto de “banda Mach” (Yasa E. cols., 2015).

Recientemente se han introducido nuevas RC bulk-fill al mercado y pocos estudios independientes han evaluado su RO. Además, estos estudios evalúan solo algunas RC bulk-fill y no siempre se apegan estrictamente a lo establecido por las normas ISO, si no que buscan evaluar variaciones del método (Tarcin y cols. 2016, Yasa E. cols., 2015). Es por ello que este trabajo tiene por finalidad evaluar la radiopacidad de diversas RC bulk-fill del mercado nacional, siguiendo un protocolo estandarizado (Vega y cols., 2017) que se ajusta a los requerimientos establecidos por la normativa ISO.

III. HIPOTESIS

Existen diferencias de radiopacidad entre resinas compuestas tipo bulk-fill entre sí, y con resinas compuestas convencionales, y cumplen los requisitos de radiopacidad establecidos por la norma ISO 4049:2009.

IV. OBJETIVOS

IV.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la radiopacidad de resinas compuestas bulk-fill en comparación con resinas compuestas convencionales verificando si cumplen los requisitos de radiopacidad establecidos por la ISO 4049:2009.

IV.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el valor de radiopacidad en mm de Al de resinas compuestas tipo bulk-fill:
 - SureFil SDR flow (Dentsply)
 - X-tra base (VOCO)
 - Filtek® Bulk-fill (3M)
 - X-tra fil (VOCO)

- Comparar los valores de radiopacidad obtenidos entre las distintas resinas compuestas de tipo bulk-fill.

- Determinar el valor de radiopacidad en mm de Al de resinas compuestas convencionales y comparar los valores de radiopacidad tipo bulk-fill y las resinas compuestas convencionales

- Determinar si los valores de radiopacidad cumplen con el valor mínimo requerido por la ISO 4049: 2009.

V. METODOLOGÍA

V.1. TIPO DE ESTUDIO

Esta investigación consistió en un estudio experimental *in vitro*, el cual permitió determinar y comparar la radiopacidad de diversas marcas comerciales de resinas compuestas de tipo bulk-fill disponibles en el mercado nacional. La investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Nanobiomateriales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile y en el Servicio de Imagenología de la Clínica Odontológica de la misma facultad.

V.2. MATERIALES

Grupos experimentales:

Resinas compuestas tipo bulk-fill (Figura 2, f-i)

- SureFil SDR flow (Dentsply): RC bulk-fill fluida
- X-tra base (VOCO): RC bulk-fill fluida
- Filtek® Bulk-fill (3M): RC bulk-fill full body
- X-tra fil (VOCO): RC Bulk-fill full-body

Resinas compuestas convencionales (Figura 2, a-e)

- Spectra Basic (Dentsply): RC convencional microhíbrida
- Polofil Supra (VOCO): RC convencional microhíbrida
- Spectra Smart (Dentsply): RC convencional nanohíbrida
- Polofil NHT (VOCO): RC nanohíbrida
- Filtek® Z350 XT (3M): RC convencional nanorelleno

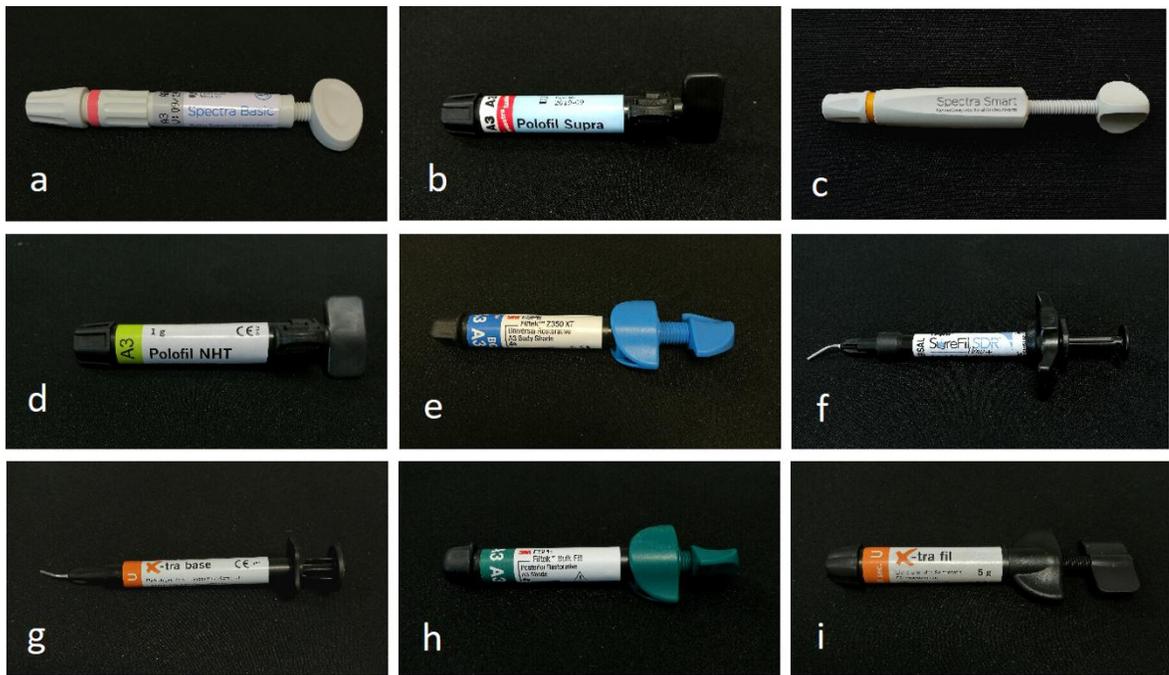


Figura 2. Tubos de resinas compuestas incluidas en el estudio. (a) Spectra Basic, (b) Polofil Supra, (c) Spectra Smart, (d) Polofil NHT, (e) Filtek® Z350 XT, (f) SureFil SDR flow, (g) X-tra base, (h) Filtek® Bulk-fill, (i) X-tra fil.

V.3 PREPARACIÓN DE LOS CUERPOS DE PRUEBA

La preparación de los especímenes de RC de cada material se realizó según la normativa ISO 4049 (ISO, 2009). Para ello se utilizaron moldes fabricados mediante una impresora 3D de diámetro interno de $10,0 \pm 0,1$ mm y $1,0 \pm 0,1$ mm de grosor. El molde de policarbonato se posicionó sobre un portaobjetos de vidrio y a ambos se les aplicó una capa de vaselina sólida. El material se aplicó según las instrucciones del fabricante en el molde y sobre él se posicionó otro portaobjetos cubierto de vaselina, manteniéndolo ensamblado con un clamp metálico. A continuación, se fotopolimerizaron los especímenes con lámpara de curado (Curing Light 2500, 3M dental product, 220 V, 50/60 Hz, 0,5 A) por el tiempo especificado por el fabricante para cada material. Luego de polimerizadas, las muestras fueron pulidas con discos de pulido (Sof-lex, 3M) y calibradas utilizando pie de metro digital (pie de metro E5001002, RedLine Mechanics, China) para verificar que presentaran

un grosor de $1,0 \pm 0,1$ mm. En la figura 3 se presentan fotografías del proceso de fabricación de las muestras anteriormente explicado.

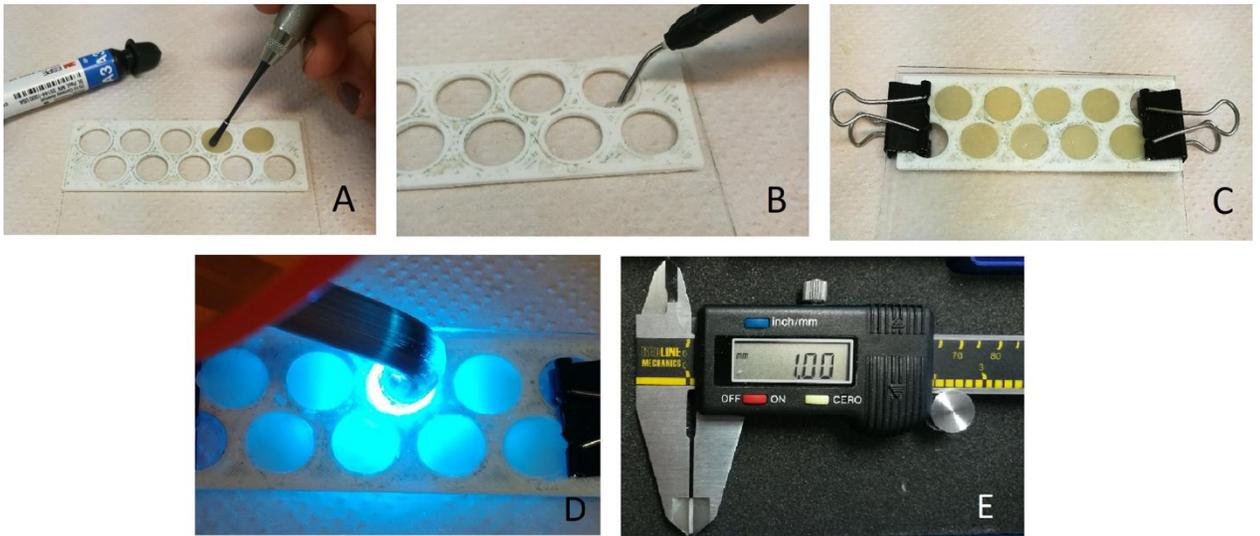


Figura 3. Fotografía del proceso de producción de cuerpos de muestra. (A) Aplicación de RC dentro de los moldes; (B) RC fluidas aplicada directamente con las puntas de jeringa otorgadas por el fabricante; (C) Molde entre portaobjetos, sujetos con un clamp; (D) polimerización de muestras; (E) Calibración de las muestras con pie de metro electrónico.

Una vez calibrados, los cuerpos de prueba fueron radiografiados de manera preliminar (Equipo de rayos X Myray RXAC, Imolia, Italia). Las radiografías fueron estudiadas por dos especialistas en Radiología Maxilofacial y se descartaron aquellas muestras que presentasen burbujas o defectos. Este procedimiento se realizó hasta obtener 5 muestras por cada material, que cumpliesen con las exigencias descritas anteriormente.

V.4. EVALUACIÓN DE RADIOPACIDAD

V.4.1 Adquisición de la imagen radiográfica

La imagen radiográfica se adquirió posicionando las cinco muestras de cada material junto a una cuña de aluminio escalonada de 1 a 10 mm, con una pureza mayor a 99% de Aluminio (OMT160, Odeme, Santa Catarina, Brasil), como se observa en la figura 4. Se utilizó una película de fósforo fotoestimulable (PSP) oclusal, tamaño 48x54 mm, FireCR Dental (3DISC Corp., Daejeon, Korea).



Figura 4. Cuerpos de prueba y cuña escalonada de aluminio sobre película PSP (Fotografía cortesía de Vega V.)

La toma radiográfica se obtuvo mediante el uso de un posicionador personalizado impreso en 3D (figura 5), que asegura la posición del tubo en 90° respecto al PSP, de acuerdo a protocolo estandarizado de Vega y cols. para la evaluación de radiopacidad de los materiales dentales, cumpliendo con la norma ISO. La distancia focal se fijó en 40 cm y el tiempo de exposición en 0,5 segundos. El equipo utilizado fue Myray RXAC (Imolia, Italia), 70 kV y 8 mA. La toma radiográfica se realizó por un solo operador, odontólogo especialista en Radiología Maxilofacial.

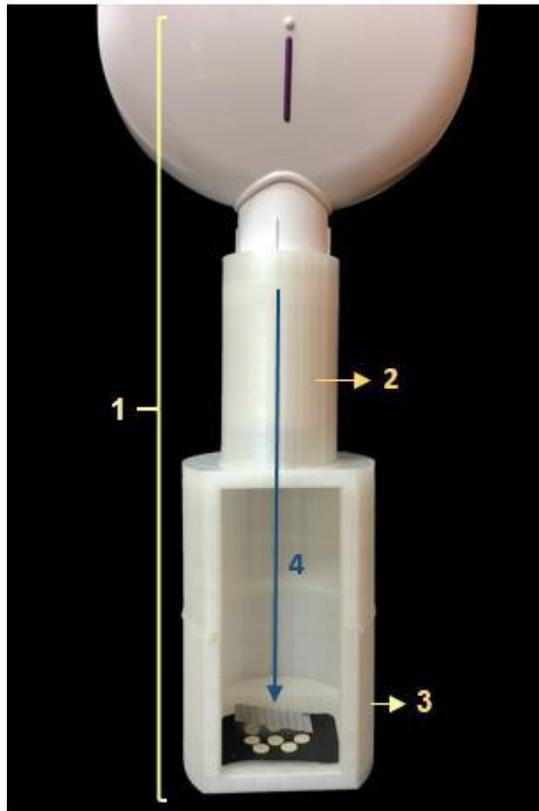


Figura 5. Esquema de dispositivo para estandarizar técnica radiográfica.

(1) Distancia del cátodo al plano de proyección 400 mm ISO 4049-2009. (2) Posicionador para asegurar la perpendicularidad al plano de Proyección. (3). Base estructural. (4) Rayo X central. (Imagen cortesía de Vega V.)

V.4.2 Análisis de escala de grises

La PSP radiografiada fue procesada en el dispositivo FireCR Dental Reader (3DISC Imaging. Virginia, USA) e importada al software Planmeca Romexis 4.4.0.R (Planmeca Helsinki, Finland). Posteriormente la imagen fue exportada en formato tiff.

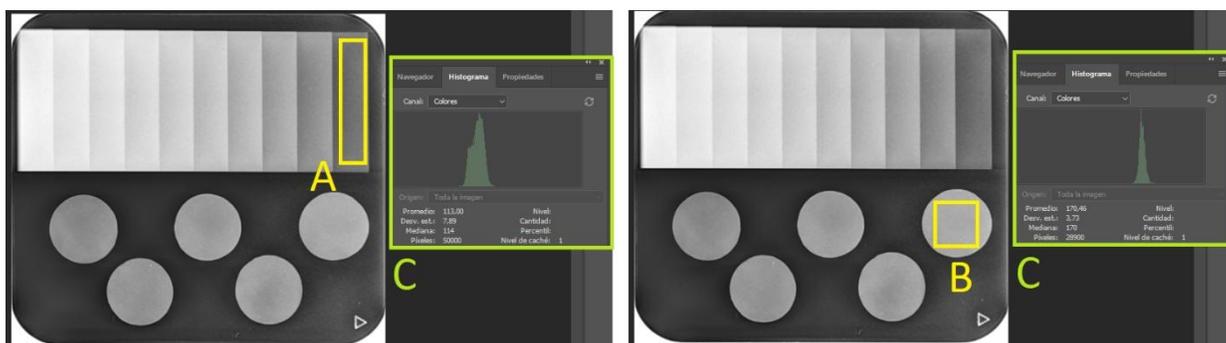


Figura 6. (A) Selección de área de 100 x 500 píxeles de la cuña escalonada de aluminio; (B) Área de 170 x 170 píxeles de la muestra de RC; (C) herramienta Histograma del programa Adobe Photoshop.

Los archivos tiff fueron analizados mediante el programa Adobe Photoshop CC 2018 (Adobe, California, USA). En cada imagen se determinó el valor promedio en escala de grises para cada segmento de la cuña escalonada de aluminio (área de 100 x 500 píxeles), así como también de cada una de las 5 muestras (área de 170 x 170 píxeles), cómo se muestra en la figura 6. Esto se realizó seleccionando un área representativa del objeto de análisis utilizando la herramienta Histograma (también representada en la figura 6), la cual determinó de manera automática el promedio de valor de gris de todos los píxeles incluidos en el área previamente seleccionada. Los valores varían del 0, que corresponde a negro puro, hasta 255 que representa blanco puro.

Los valores en la escala de grises obtenidos para las cuñas de aluminio se tabularon en el programa Microsoft Excel 2016 (Microsoft, Washington, USA). Utilizando este mismo programa se fabricó un gráfico que representa el valor en la escala de grises para cada escalón de la cuña (figura 7). Para cada gráfico se trazó una curva de tendencia logarítmica, de la cual se obtuvo una ecuación que permitió transformar los valores en escala de grises de las muestras en mm Al.



Figura 7. Gráfico fabricado mediante software Excel donde se presenta un valor en escala de grises para cada peldaño de la cuña de aluminio para cada radiografía obtenida. Bajo la línea continua que representa la tendencia de los valores obtenidos se ve trazada la curva de tendencia logarítmica en línea discontinua y la ecuación correspondiente a esta curva a un lado.

V.5 Análisis estadístico

Los valores de radiopacidad expresados en mm Al de cada una de las muestras fueron analizados mediante el software SPSS Statistics 21.0 (IBM, New York, USA). Se realizó estadística descriptiva de cada grupo acorde a los objetivos del estudio.

De forma parcializada se analizaron los datos de RO obtenidos para las RC bulk-fill y las RC convencionales, utilizando test de Shapiro-Wilk. Una vez corroborado que la distribución de los datos era normal, se realizó test ANOVA y post-hoc HSD Tukey, con nivel de significancia $p < 0,05$ para cada grupo. Posteriormente para comparar los niveles de RO entre RC Bulk-fill y convencionales se realizó nuevamente una prueba ANOVA, con nivel de significancia de $p < 0,05$ para todas las RC involucradas en el estudio y post-hoc HSD Tukey.

VI. RESULTADOS

Radiopacidad de resinas compuestas tipo Bulk-fill

Los valores estadísticos descriptivos de RO de las RC Bulk-Fill se muestran en la tabla 1. El valor p obtenido con el test Shapiro-Wilk para todos los materiales evaluados es mayor a 0.05, lo que representa una distribución estadística normal de los datos.

Tabla 1. Valores de radiopacidad expresados en mm Al. n: número de muestras de cada material. DE: desviación estándar.

Material	n	Media de mm Al	DE	Valor p
Filtek® Bulkfill	5	2.29	± 0.49	0.538
X-tra Fil	5	2.47	± 0.47	0.704
X-tra Base	5	2.47	± 0.32	0.405
Surefil SDR Flow	5	2.91	± 0.30	0.260

De acuerdo a la prueba ANOVA de un factor, no se observan diferencias significativas entre las diferentes RC bulk-fill evaluadas ($p=0.145$).

En la Figura 8 se representa graficada la dispersión de los datos. Las líneas verticales se extienden desde el mínimo al máximo valor registrado para el material. Las cajas representan la dispersión de datos donde se encuentra el 50% de la muestra. La línea horizontal dentro de las cajas representa la mediana.

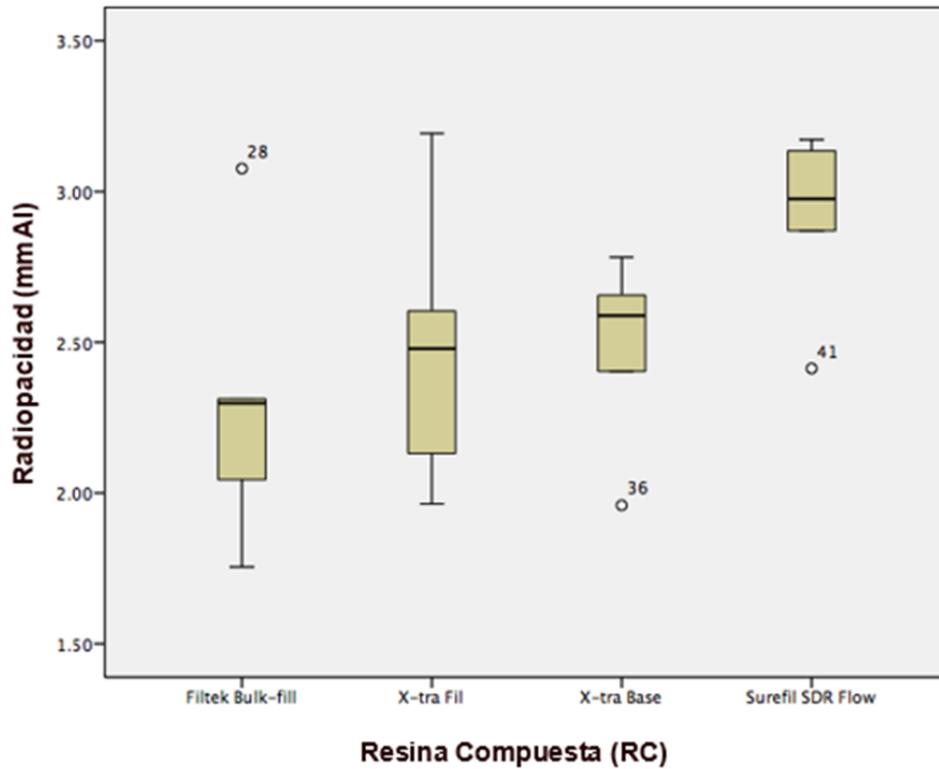


Figura 8. RO en mm Al de RC Bulk-fill.

Radiopacidad de resinas compuestas convencionales

Los valores estadísticos descriptivos para los materiales de RC de tipo Bulk-Fill se muestran en la tabla 3. El valor de p de todos los materiales evaluados es mayor a 0.05, según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, lo que representa una distribución estadística normal de los datos obtenidos.

Tabla 3. Valores de radiopacidad expresados en mm Al.

Material	n	Media de mm Al	DE	Valor p
Polofil Supra	5	1.65	± 0.16	0.691
Filtek® Z350	5	1.86	± 0.33	0.707
Polofil NHT	5	1.87	± 0.37	0.991
Spectra Smart	5	2.48	± 0.46	0.665
Spectra Basic	5	2.61	± 0.46	0.997

n: número de muestras. DE: desviación estándar.

Se obtuvo un valor $p=0.002$ para la prueba de ANOVA de un factor, por lo que se determinó la existencia de diferencias significativas entre las RC convencionales. Para determinar cuáles grupos presentaban diferencias se realizó un test post hoc HSD Tukey, cuyos resultados se ven en la **tabla 4**.

Tabla 4. Análisis comparativo HSD Tukey de RC convencionales estudiadas.

Material A	Material B	Valor p
Filtek® Z350 XT	Spectra Smart	0.118
	Spectra Basic	*0.038
	PoloFil Supra	0.893
	PoloFil NHT	1.000
Spectra Smart	Filtek® Z350	0.118
	Spectra Basic	0.978
	PoloFil Supra	*0.019
	PoloFil NHT	0.121
Spectra Basic	Filtek® Z350	*0.038
	Spectra Smart	0.978
	PoloFil Supra	*0.005
	PoloFil NHT	*0.039
Polofil Supra	Filtek® Z350	0.893
	Spectra Smart	*0.019
	Spectra Basic	*0.005
	PoloFil NHT	0.887
Polofin NHT	Filtek® Z350	1.000
	Spectra Smart	0.121
	Spectra Basic	*0.039
	PoloFil Supra	0.887

* $p<0.05$ indica diferencias significativas.

De acuerdo a los resultados obtenidos del test post hoc HSD Tukey se pueden establecer tres subgrupos, representados en la **tabla 5**, que presentan

diferencias estadísticamente significativas de radiopacidad entre sí.

Tabla 5. Subconjuntos homogéneos de RC convencionales, obtenidos de test post hoc HSD Tukey

Material	n	1	2	3
Polofil Supra	5	1.6531		
Filtek® Z350 XT	5	1.8692	1.8692	
Polofil NHT	5	1.8727	1.8727	
Spectra Smart	5		2.4813	2.4813
Spectra Basic	5			2.6185

*n= número de muestras. Subconjunto para alfa = 0.05. Para cada resina compuesta se muestran los valores de RO en mm Al.

En la figura 9 se observa la dispersión de los datos y los subgrupos. Las líneas verticales se extienden desde el valor mínimo al máximo para cada material. Las cajas representan la dispersión de datos donde se encuentra el 50% de la muestra. La línea horizontal dentro de las cajas representa la mediana.

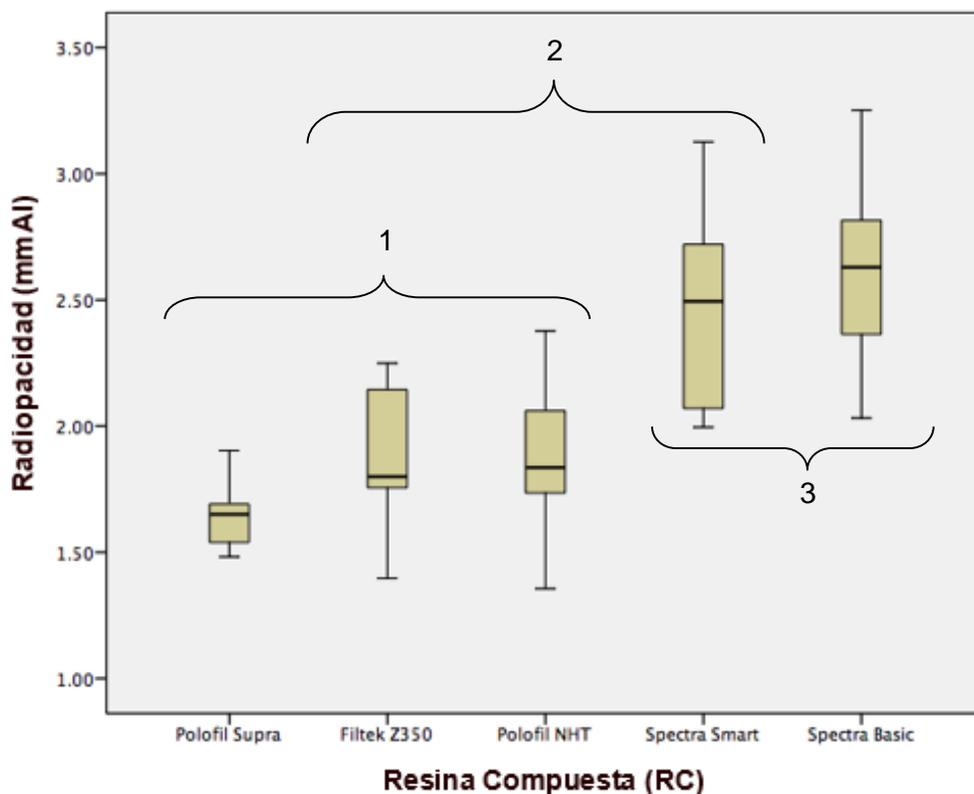


Figura 9. RO de RC convencionales

Análisis comparativo entre RC Bulk-fill y RC convencionales

Para el análisis ANOVA de un factor realizado para todas las RC incluidas en el estudio (Bulk-fill y convencionales) se obtuvo un $p < 0.001$, lo que indicó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las resinas compuestas estudiadas. El test post-hoc HSD Tukey reveló la existencia de tres subconjuntos no excluyentes entre sí. En la **tabla 6** se puede ver representadas las resinas compuestas que presentan diferencias significativas entre sí.

Tabla 6. Resultados de test HSD Tukey para comparación de las resinas compuestas en estudio. *p<0.05 indica diferencias significativas.

Material A	Material B	Valor p	Material A	Material B	Valor p
Polofil Supra	Filtek Z350	0.993	Spectra basic	Filtek Bulk-fill	0.926
	Polofil NHT	0.992		X-tra Fil	1.000
	Spectra Smart	*0.045		X-tra Base	1.000
	Spectra Basic	*0.011		Surefil SDR Flow	0.954
	Filtek Bulk-fill	0.223	Filtek Bulk-fill	Polofil Supra	0.223
	X-tra Fil	*0.048		Filtek Z350	0.727
	X-tra Base	*0.047		Polofil NHT	0.736
	Surefil SDR Flow	*0.000		Spectra Smart	0.998
Filtek Z350	Polofil Supra	0.993	Spectra Basic	0.926	
	Polofil NHT	1.000	X-tra Fil	0.998	
	Spectra Smart	0.280	X-tra Base	0.998	
	Spectra Basic	0.094	Surefil SDR Flow	0.272	
	Filtek Bulk-fill	0.727	X-tra Fil	Polofil Supra	*0.048
	X-tra Fil	0.294		Filtek Z350	0.294
	X-tra Base	0.287		Polofil NHT	0.301
	Surefil SDR Flow	*0.005		Spectra Smart	1.000
Polofil NHT	Polofil Supra	0.992	Spectra Basic	1.000	
	Filtek Z350	1.000	Filtek Bulk-fill	0.998	
	Spectra Smart	0.287	X-tra Base	1.000	
	Spectra Basic	0.097	Surefil SDR Flow	0.700	
	Filtek Bulk-fill	0.736	X-tra Base	Polofil Supra	*.047
	X-tra Fil	0.301		Filtek Z350	0.287
	X-tra Base	0.294		Polofil NHT	0.294
	Surefil SDR Flow	*0.005		Spectra Smart	1.000
Spectra Smart	Polofil Supra	*0.045	Spectra Basic	1.000	
	Filtek Z350	0.280	Filtek Bulk-fill	0.998	
	Polofil NHT	0.287	X-tra Fil	1.000	
	Spectra Basic	1.000	Surefil SDR Flow	0.709	
	Filtek Bulk-fill	0.998	Surefil SDR Flow	Polofil Supra	*0.000
	X-tra Fil	1.000		Filtek Z350	*0.005
	X-tra Base	1.000		Polofil NHT	*0.005
	Surefil SDR Flow	0.717		Spectra Smart	0.717
Spectra Basic	Polofil Supra	*0.011	Spectra Basic	0.954	
	Filtek Z350	0.094	Filtek Bulk-fill	0.272	
	Polofil NHT	0.097	X-tra Fil	0.700	
	Spectra Smart	1.000	X-tra Base	0.709	

En la **tabla 7** se muestran los tres suconjuntos como resultado del test post-hoc HSD Tukey, donde las resinas compuestas estudiadas fueron agrupadas según la diferencias significativas de RO que presentan entre sí.

Tabla 7. Subconjuntos homogéneos entre resinas compuestas estudiadas.

ResinaCompuesta	n	1	2	3
Polofil Supra	5	1.6531		
Filtek Z350	5	1.8692	1.8692	
Polofil NHT	5	1.8727	1.8727	
Filtek Bulk-fill	5	2.2971	2.2971	2.2971
X-tra Fil	5		2.4742	2.4742
X-tra Base	5		2.4779	2.4779
Spectra Smart	5		2.4813	2.4813
Spectra Basic	5		2.6185	2.6185
Surefil SDR Flow	5			2.9132

*n= número de muestras. Subconjunto para alfa = 0.05. Para cada resina compuesta se muestran los valores de RO en mm Al.

Los valores de RO para cada RC incluida en el estudio se grafican en la **figura 10**. Las líneas verticales se extienden desde el valor mínimo al máximo para cada material. Las cajas representan la dispersión de datos donde se encuentra el 50% de la muestra y la línea horizontal dentro de estas representa la mediana. Los subconjuntos ordenados en la tabla 7 son representados también en la figura 10 con letras: (a) subconjunto 1, (b) para el subconjunto 2 y (c) para el subconjunto 3.

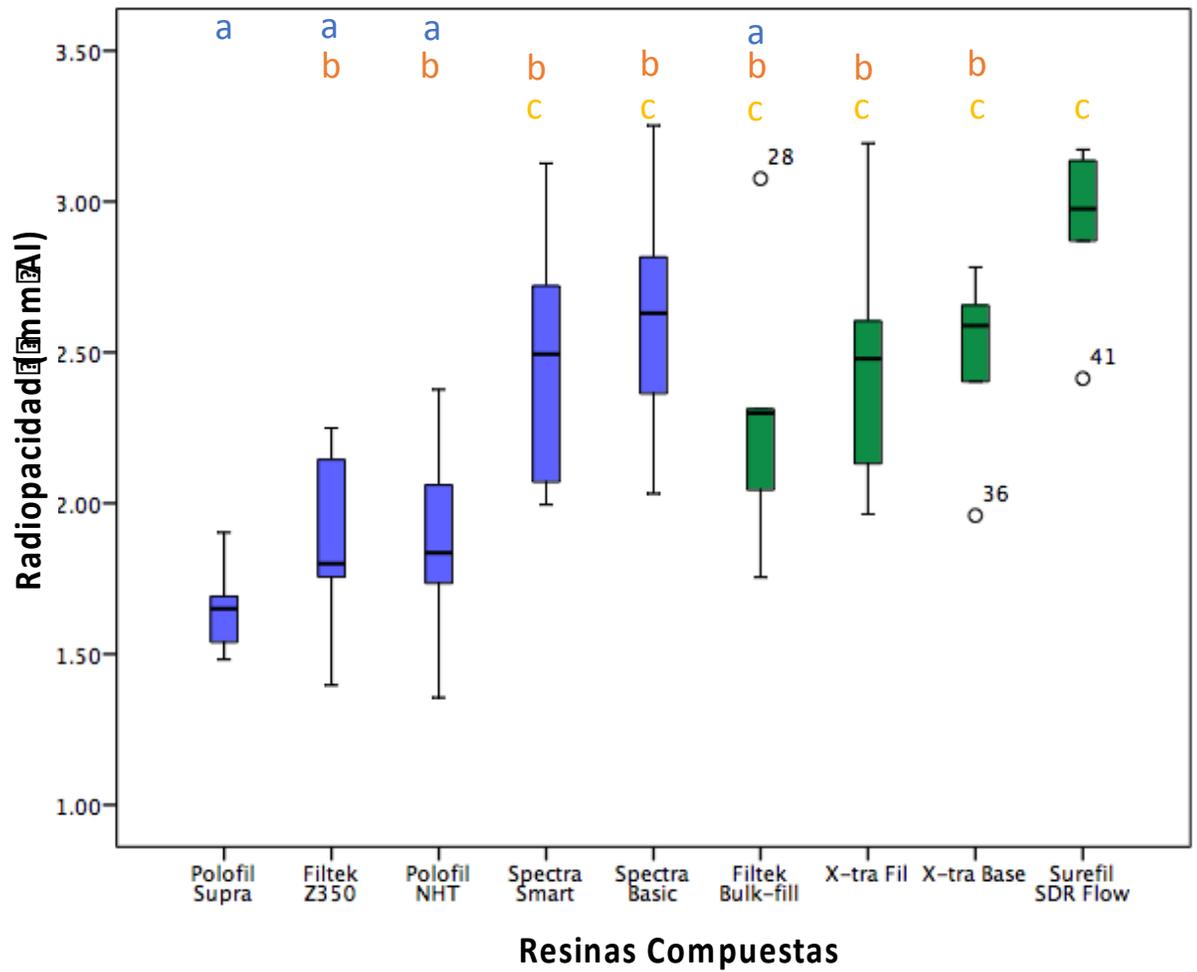


Figura 10. RO de RC convencionales y de tipo Bulk-fill

VII. DISCUSIÓN

Una adecuada RO es uno de los múltiples requisitos que deben cumplir los materiales de restauración a base de RC (ISO, 2009). Recientemente, se han introducido las RC bulk-fill al mercado, sin embargo, pocos estudios independientes han investigado sobre su RO (Yasa E. y cols., 2015). En este trabajo se demostró que las RC bulk-fill evaluadas presentan una RO de 2.29– 2.91 mm Al, y no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Si bien las RC bulk-fill utilizadas en este estudio, presentan variable porcentaje de relleno inorgánico, de acuerdo a nuestros resultados esto no generó un cambio significativo en la RO de éstas. Las resinas Filtek® Bulk-fill, X-tra base y X-tra fil presentan un porcentaje de carga de 76-86% en peso, en cambio, Surefil SDR Flow, posee un menor porcentaje de relleno (70.5% en peso y 47.4% en volumen) (Dentsply). De manera interesante, fue esta RC bulk-fill la que presentó el mayor valor de RO (2.91 ± 0.30 mm de Al), pero esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Similares valores de RO han sido reportados por otros autores para Surefil SDR Flow; RO de $2.81 (\pm 0.38)$ mm Al fue reportada por Tarcin y cols., y $2.89 (\pm 0.1)$ mm Al por Yildirim y cols. Surefil SDR Flow fue la primera RC de tipo Bulk-fill, ingresando al mercado en el año 2011 (Corral y cols., 2015). Su matriz monomérica está basada en UDMA, TEGDMA y EBPDMA (Dentsply, 2015) y mediante análisis con dispersión de rayos X se ha demostrado la presencia de aluminio, silicio, bario y flúor (Fronza y cols., 2017).

Dentro de las otras resinas bulk-fill evaluadas, X-tra fil y X-tra base presentaron valores de RO $2.47 (\pm 0.47)$ y $2.47 (\pm 0.32)$ mm Al, a pesar de la diferencia en sus porcentajes de relleno, 70% y 61% en volumen, respectivamente (VanEnde y cols., 2017). Se desconoce la composición del relleno de estos materiales, y por tanto del agente radiopaco que utilizan. La RO de X-tra base se ha estudiado anteriormente, con resultados similares a los encontrados en este estudio, en el rango de 2,61 - 3,39 mm de Al (Tarcin y cols., Yildirim y cols., Yasa E. y cols). Con respecto a X-tra Fil, Yasa E. y cols. encontraron resultados de RO

similares (2.93 ± 0.07 mm Al). Estas diferencias entre los resultados de diferentes autores, pueden deberse a variaciones en los parámetros radiográficos utilizados, como tiempo de exposición, kilo voltaje y amperaje del equipo radiológico, diferentes sensores digitales para la obtención de la imagen, uso de diversos softwares para el procesamiento de las imágenes, y/o la utilización de diferentes ecuaciones para la transformación de los valores medios de gris en mm Al.

Para Filtek Bulk-fill se obtuvo una RO de $2.29 (\pm 0.49)$ mm Al, lo que coincide con los valores obtenidos por Yase E. y cols. (2.29 ± 0.49 mm Al). La matriz monomérica de Filtek Bulk-fill consta de AUDMA, UDMA, 1,12 dodecanediol-DMA (DDDMA) y monómeros por adición-fragmentaria (AFM). El relleno inorgánico se compone de sílice de 20 nm y zirconia de 4 a 11 nm, además de un material de relleno de trifloruro de iterbio en un aglomerado de partículas de 100 nm. La carga de material de relleno inorgánico es de aproximadamente 76.5% por peso y 58.4% por volumen (3M, 2014). Este porcentaje de carga junto a la incorporación de iterbio, el cual posee un alto número atómico ($Z=70$), podrían ser los factores determinantes de su nivel de RO.

De forma general no se observaron diferencias significativas de RO entre los grupos de RC convencionales y de tipo Bulk-fill, ya que Polofil NHT y Filtek Z350 no presentaron diferencias estadísticamente significativas con 3 de las 4 RC Bulk-fill, y Spectra Basic y Spectra Smart no presentaron diferencias con ninguna de las RC de este grupo. Cabe mencionar que el valor de RO más bajo obtenido fue para la RC convencional Polofil Supra (1,65 mmAl) y el mayor valor para la RC Bulk-fill Surefil SDR Flow (2,91 mmAl). Las RC convencionales Spectra Smart y Spectra Basic presentaron valores medios de RO más altos a los obtenidos para todas las RC Bulk-fill evaluadas, con excepción de Surefil SDR Flow, sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Estos resultados nos indican que la condición de ser una resina compuesta Bulk-fill no determina el poseer un mayor grado de RO en comparación a las RC convencionales, ya que esta propiedad depende de la composición del material, y en el caso de las RC, de la cantidad de relleno inorgánico y la naturaleza de este particularmente.

La RC Surefil SDR Flow presentó un mayor valor de RO en relación a Filtek Z350 estadísticamente significativo, a pesar de poseer un porcentaje de relleno en volumen menor: Surefil SDR Flow cuenta con 45% de relleno en volumen y Filtek Z350 cuenta con 63% de relleno en volumen. El elemento radiopaco parte de la formulación de Filtek Z350 es el zirconio ($Z=40$) y el elemento radiopaco que incorpora Surefil SDR Flow es el bario ($Z=56$), este último posee una mayor radiopacidad, lo que podría ser la razón del mayor nivel de radiopacidad de Surefil SDR Flow. Esto hechos nos da cuenta de la posibilidad de que la RO esté más determinada por la naturaleza del relleno que por su cantidad. Esta teoría podría ser puesta a prueba en futuras investigaciones que cuantifique la proporción en que son añadidos los elementos radiopacos, su relación con la proporción de relleno inorgánico y con el nivel de RO de las RC.

En cuanto a su composición, se han reportado algunas diferencias entre RC bulk-fill y RC convencionales. La matriz orgánica de RC bulk-fill se basa principalmente en Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, EBPDMA, con incorporación de algunos monómeros nuevos y la modificación de algunos de los ya mencionados (Ilie y cols., 2013) como el Bis-EMA (Filtek Bulk-fill, 3M) y UDMA modificado (Surefil SDR Flow, Dentsply). El sistema de iniciación de la polimerización, para la mayoría, sigue siendo mediante canforquinona, y la composición del relleno es básicamente la misma, por lo tanto, la mayor profundidad de polimerización que les permite ser aplicados en incrementos de 4-5 mm, probablemente se debe a modificaciones en su translucidez (Ilie y cols., 2013). Bucuta e Ilie demostraron en su estudio que las RC Bulk-fill son más translúcidas para la luz azul que las RC convencionales. Una mayor translucidez se logra aumentando la transmitancia del material. Esta propiedad se incrementa al incorporar un menor porcentaje de carga y aumentar el tamaño de las partículas de relleno, ya que esto disminuye la superficie específica entre ambas fases, reduciendo la dispersión de la luz (Bucuta e Ilie., 2014; Fronza y cols., 2017).

La normativa ISO ha determinado como requisito de los materiales a base de RC el ser radiopacos, definiendo como radiopaco aquel material que presenta una

RO igual o mayor que la del mismo grosor de aluminio (ISO, 2009). Todas las RC bulk-fill evaluadas en este estudio cumplieron con este requisito, presentando radiopacidades que superaban 1 mm Al. No obstante, algunos autores afirman que para un diagnóstico más certero y no malinterpretar una restauración como lesión de caries (sobre todo en el sector posterior), esta debería presentar el doble de radiopacidad del aluminio (similar a la RO del esmalte) (Espelid y cols., 1991; Pedrosa y cols., 2011; Raitz y cols., 2016). Las RC con valores de radiopacidad mayores que la dentina, pero menores que el esmalte, tienden a confundir al examinador y son más susceptibles a diagnósticos falsos positivos de caries secundarias (Pedrosa y cols., 2011). Esto podría conducir al clínico a una decisión de recambio y sobretratamiento. Considerando que para lesiones de caries en el sector posterior el examen radiográfico es el principal método de detección (Brouwer y cols., 2016), y que las RC Bulk-fill están indicadas particularmente para este sector (Tarcin y cols., 2016; Corral y cols., 2015), se hace relevante el hecho de que al menos igualen la RO del esmalte, para así facilitar el diagnóstico de caries. En el presente estudio todas las RC Bulk-fill testeadas presentan niveles de RO superiores a la del esmalte, por lo que se considerarían adecuadas para restauraciones en dientes posteriores.

Por otro lado, Surefil SDR Flow presentó una RO de 2.91 ± 0.30 mm Al, casi 2 mm más alta que la RO de dentina (~ 1 mm Al) (ISO, 2009). Aunque este hecho no va en contra de los requisitos de la normativa ISO, ya que no se establece un límite máximo, podría enmascarar lesiones de caries. Además, al encontrarse junto a dentina puede generarse la ilusión visual de “banda Mach”, pareciendo más oscura la interfase entre restauración y tejido dentinario debido al contraste, lo que podría ser malinterpretado como caries por el clínico (Espelid y cols., 1991; Whaites, 2010).

La normativa ISO establece que el valor de RO de un producto, además de cumplir con un valor mínimo, puede variar en un rango máximo de 0.5 mm Al del valor especificado por el fabricante. Las resinas compuestas Filtek® Bulk-fill y Surefil SDR Flow fueron declaradas como radiopacas por sus fabricantes, sin mencionar

valores específicos. Al tener ambas RO superiores a 1 mm Al, cumplen con el requisito de la ISO. Por su parte, X-tra Base y X-tra Fil fueron declaradas por su fabricante con radiopacidades de 3.5 y 3.3 mm Al respectivamente (VOCO GmbH internal measurements 2011), y el presente estudio demostró valores de 2.47 mm Al para ambas. Esto sería un incumplimiento de la normativa ISO ya que establece que la RO debe ser no menos de 0.5 mm por debajo de cualquier valor constatado por el fabricante.

La ISO 4049:2009 avala el uso de radiografía digital junto a softwares que permitan la obtención de valores en la escala de grises para estudios de evaluación de RO (ISO 4049, 2009). Esta metodología, utilizada en el presente trabajo, presenta varias ventajas. Al evaluar RO en imágenes digitales es posible determinar directamente el valor en la escala de grises de los píxeles de la imagen, de 0 (negro) a 255 (blanco) (Dukic y cols., 2012; Tarcin y cols., 2016). El análisis de radiografía digital proporciona valores numéricos rápidos, reproducibles, precisos y consistentes para estudios comparativos de radiopacidad, y a diferencia de la radiografía convencional no precisa de procesamiento químico de la película, el cual puede producir variaciones en la imagen final (Dukic y cols., 2012; Tarcin y cols., 2016). El presente estudio también utilizó un posicionador diseñado e impreso en 3D que permitió estandarizar la toma radiográfica, asegurando la perpendicularidad entre el rayo central y la película, y la misma distancia entre el cátodo y el plano de proyección para todas las tomas. Conjuntamente, fueron especificados la película digital utilizada, los parámetros del equipo (kilovoltaje y amperaje) y el tiempo de exposición, lo que hace que esta metodología sea altamente reproducible.

El recambio de restauraciones constituye una parte importante del quehacer del odontólogo general (Brantley y cols., 1995; Kopperud y cols., 2012). Una vez realizada una restauración, esta debe ser monitoreada periódicamente, hasta que eventualmente precise ser reacondicionada, reparada o reemplazada. Esto lleva a que en cada reemplazo se comprometa mayor tejido dentario sano (Brantley y cols., 1995), lo que con el tiempo podría llevar a la pérdida de la pieza dentaria (Kopperud y cols., 2012). El fracaso y reemplazo de las restauraciones de resina compuesta

se debe principalmente a caries secundarias y fractura, tanto de la restauración como del diente (Astvaldsdottir y cols., 2015; Demarco y cols., 2012; Kopperud y cols., 2012). El estudio radiográfico es uno de los métodos más utilizados para el diagnóstico de caries secundarias y ha demostrado ser costo-efectivo tanto para su detección, como para la confirmación de la sospecha clínica (Brouwer y cols., 2016). Es por esto que es relevante conocer la radiopacidad de RC comerciales, utilizadas en la actualidad, ya que facilita el correcto diagnóstico radiográfico de caries y evita falsos positivos que lleven a recambios o reparaciones innecesarias (Pedrosa y cols., 2011).

VIII. CONCLUSIONES

- La RO expresadas en mm Al para las RC Bulkfill Filtek® Bulkfill, X-tra Fil, X-tra Base y Surefil SDR Flow, es de 2.29 (± 0.49), 2.47 (± 0.47), 2.47 (± 0.32) y 2.91 (± 0.30), respectivamente, por lo que cumplen con el valor mínimo de radiopacidad requerido por la ISO 4049: Materiales dentales de restauración y cementación basados en polímeros (2009).
- No se encontraron diferencias significativas entre los valores de radiopacidad obtenidos para las resinas compuestas tipo Bulk-fill.
- Las resinas compuestas Filtek Z350, Polofil NHT, Filtek Bulk-fill, Xtra-fil, Xtra-base, Spectra Smart y Spectra Basic no presentaron diferencias estadísticamente significativas de RO.
- Polofil Supra presentó un valor de RO menor estadísticamente significativo en relación a las resinas compuestas Xtra-fil, Xtra-base, Spectra Smart, Spectra Basic y Surefil SDR Flow.
- Surefil SDR Flow presentó un valor de RO mayor estadísticamente significativo en relación a las resinas compuestas convencionales Polofil Supra, Filtek Z350 y Polofil NHT.
- La propiedad de ser resinas compuestas Bulk-fill no determina el poseer un mayor nivel de radiopacidad que una resina compuesta convencional

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almasi A, Porumb A, Codruta Podariu A, Amina Popovici R. 2016. The Radiopacity Evaluation for Various Nanocomposite Materials. *Materiale Plastice* 53 (2): 332-338.

Ástvaldsdóttir Á, Dagerhamn J, van Dijken JW, Naimi-Akbar A, Sandborgh-Englund G, Tranæus S, Nilsson M. 2015. Longevity of posterior resin composite restorations in adults – A systematic review. *J Dent*. 43(8): 934-54

Baroudi K, Rodrigues JC. 2015. Flowable Resin Composites: A Systematic Review and Clinical Considerations. *J Clin Diagn Res*. 9(6): ZE18-24.

Brantley CF, Bader JD, Shugars DA, Nesbit SP. 1995. Does the cycle of reresoration lead to larger restorations? *J Am Dent Assoc*.126(10): 1407-13.

Brouwer F, Askar H, Paris S, Schwendicke F. 2016. Detecting Secondary Caries Lesions: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Dent Res*. 95(2): 143-51.

Stefan Bucuta & Nicoleta Ilie. Light transmittance and micro-mechanical properties of bulk fill vs. conventional resin based composites. 2014. *Clin Oral Invest* 18:1991–2000.

Corral C, Vildósola P, Bersezio C, Alves Dos Campos E, Fernández E. 2015. Revisión del estado actual de resinas compuestas Bulk-Fill. *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 27(1):177-196.

Demarco FF, Corrêa MB, Cenci MS, Moraes RR, Opdam NJ. 2012. Longevity of posterior composite restorations: not only a matter of materials. *Dent Mater* 28(1): 87-101.

Dentsply. SureFil SDR flow: posterior bulk fill flowable base [internet]. Milford: DENTSPLY; 2011 [Consultado 2017 Ene 10]. Disponible en:

http://www.surefilSDRFlow.com/sites/default/files/SureFilSDRFlow%2B_Tech_Manual.pdf

Dukic W, Delija B, Derossi D, Dadic I. 2012. Radiopacity of composite dental materials using a digital X-ray system. *Dent Mater J.* 31(1):47-53.

Espelid I, Tveit AB, Erickson RL, Keck SC, Glasspoole EA. 1991. Radiopacity of restorations and detection of secondary caries. *Dent Mater.* 7(2):114-7

Ferracane JL. 2011. Resin composite—State of the art. *Dental materials* 27 (1): 29-38.

Fronza BM, Ayres APA, Pacheco RR, Rueggeberg FA, Dias CTS, Giannini M. 2017. Characterization of Inorganic Filler Content, Mechanical Properties, and Light Transmission of Bulk-fill Resin Composites. *Operative Dentistry* 42 (4): 445-455.

Furtos G, Baldea B, Silaghi-Dumitrescu L, Moldovan M, Prejmerean C, Nica L. 2012. Influence of inorganic filler content on the radiopacity of dental resin cements. *Dent Mater J.* 31(2):266-72.

Hervás-García A, Martínez-Lozano MA, Cabanes-Vila J, Barjau-Escribano A, Fos-Galve P. 2006. Composite resins. A review of the materials and clinical indications *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 11(2): E215-20.

Ilie N, Bucuta S, Draenert M. Bulk-fill Resin-based Composites: An In Vitro Assessment of Their Mechanical Performance. 2013. *Operative Dentistry* 38-6, 618-625

International Standards Organization. 2009. ISO 4049, Dentistry Polymer-based filling, restorative and luting materials. 3 ed. Geneva: ISO.

Kapila R, Matsuda Y, Araki K, Okano T, Nishikawa K, Sano T. 2015. Radiopacity

Measurement of Restorative Resins Using Film and Three Digital Systems for Comparison with ISO 4049: International Standard. *Bull Tokyo Dent Coll.* 56(4):207-14.

Kopperud SE, Tveit AB, Gaarden T, Sandvik L, Espelid I. 2012. Longevity of posterior dental restorations and reasons for failure. *Eur J Oral Sci.* 120(6):539-48.

Leprince JG, Palin WM, Vanacker J, Sabbagh J, Devaux J, Leloup G. Physico-mechanical characteristics of commercially available bulk-fill composites. 2014. *J Dent.* 42(8):993-1000.

Lino JR, Ramos-Jorge J, Coelho VS, Ramos-Jorge ML, Moysés MR, Ribeiro JC. 2015. Association and comparison between visual inspection and bitewing radiography for the detection of recurrent dental caries under restorations. *Int Dent J.* 65(4):178-81.

Pedrosa RF, Brasileiro IV, dos Anjos Pontual ML, dos Anjos Pontual A, da Silveira MM. 2011. Influence of materials radiopacity in the radiographic diagnosis of secondary caries: evaluation in film and two digital systems. *Dentomaxillofac Radiol.* 40(6): 344-50.

Puckett AD, Fitchie JG, Kirk PC, Gamblin J. 2007. Direct composite restorative materials. *Dent Clin North Am.* 51(3):659-75.

Rawls HR y Esquivel-Upshaw J. Phillip. *Ciencia de los materiales dentales.* 2004. Undécima edición, capítulo 15.

Raitz R, Moruzzi PD, Vieira G, Fenyó-Pereira M. 2016. Radiopacity of 28 Composite Resins for Teeth Restorations. *J Contemp Dent Pract.* 17(2):136-42.

Salzedas LMP, Louzada MJQ, Oliveira Filho AB. 2006. Radiopacity of Restorative Materials using Digital Images. *J Appl Oral Sci.* 14(2):147-52.

Schwendicke F, Brouwer F, Paris S, Stolpe M. 2016. Detecting Proximal Secondary Caries Lesions: A Cost-effectiveness Analysis. *J Dent Res.* 95(2):152-9.

Tarcin B, Gumru B, Peker S, Ovecoglu HS. 2016. Evaluation of Radiopacity of Bulk-fill Flowable Composites Using Digital Radiography. *Oper Dent.* 41(4):424-31.

Tauböck TT, Attin T. 2016. Composites «Bulk Fill»: Une mise à jour. *Swiss Dent J.* 126(9):812-813.

Thompson JM. 2011. Translucency & Radiopacity of Five Resin Composites. Tesis de Maestría en Ciencias en Odontología Restauradora. Michigan, Universidad de Michigan.

Van Ende A, De Munck J, Lise DP, Van Meerbeek B. 2017. Bulk-Fill Composites: A Review of the Current Literature. *J Adhes Dent.* 19(2):95-109.

Vega V, Negrete P, Paredes P, Meza F, Gallardo P, Osori S, Estay J, Corral C. 2017. Radiopacity assessment using 3D printed devices. En: IADR, 20 de agosto 2017, Santiago de Chile.

VOCO. x-tra fil, x-tra base VOCO. [Internet]. [Consultado 2018 Ene 10]. Disponible en: http://www.voco.com/us/product/x-tra_base/VC_84001790_US.pdf

Watts DC, & McCabe JF. 1999. Aluminium radiopacity standards for dentistry: An international survey. *Journal of Dentistry* 27(1) 73-78.

Whaites E. 2010. Radiología odontológica. 2da edición. Editorial panamericana. Capítulos 1,2 y 3

Yasa B, Kucukyilmaz E, Yasa E, Ertas ET. 2015. Comparative study of radiopacity of resin-based and glass ionomer-based bulk-fill restoratives using digital

radiography. J Oral Sci. 57(2):79-85.

Yasa E, Yasa B, Aglarci OS, Ertas ET. 2015. Evaluation of the Radiopacities of Bulk-fill Restoratives Using Two Digital Radiography Systems. Oper Dent. 40(5): E197-205.

Yildirim T, Ayar MK, Akdag MS, Yesilyurt C. 2017. Radiopacity of bulk fill flowable resin composite materials. Niger J Clin Pract. 20(2):200-204.

Zimmerli B, Strub M, Jeger F, Stadler O, Lussi A. 2010. Composite materials: composition, properties and clinical applications. A literature review. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 120(11):972-86.

3M ESPE. Filtek Bulk Fill Posterior Restorative 3M ESPE, Instructions. [Internet]. [Consultado 2017 Ene 10]. Disponible en:
<http://multimedia.3m.com/mws/media/1326404O/fbfpr-tpp-global-esp-hr.PDF>