UNIVERSIDAD HEMISFERIOS

Facultad de Ciencias de la Salud

Tema:

“Resistencia compresiva de ionómeros vítreos con diferentes mecanismos de polimerización: análisis comparativo in vitro”

Trabajo de Titulación para la obtención del Título de Especialista en Odontopediatría

Presentada por:

Andrea Carolina Merino Segovia

Tutor:

Danny España

Quito, abril de 2025

Resumen

Este estudio evaluó la resistencia compresiva de diferentes cementos de ionómero de vidrio con distintos mecanismos de polimerización mediante un diseño experimental in vitro. Se analizaron cuatro materiales: GC Fuji IX GP Fast GIC y Maxxion R FGM (autopolimerizables), GC Fuji II LC y Riva Light Cure SDI (fotopolimerizables). Se prepararon 100 especímenes cilíndricos (25 por cada material) siguiendo la norma ISO 9917-1:2007, que fueron almacenados en saliva artificial a 37°C durante 15 días antes de someterse a pruebas de compresión. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.001$) entre los materiales, con Riva Light Cure SDI exhibiendo la mayor resistencia compresiva (1603.7 kN) y tensional (121.47 MPa), significativamente superior a los demás materiales. Sorprendentemente, no se encontraron diferencias significativas ($p=0.911$) entre GC Fuji IX GP Fast (autopolimerizable, 911.2 kN) y GC Fuji II LC (fotopolimerizable, 965.8 kN), sugiriendo que la composición química específica del fabricante tiene mayor influencia que el mecanismo de polimerización. Maxxion R FGM presentó los valores más bajos (613.0 kN), pero con menor variabilidad. Los resultados indican que los cementos de ionómero de vidrio pueden clasificarse en tres categorías de rendimiento: alto (Riva Light Cure SDI), intermedio (productos GC) y básico (Maxxion R FGM), proporcionando un marco para la selección clínica basada en requerimientos específicos. La equivalencia estadística entre productos de GC con diferentes mecanismos de polimerización ofrece flexibilidad valiosa para situaciones clínicas diversas en odontopediatría, permitiendo seleccionar entre auto y fotopolimerización sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas.

Palabras clave: CEMENTOS DE IONÓMERO DE VIDRIO, RESISTENCIA COMPRESIVA, AUTOPOLIMERIZACIÓN, FOTOPOLIMERIZACIÓN, ODONTOPEDIATRÍA, MATERIALES DENTALES.

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así́, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí́ con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Andrea Carolina Merino Segovia

1718404757

Dedicatoria

A Dios y a mis padres, por ser mi luz y mi fuerza, por darme la claridad para avanzar y la fe para creer que cada esfuerzo tiene un propósito. Cada paso que doy lleva la huella de su ejemplo y sacrificio.

A mi esposo, mi compañero de vida, por ser mi soporte en los momentos de cansancio, por celebrar cada pequeño avance y recordarme, con tu amor, que ningún sueño es imposible.

Y especialmente a mis hijos, los tesoros más preciados de mi vida: ustedes son mi razón, mi inspiración y mi mayor alegría. Cada hora invertida en este proyecto valió la pena al pensar en el futuro que quiero construir para ustedes. Que este logro les enseñe que, con perseverancia, fe y amor, las metas se alcanzan. Les dedico cada página, cada esfuerzo y este triunfo, porque son ustedes el motor que impulsa mi corazón**.**

Índice

Resumen 2

Declaración De Aceptación De Norma Ética Y Derechos 4

Dedicatoria 5

Índice 6

Índice de Tablas 7

Índice de Figuras 8

Resumen 9

Abstract 10

Introducción 11

Metodología 28

Hallazgos 31

Discusión 37

Conclusiones 43

Referencias 47

Índice de Tablas

Tabla 1. Estadística Descriptiva de Fuerza Máxima (kN) 32
Tabla 2. Estadística Descriptiva de Tensión Máxima (MPa) 33
Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis 34
Tabla 4. Comparaciones por parejas de grupos 35

Índice de Figuras

Figura 1. Comparación de fuerza y tensión máxima 33
Figura 2. Comparativo de la tensión máxima y sus diferencias significativas 37

“RESISTENCIA COMPRESIVA DE IONÓMEROS VÍTREOS CON DIFERENTES MECANISMOS DE POLIMERIZACIÓN: ANÁLISIS COMPARATIVO IN VITRO.”

Andrea Carolina Merino Segovia.

caro_and210@hotmail.com

Resumen

Este estudio evaluó la resistencia compresiva de diferentes cementos de ionómero de vidrio con distintos mecanismos de polimerización mediante un diseño experimental in vitro. Se analizaron cuatro materiales: GC Fuji IX GP Fast GIC y Maxxion R FGM (autopolimerizables), GC Fuji II LC y Riva Light Cure SDI (fotopolimerizables). Se prepararon 100 especímenes cilíndricos (25 por cada material) siguiendo la norma ISO 9917-1:2007, que fueron almacenados en saliva artificial a 37°C durante 15 días antes de someterse a pruebas de compresión. Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.001$) entre los materiales, con Riva Light Cure SDI exhibiendo la mayor resistencia compresiva (1603.7 kN) y tensional (121.47 MPa), significativamente superior a los demás materiales. Sorprendentemente, no se encontraron diferencias significativas ($p=0.911$) entre GC Fuji IX GP Fast (autopolimerizable, 911.2 kN) y GC Fuji II LC (fotopolimerizable, 965.8 kN), sugiriendo que la composición química específica del fabricante tiene mayor influencia que el mecanismo de polimerización. Maxxion R FGM presentó los valores más bajos (613.0 kN), pero con menor variabilidad. Los resultados indican que los cementos de ionómero de vidrio pueden clasificarse en tres categorías de rendimiento: alto (Riva Light Cure SDI), intermedio (productos GC) y básico (Maxxion R FGM), proporcionando un marco para la selección clínica basada en requerimientos específicos. La equivalencia estadística entre productos de GC con diferentes mecanismos de polimerización ofrece flexibilidad valiosa para situaciones clínicas diversas en odontopediatría, permitiendo

seleccionar entre auto y fotopolimerización sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas.

Palabras clave: CEMENTOS DE IONÓMERO DE VIDRIO, RESISTENCIA COMPRESIVA, AUTOPOLIMERIZACIÓN, FOTOPOLIMERIZACIÓN, ODONTOPEDIATRÍA, MATERIALES DENTALES.

Abstract

This study evaluated the compressive strength of different glass ionomer cements with varying polymerization mechanisms through an in vitro experimental design. Four materials were analyzed: GC Fuji IX GP Fast GIC and Maxxion R FGM (self-curing), GC Fuji II LC and Riva Light Cure SDI (light-curing). One hundred cylindrical specimens (25 per material) were prepared following ISO 9917-1:2007 standards and stored in artificial saliva at 37°C for 15 days before compression testing. Results showed statistically significant differences ($p<0.001$) between materials, with Riva Light Cure SDI exhibiting the highest compressive (1603.7 kN) and tensile (121.47 MPa) strength, significantly superior to all other materials. Surprisingly, no significant differences ($p=0.911$) were found between GC Fuji IX GP Fast (self-curing, 911.2 kN) and GC Fuji II LC (light-curing, 965.8 kN), suggesting that the manufacturer's specific chemical composition has greater influence than the polymerization mechanism. Maxxion R FGM showed the lowest values (613.0 kN) but with less variability. The findings indicate that glass ionomer cements can be classified into three performance categories: high (Riva Light Cure SDI), intermediate (GC products), and basic (Maxxion R FGM), providing a framework for clinical selection based on specific requirements. The statistical equivalence between GC products with different polymerization mechanisms offers valuable flexibility for diverse clinical situations in

pediatric dentistry, allowing selection between self and light-curing without significantly compromising mechanical properties.

Keywords: GLASS IONOMER CEMENTS, COMPRESSIVE STRENGTH, SELF-CURING, LIGHT-CURING, PEDIATRIC DENTISTRY, DENTAL MATERIALS.

Introducción

Los cementos de ionómero de vidrio (CIV) fueron desarrollados por Wilson y Kent en 1969 como respuesta a la necesidad de combinar las ventajas de los cementos de silicato y los cementos de policarboxilato (Chaudhary et al., 2023). Los CIV originales se basaban en una reacción ácido-base entre el ácido poliacrílico y partículas de vidrio básicas, específicamente vidrio de alúmina-fluoro-silicato (Correia Da Silva et al., 2021). Esta composición inicial permitió obtener materiales con adhesión química a la estructura dental y liberación de flúor, características altamente deseables en odontología restauradora (Saridena et al., 2022).

Su capacidad de adhesión química a la estructura dental, liberación de flúor y biocompatibilidad los han posicionado como materiales versátiles para diversas aplicaciones clínicas (Sidhu & Nicholson, 2016). A lo largo de las últimas décadas, estos materiales han experimentado importantes modificaciones en su composición y mecanismos de polimerización, buscando optimizar tanto sus propiedades físicas como su manipulación clínica (Saridena et al., 2022).

Desde su introducción en la década de 1970, los CIV han experimentado numerosas modificaciones en su composición con el objetivo de mejorar sus características clínicas (Correia Da Silva et al., 2021). Inicialmente, presentaban limitaciones importantes como una pasta que se espesaba rápidamente durante la manipulación, tiempos de fraguado prolongados y resistencia

mecánica insatisfactoria, estos inconvenientes motivaron investigaciones orientadas a optimizar tanto la composición como los mecanismos de polimerización (Berg, 2002).

La composición química del polvo de CIV ha sido modificada significativamente en tiempos contemporáneos para mejorar las características de manejo y las propiedades mecánicas (Chaudhary et al., 2023). Chaudhary et al. (2023) plantearon que se podían formar mayores puentes de poli-sal en la matriz del CIV al aumentar la afinidad química entre las partículas de relleno y la matriz, superando así muchos de los obstáculos existentes; esta evolución química ha sido fundamental para ampliar el espectro de aplicaciones clínicas de estos materiales. (Junior et al., 2022).

Un salto cualitativo importante ocurrió con la introducción de la nanotecnología en 2007, aplicándose tanto en los ionómeros convencionales como en los modificados con resina. (Junior et al., 2022). La incorporación de nanopartículas, conocidas como nanómeros y nanoclusters, en el vidrio FAS ha permitido mejorar sustancialmente las propiedades físicas y mecánicas de los ionómeros vítreos convencionales (Chaudhary et al., 2023). Este avance tecnológico representa uno de los desarrollos más prometedores en la mejora de las características de resistencia de estos materiales (Junior et al., 2022).

El desarrollo de los ionómeros de vidrio modificados por resina marcó otro hito evolutivo significativo. (Correia Da Silva et al., 2021). Estos materiales, además de mantener la composición básica de los ionómeros convencionales, incorporaron monómeros HEMA (2-hidroxietil metacrilato) y el iniciador canforoquinona como componentes fundamentales (Junior et al., 2022). Esta modificación permitió combinar la reacción ácido-base tradicional con la polimerización por fotocurado, mejorando significativamente las propiedades mecánicas y ampliando el rango de aplicaciones clínicas (Correia Da Silva et al., 2021).

Con el tiempo, los CIV han diversificado enormemente sus aplicaciones clínicas, convirtiéndose en materiales versátiles utilizados en una amplia variedad de procedimientos dentales (Saridena et al., 2022). Actualmente se emplean como materiales restauradores, agentes de cementación, bases y revestimientos de cavidades, selladores de fosas y fisuras, selladores endodónticos y materiales para tratamiento restaurador atraumático (Messer-Hannemann et al., 2023). Son considerados materiales de elección para muchos procedimientos específicos, incluyendo la técnica sándwich, el tratamiento de caries radiculares, reconstrucciones sin estrés y restauraciones provisionales de larga duración (Saridena et al., 2022).

La evolución conceptual más reciente ha llevado a considerar a los ionómeros vítreos como "materiales inteligentes", definidos como aquellos cuyas propiedades pueden ser alteradas de forma controlada por diversos estímulos como el estrés, la temperatura, la humedad, el pH o los campos eléctricos y magnéticos (Xie et al., 2008). Esta caracterización refleja la capacidad de estos materiales para interactuar con el entorno oral, particularmente mediante la liberación y recarga de flúor, proporcionando efectos terapéuticos que trascienden la simple función restauradora (Panetta et al., 2024).

Estos materiales se pueden clasificar en términos generales en tipos convencionales, modificados con resina y nano mejorados, cada uno con características y aplicaciones distintas (Zakaria et al., 2024).Los ionómeros de vidrio convencionales están compuestos de vidrio de aluminosilicatos básico y ácido poliacrílico, estos cementos se endurecen mediante una reacción ácido-base (Chaudhary et al., 2023). Se utilizan en empastes dentales, cementos adhesivos y procedimientos de restauración atraumáticos (Chaudhary et al., 2023).

Presentan propiedades mecánicas y sensibilidad a la humedad deficientes, lo que ha provocado diversas modificaciones (Saridena et al., 2022). Los ionómeros de vidrio modificados

con resina incorporan componentes de resina para mejorar la estética y reducir el tiempo de fraguado (Chaudhary, 2023). Ofrecen mejores propiedades mecánicas y resistencia a la humedad en comparación con los GIC convencionales es adecuado para áreas que requieren una mayor resistencia y atractivo estético (Chaudhary, 2023). Los ionómeros de vidrio nanomejorados tienen incorporados nanopartículas, como la nano-hidroxiapatita y sílice, para mejorar la resistencia y la biocompatibilidad (Zakaria et al., 2024). Entre sus ventajas es su mejora de las propiedades mecánicas y del potencial de diferenciación dentinogénica. Existen estudios en curso que se centran en mejorar la bioactividad y las propiedades antibacterianas mediante la nanotecnología (Makanjuola & Deb, 2023).

La clasificación de los cementos de ionómero de vidrio (CIV) según sus mecanismos de polimerización permite comprender el comportamiento biomecánico y sus aplicaciones clínicas (Correia Da Silva et al., 2021). Los CIV convencionales, también denominados autopolimerizables o de autocurado, representan la primera generación de estos materiales (Park & Kang, 2020). Su composición básica consiste en un polvo de partículas de vidrio de fluoroaluminosilicato y un líquido compuesto principalmente por ácido poliacrílico (Croll & Nicholson, 2002). El mecanismo de fraguado se basa exclusivamente en una reacción ácido-base que ocurre cuando se mezclan ambos componentes, sin requerir ningún estímulo externo. Esta reacción produce la formación de una matriz de policarboxilato entrecruzada con iones metálicos provenientes del vidrio (Kłos et al., 2021). Los CIV convencionales han tenido una presencia prolongada en la odontología restauradora, siendo utilizados tradicionalmente como materiales para forros de cavidades, bases cavitarias, restauraciones directas y agentes de cementación (Croll & Nicholson, 2002).

Los CIV modificados con resina (CIVMR) surgieron como respuesta a las limitaciones de los ionómeros convencionales, particularmente su sensibilidad a la humedad durante las etapas iniciales del fraguado y sus propiedades mecánicas limitadas (Sidhu & Nicholson, 2016). Estos materiales mantienen los componentes esenciales de los CIV convencionales (polvo de vidrio básico, agua, poliácido), pero incorporan adicionalmente un componente monómero, típicamente metacrilato de 2-hidroxietilo (HEMA), y un sistema iniciador fotosensible como la canforoquinona (Park & Kang, 2020). El mecanismo de fraguado de los CIVMR es dual, combinando la reacción ácido-base tradicional (neutralización) con una polimerización por adición activada mediante luz visible (Croll & Nicholson, 2002). Esta modificación permitió superar significativamente las dificultades de manipulación, reducir el tiempo de endurecimiento inicial y mejorar sustancialmente la resistencia al desgaste y las propiedades mecánicas generales del cemento (Sidhu & Nicholson, 2016).

La evolución más reciente en esta clasificación está representada por los CIV de triple curado, que representan un refinamiento adicional de los sistemas modificados con resina (Park & Kang, 2020). Estos materiales se basan en formulaciones más complejas que incluyen copolímeros de ácido acrílico-itacónico con grupos metacrilato unidos a la amida, además de HEMA, ácido tartárico y agua (Agha et al., 2016). Su mecanismo de fraguado es particularmente sofisticado, iniciándose con una reacción ácido-base al mezclar los componentes, seguida por una doble reacción de polimerización: una iniciada por luz (fotopolimerización) y otra químicamente activada (autopolimerización) (Park & Kang, 2020). Esta triple vía de polimerización busca optimizar las propiedades del material y reducir sus limitaciones, combinando las ventajas de cada mecanismo individual (Agha et al., 2016).

Es importante señalar que la clasificación actual de los ionómeros vítreos puede resultar confusa debido a la multiplicidad y complejidad de las formulaciones disponibles en el mercado (Junior et al., 2022). Los fabricantes continúan introduciendo modificaciones que dificultan establecer límites claros entre categorías; sin embargo, esta diversidad representa también la riqueza evolutiva de estos materiales, que siguen adaptándose a las demandas clínicas con composiciones y mecanismos de polimerización cada vez más sofisticados, orientados a optimizar propiedades críticas como la resistencia compresiva (Sidhu & Nicholson, 2016).

La relevancia clínica de la resistencia compresiva es importante en la evaluación y selección de ionómeros especialmente en lo que tiene que ver con las aplicaciones restauradoras(Setiawan et al., 2022). Esta propiedad física permite predecir el comportamiento clínico y la longevidad de las restauraciones dentales, especialmente cuando se utilizan materiales con diferentes mecanismos de polimerización (Setiawan et al., 2022).

La capacidad de un material restaurador para soportar las fuerzas generadas durante la masticación es fundamental en su desempeño clínico durante la función masticatoria, las restauraciones dentales están sometidas a cargas compresivas que pueden superar los 800 MPa en determinadas áreas (Setiawan et al., 2022). Una alta resistencia compresiva permite que la restauración resista eficazmente la presión y el estrés repetitivo generado durante la masticación, fonación y otras actividades funcionales orales, previniendo fracturas y deformaciones que comprometerían la integridad de la restauración (Peedikayil et al., 2023).

La resistencia compresiva se considera un indicador confiable de la durabilidad de una restauración, estableciendo una correlación directa entre esta propiedad y el tiempo de supervivencia clínica (Creanor et al., 1998). Los estudios longitudinales han demostrado que el incremento en la resistencia compresiva de los ionómeros vítreos aumenta significativamente su

resistencia a largo plazo, mejorando su desempeño como materiales restauradores, particularmente en situaciones de altas demandas funcionales como las restauraciones en dientes posteriores (Raghimi et al., 2024).

Las pruebas de resistencia compresiva revisten especial importancia porque simulan con mayor fidelidad el patrón de estrés experimentado durante la actividad funcional masticatoria (Correia Da Silva et al., 2021). A diferencia de otras propiedades mecánicas, la resistencia compresiva constituye el único indicador que puede identificar con precisión la verdadera capacidad de una restauración para soportar las fuerzas oclusales, proporcionando información clínicamente relevante sobre su potencial desempeño in vivo (Messer-Hannemann et al., 2023).

Diversos factores influyen significativamente en la resistencia compresiva de los ionómeros vítreos, incluyendo su composición química, la relación polvo/líquido empleada y el método de manipulación del material (Pérez-Castro et al., 2024). Los diferentes mecanismos de polimerización modifican la estructura final de la matriz, afectando directamente sus propiedades mecánicas (Dionysopoulos et al., 2022). Adicionalmente, procedimientos clínicos como la aplicación de un recubrimiento protector después de la restauración pueden incrementar la resistencia compresiva, optimizando el comportamiento biomecánico del material (Setiawan et al., 2022).

Una de las limitaciones históricas de los ionómeros vítreos convencionales ha sido su baja resistencia a la propagación de grietas cuando se exponen a elevadas fuerzas oclusales, restringiendo su uso como materiales restauradores directos en cavidades extensas sometidas a carga (Setiawan et al., 2022). Esta característica ha motivado la búsqueda constante de formulaciones con propiedades mecánicas mejoradas, siendo la optimización de la resistencia

compresiva un requisito fundamental para ampliar su aplicación clínica en áreas de soporte de carga funcional (Thbayh et al., 2023).

En procedimientos específicos como la Técnica Restauradora Atraumática (ART), el empleo de un ionómero de vidrio con óptimas propiedades mecánicas resulta determinante para el éxito terapéutico (Sidhu, 2011). Los materiales de alta viscosidad, que permiten cierto grado de empaquetamiento, han demostrado resultados clínicos favorables en múltiples ensayos longitudinales (Berg, 2002). La resistencia compresiva de estos materiales se correlaciona directamente con su tasa de supervivencia clínica, validando la importancia de esta propiedad como predictor del comportamiento funcional a largo plazo (Bollu, 2016).

Existen factores que influyen en las propiedades mecánicas de los ionómeros vítreos y los mismos determinan su comportamiento clínico y de forma específica los aspectos que tienen que ver con la resistencia compresiva y el desempeño de estos materiales según sus diferentes mecanismos de polimerización (Messer-Hannemann et al., 2023).

Según Saridena et al., (2022) la composición química constituye un determinante primario de las propiedades mecánicas, uno de ellos es la incorporación de nanopartículas misma que ha revolucionado significativamente, mejorando sus características físicas. Elementos como nanohidroxiapatita, sílice, titanio, zirconio y sulfato de bario modifican sustancialmente su comportamiento biomecánico (Almuhaiza, 2016). Particularmente, la adición de nanohidroxiapatita (nHA) ha demostrado mejorar no solo las propiedades mecánicas sino también la liberación de fluoruro y la resistencia a la invasión bacteriana (Messer-Hannemann et al., 2023). La combinación de polvo de zirconia con nHA potencia estas mejoras en comparación con la hidroxiapatita utilizada aisladamente. Adicionalmente, la incorporación de

nanopartículas de Al_2O_3, ZrO_2 y TiO_2 reduce los microhuecos en la estructura del cemento fraguado, mejorando su homogeneidad y resistencia (Messer-Hannemann et al., 2023).

Para Agha et al. (2016) la composición del vidrio representa otro aspecto importante, cuya relación Al_2O_3/SiO_2 y el contenido de flúor influyen directamente en las propiedades finales del cemento. El uso de vidrios que contienen estroncio, bario y zinc, frecuentes en materiales comerciales, modifica sus características físicas (Almuhaiza, 2016). Los vidrios de silicato de niobio, aunque pueden aumentar significativamente el tiempo de fraguado debido a la formación de enlaces Si-O-Nb más resistentes al ataque ácido, pueden disminuir la resistencia a la tracción diametral y la microdureza (Najeeb et al., 2016). La incorporación de whiskers de carburo de silicio (SiC) mejora notablemente la resistencia a la fatiga y a la flexión, optimizando el comportamiento mecánico del material (Dionysopoulos et al., 2022).

El tipo de ácido polimérico empleado ejerce una influencia considerable en las propiedades del cemento, copolímeros de mayor peso molecular han demostrado mejorar las propiedades físicas generales del material (Xie et al., 2014). En los ionómeros modificados con resina, la matriz de polímero curable por luz, el HEMA y el agua constituyen componentes fundamentales cuya proporción afecta directamente las propiedades mecánicas resultantes (Agha et al., 2016).

La proporción polvo-líquido (P:L) representa un factor a considerar en la determinación de las propiedades mecánicas, para los CIV convencionales, el incremento en la proporción P:L generalmente mejora la resistencia, aunque puede dificultar la mezcla manual (Kłos et al., 2021). Disminuir esta proporción respecto a las recomendaciones del fabricante compromete significativamente las propiedades del cemento (Guo et al., 2024). Para obtener las mejores propiedades físicas, especialmente en ionómeros modificados con resina, se requiere una mezcla

con la mayor proporción polvo/líquido posible, asegurando que todo el polvo de vidrio se humedezca completamente con la solución ácida (Lari et al., 2021).

Los CIV de alta viscosidad requieren proporciones elevadas para lograr mayor resistencia a la flexión y compresión, mientras que los de baja viscosidad necesitan proporciones menores para incrementar su fluidez (Saridena et al., 2022). La alteración de la proporción recomendada por el fabricante puede comprometer seriamente las propiedades físicas del material (Lari et al., 2021). Los sistemas encapsulados reducen la variabilidad inducida por el operador y la formación de burbujas al estandarizar las proporciones en una cápsula sellada (Lari et al., 2021).

Las condiciones de manipulación se consideran como factor en las propiedades finales, como ejemplo el método de mezclado afecta la porosidad y homogeneidad del cemento (Messer-Hannemann et al., 2023). El mezclado automático de los CIV encapsulados tiende a generar mayor porosidad que los sistemas polvo-líquido mezclados manualmente, si bien la mezcla manual permite mayor control en la evaluación de las diferencias entre materiales, puede introducir variaciones en la proporción polvo-líquido, afectando el rendimiento mecánico (Xie et al., 2008). La manipulación, inserción y protección superficial deben seguir rigurosamente las instrucciones del fabricante para optimizar las propiedades y minimizar riesgos asociados a sinéresis (pérdida de agua) e imbibición (ganancia de agua), fenómenos que pueden provocar alteraciones dimensionales, pérdida de propiedades mecánicas y formación de grietas (Correia Da Silva et al., 2021).

Las condiciones de almacenamiento es otro aspecto de relevancia para los ionómeros modificados con resina (Pérez-Castro et al., 2024). El almacenamiento en medios acuosos puede afectar negativamente las propiedades físicas debido a la absorción de agua, que altera el volumen del material y deteriora la estructura de la matriz (Kunte et al., 2022). Este fenómeno

impacta propiedades críticas como la resistencia, dureza, flexión y estabilidad mecánica general (Pérez-Castro et al., 2024). Históricamente, el protocolo estándar para los CIV recomendaba retrasar las etapas de acabado y pulido al menos 24 horas, reconociendo que la maduración química puede requerir 24 horas o más para completarse (Kunte et al., 2022). Permitir que los cementos maduren completamente bajo un recubrimiento protector optimiza sus propiedades a largo plazo (Sidhu, 2011).

Además, factores como el tiempo de fraguado, las condiciones ambientales durante la aplicación, y las variaciones en la composición química influyen en la resistencia final del material, observaron que la resistencia a la compresión de los ionómeros de vidrio puede aumentar hasta en un 50% entre las 24 horas y los 15 días post-aplicación, destacando la importancia del tiempo en la maduración del material (Sidhu, 2011).

Los avances tecnológicos en la formulación de ionómeros vítreos han evolucionado significativamente para mejorar sus propiedades, estas innovaciones permiten comprender las diferencias en resistencia compresiva entre materiales con distintos mecanismos de polimerización (Park & Kang, 2020). La incorporación de nanopartículas representa uno de los avances más prometedores en el desarrollo de ionómeros vítreos modernos, la nanotecnología ha permitido modificar estos cementos con partículas de dimensiones entre 1 y 100 nm, incrementando sustancialmente su resistencia mecánica (Panetta et al., 2024). Se han incorporado diversos nanofillers como nanohidroxiapatita, sílice, titanio, zirconio y sulfato de bario para mejorar tanto sus características físicas como su desempeño clínico (Saridena et al., 2022). La adición de nanohidroxiapatita (nHA) ha demostrado particularmente efectos positivos, mejorando simultáneamente las propiedades mecánicas, la liberación de fluoruro y la resistencia

a la invasión bacteriana, además de incrementar la biocompatibilidad en comparación con los CIV convencionales (Park & Kang, 2020).

La combinación de polvo de zirconia con nHA potencia estas mejoras en comparación con el uso aislado de hidroxiapatita, este incremento en las propiedades mecánicas puede atribuirse a la alta resistencia, elevado módulo, dureza y naturaleza insoluble características de la zirconia (Saridena et al., 2022). Otras nanopartículas como el óxido de titanio han demostrado aumentar la resistencia a la fractura por compresión, mientras que la sílice nanométrica mejora la microdureza, la resistencia compresiva y flexural, y la fuerza de unión al cizallamiento (Croll & Nicholson, 2002). Las nanopartículas de zirconia fortalecen el material y reducen su fragilidad, y el sulfato de bario influye en las condiciones de trabajo, tiempos de fraguado y propiedades físicas generales del material (Panetta et al., 2024).

Combinaciones más complejas como nanozirconia-sílice-hidroxiapatita optimizan simultáneamente el rendimiento mecánico y estético, la incorporación de nanocerámicos biocerámicos al polvo de vidrio, tanto en ionómeros convencionales como en los modificados con resina, ha demostrado mejorar significativamente sus propiedades mecánicas, ampliando el espectro de aplicaciones clínicas posibles (Panetta et al., 2024).

La modificación de la matriz constituye otra línea de desarrollo tecnológico importante (Panetta et al., 2024). Se ha trabajado en incrementar la afinidad química entre las partículas de relleno y la matriz del ionómero para formar mayores puentes de polisales, fortaleciendo la estructura general del material (Chaudhary et al., 2023). La modificación con vidrios de silicato de niobio puede aumentar el tiempo de fraguado, aunque puede disminuir la microdureza y la resistencia a la tracción diametral (Croll & Nicholson, 2002). La adición de whiskers de carburo de silicio (SiC) mejora la resistencia flexural y la resistencia a la fatiga, mientras que la

incorporación de aminoácidos N-acriloil o N-metacriloil a los copolímeros de ácido acrílico puede aumentar la tenacidad a la fractura (Saridena et al., 2022).

Investigaciones recientes han buscado mejorar las propiedades mecánicas de los ionómeros de vidrio, así Molina et al., (2013) reportaron que la incorporación de nanopartículas puede aumentar significativamente la resistencia a la compresión, con incrementos de hasta un 30% en comparación con los ionómeros convencionales (Croll & Nicholson, 2002).

La adición de componentes resinosos representa otra evolución significativa, dando origen a los ionómeros modificados con resina (CIVMR), estos materiales contienen monómeros y sistemas iniciadores asociados que facilitan la manipulación de la restauración y aumentan el tiempo de trabajo (Najeeb et al., 2016). La introducción de monómeros mejora la microdureza y la resistencia a la fractura (Croll & Nicholson, 2002). El desarrollo ha avanzado hacia materiales híbridos que combinan las propiedades mecánicas superiores de las resinas compuestas con el potencial anticariogénico característico de los ionómeros (Saridena et al., 2022).

Entre todas sus características positivas señaladas se puede indicar que sobresale por mimetizarse con el color natural de los dientes y por su capacidad de adherirse por sí mismo a la superficie dental; además, su capacidad de liberar flúor le confiere propiedades que ayudan a prevenir la caries, una ventaja adicional es que no se contrae ni genera calor mientras se endurece (Agha et al., 2016; Guo et al., 2024). Sin embargo, este material no está exento de problemas (Kunte et al., 2022). Su principal debilidad radica en su susceptibilidad al deterioro físico: se desgasta con facilidad, tiende a quebrarse y no resiste bien las fuerzas de flexión, particularmente crítico es su comportamiento frente a la humedad, especialmente durante el primer día tras su aplicación (Croll & Nicholson, 2002). Si el material pierde agua durante este

período crucial, sus propiedades se ven comprometidas significativamente (Agha et al., 2016; Guo et al., 2024).

A pesar de sus numerosas ventajas, los cementos de ionómeros de vidrio tradicionalmente han presentado limitaciones en términos de propiedades mecánicas, particularmente en su resistencia a la compresión, en comparación con otros materiales restauradores como las resinas compuestas (Bollu, 2016). La resistencia a la compresión es una medida de la capacidad de un material para soportar cargas axiales sin fallar, en el contexto de los cementos de ionómero de vidrio, una mayor resistencia a la compresión garantiza que el material pueda soportar las fuerzas de masticación y otras tensiones en la cavidad bucal, lo que prolonga la vida útil de las restauraciones dentales (Meganadhan et al., 2021; Setiawan et al., 2022).

Para Junior et al., (2022) existe además una notable escasez de estudios clínicos longitudinales que justifiquen el uso rutinario de ionómeros nano-modificados en la práctica odontológica diaria, lo que implica más ensayos clínicos aleatorizados y estudios mecánicos y biológicos para determinar el verdadero potencial de estos materiales, la investigación sobre los efectos de la nano-modificación en las células pulpares es particularmente escasa, planteando interrogantes sobre su biocompatibilidad a largo plazo.

Aunque la incorporación de nanopartículas generalmente mejora las propiedades mecánicas, existe el riesgo de fallo en la interfaz vidrio-biocerámica, lo que podría comprometer dichas propiedades (Najeeb et al., 2016). Los estudios como el de Agha et al., (2016) han mostrado resultados contradictorios respecto a si los nanoionómeros comerciales ofrecen ventajas sustanciales en términos de propiedades mecánicas superficiales en comparación con materiales restauradores convencionales.

Persiste también la controversia sobre la clasificación de materiales predominantemente resinosos como sistemas de ionómero vítreo, y los beneficios específicos de estos materiales sobre los sistemas tradicionales y los compuestos resinosos aún no están completamente documentados (Smith, 1998). La investigación futura debe abordar parámetros cruciales como la capacidad de liberación de fluoruro, resistencia al desgaste e integridad marginal, y realizar comparaciones sistemáticas con otros materiales disponibles en el mercado (Messer-Hannemann et al., 2023).

Una limitación particularmente relevante para este análisis comparativo es la escasez de datos sobre comparaciones directas entre materiales con diferentes mecanismos de polimerización (Junior et al., 2022). La mejora de las propiedades mecánicas de los ionómeros convencionales sigue siendo un requisito obligatorio para su aplicación clínica en áreas sometidas a carga funcional, aunque estudios in vitro indican que la adición de nanopartículas de apatita en cementos convencionales proporciona mejoras en propiedades mecánicas y liberación de fluoruro, faltan estudios que comprueben la eficiencia clínica de estos hallazgos (Najeeb et al., 2016).

La resistencia mecánica de cementos modificados con componentes específicos como quitosana y vidrio bioactivo continúa siendo insuficiente para determinadas aplicaciones, los resultados contradictorios sobre la influencia de nanopartículas en las propiedades físicas demuestran la necesidad de estandarizar metodologías y materiales (Chaudhary et al., 2023). La escasez de estudios en modelos animales y sobre efectos pulpares limita la traslación de estos avances a la práctica clínica (Croll & Nicholson, 2002).

Es fundamental ampliar las investigaciones para superar las limitaciones persistentes de los ionómeros vítreos y evaluar sistemáticamente el efecto de diferentes métodos de mezcla en

sus propiedades mecánicas (Molina et al., 2013). El análisis comparativo de la resistencia compresiva según diferentes mecanismos de polimerización representa un área particularmente prometedora para optimizar la selección de estos materiales en la práctica clínica (Correia Da Silva et al., 2021).

La metodología para evaluar la resistencia compresiva sigue protocolos específicos y estandarizados que ese han documentado en la literatura científica; generalmente, esta propiedad se determina utilizando máquinas de pruebas universales que aplican presión compresiva a una velocidad constante sobre el espécimen hasta que se detectan grietas o fracturas en el material (Bollu, 2016). Las muestras utilizadas para este análisis suelen ser bloques cilíndricos preparados con dimensiones específicas, típicamente de 4 mm de diámetro y 6 mm de altura, empleando moldes de teflón prefabricados que garantizan la estandarización de las muestras (Peedikayil et al., 2023). Esta geometría permite distribuir uniformemente las fuerzas compresivas y obtener resultados reproducibles (Setiawan et al., 2022).

Para simular las condiciones del ambiente oral, los especímenes se someten a períodos de almacenamiento en saliva artificial a 37°C durante intervalos predeterminados, frecuentemente de 28 días (Peedikayil et al., 2023). Este acondicionamiento busca reproducir los efectos del entorno bucal sobre la maduración del material y sus propiedades finales (Setiawan et al., 2022).

Los estudios comparativos han evaluado diversos tipos de ionómeros vítreos según sus mecanismos de polimerización (autocurado, curado dual y fotocurado), revelando diferencias significativas en su resistencia compresiva y han demostrado que materiales como Ketac N100 GIC exhiben mayor resistencia compresiva, mientras que Fuji IX GP Fast GIC presenta valores inferiores (Peedikayil et al., 2023). Consistentemente, los ionómeros fotocurados han mostrado mayor resistencia compresiva en comparación con los de curado dual y autocurado, sugiriendo

una relación entre el mecanismo de polimerización y las propiedades mecánicas resultantes (Peedikayil et al., 2023).

Algunos protocolos de investigación han refinado la metodología mediante el uso de modelos dentarios que reproducen situaciones clínicas específicas, como restauraciones ART Clase II, para evaluar la resistencia compresiva en condiciones más similares a la realidad clínica. Este enfoque busca aumentar la validez externa de los resultados obtenidos (Molina et al., 2013).

La correlación entre los resultados de las pruebas in vitro y el desempeño clínico constituye un aspecto crítico en la interpretación de estos estudios (Bollu, 2016). La resistencia compresiva se correlaciona con la capacidad de la restauración para prevenir microfiltraciones, un factor determinante en la longevidad clínica (Peedikayil et al., 2023); adicionalmente, la bioactividad de los materiales representa otro parámetro que contribuye al éxito clínico

La liberación de flúor, característica distintiva de los ionómeros vítreos, constituye otra propiedad que contribuye significativamente al éxito clínico, disminuyendo la posibilidad de desarrollo de caries secundarias, esta característica debe considerarse en conjunto con la resistencia compresiva al evaluar el potencial desempeño clínico de estos materiales (Croll & Nicholson, 2002).

Por lo que ante todo este contexto este estudio es fundamental por varias razones. Primero, contribuirá al conocimiento científico sobre los mecanismos que determinan la resistencia a la compresión de los ionómeros de vidrio, abordando las discrepancias en la literatura actual y se ha destacado la necesidad de investigaciones que evalúen sistemáticamente cómo las modificaciones en la composición afectan las propiedades mecánicas a largo plazo (Xie et al., 2008).

Desde una perspectiva clínica, los resultados podrían conducir a la optimización de protocolos de aplicación y selección de materiales (Chaudhary et al., 2023). Según Frencken y colaboradores (2009), los ionómeros de vidrio podrían ampliar su aplicación en escenarios clínicos donde su uso es actualmente restringido, particularmente en odontología pediátrica y el tratamiento restaurador atraumático (ART). Tyas (2018) destaca que los GIC muestran un desempeño clínico sobresaliente en el manejo de caries con mínima intervención, pues permiten conservar la estructura dental mientras ofrecen una restauración eficaz.

En el contexto de la salud pública, ionómeros de vidrio con mejores propiedades mecánicas podrían ofrecer soluciones más duraderas y costo-efectivas, especialmente en entornos con recursos limitados donde las intervenciones frecuentes no son factibles (Frencken, 2010).

A pesar de algunas pruebas que respaldan su uso, sigue habiendo incertidumbre sobre la eficacia a largo plazo de los GIC en comparación con otros materiales restauradores, y muchos estudios indican la necesidad de realizar más investigaciones para establecer recomendaciones definitivas (Panetta et al., 2024).

Por tanto, el objetivo de este estudio se centra en evaluar la resistencia a la compresión de diferentes tipos de cementos de ionómero de vidrio (autocurables y de fotocurado) en un entorno oral simulado. Evaluar el impacto de diferentes composiciones químicas en la resistencia a la compresión de los ionómeros de vidrio.

Metodología

Para este estudio se estableció un diseño experimental in vitro comparativo entre dos categorías fundamentales de cementos ionoméricos: dos materiales de autopolimerización (GC Fuji IX GP Fast GIC y Maxxion R FGM) y dos de fotopolimerización (GC Fuji II LC y Riva

Light Cure SDI). La verificación dimensional y la calibración energética se realizaron mediante instrumentos de precisión específicos para garantizar la estandarización metodológica.

La preparación de especímenes se ejecutó siguiendo estrictamente los parámetros definidos por la norma ISO 9917-1:2007, para calcular el tamaño de la muestra se utilizó el software G*Power 3.1.1O(OARC), con un poder estadístico del 95% y un nivel de significancia del 5% el tamaño mínimo requerido fue de 100 muestras. La configuración geométrica se estandarizó empleando matrices de acero inoxidable con dimensiones precisas (4 mm de diámetro × 6 mm de altura). La obtención de superficies técnicamente adecuadas requirió la aplicación de barreras de celuloide en la interfaz superior y la utilización de loseta vítrea como soporte inferior, protocolo que garantizó la consecución de superficies perfectamente planas y libres de irregularidades.

La dosificación y manipulación de los materiales se realizó respetando rigurosamente las especificaciones del fabricante. En el caso particular de los ionómeros fotopolimerizables, se empleó una unidad de fotocurado VALO cuya emisión radiante fue verificada mediante radiómetro digital, registrándose una potencia estandarizada mayor a 1400 mW/cm², valor que se monitorizó sistemáticamente antes de cada ciclo de polimerización.

La estratificación muestral contempló una distribución inicial en dos categorías principales definidas por el mecanismo de polimerización: Grupo Ga (n=50) correspondiente a ionómeros de autopolimerización y Grupo Gb (n=50) constituido por ionómeros fotopolimerizables. La subdivisión posterior estableció cuatro categorías específicas:

- Ga1: Especímenes cilíndricos de GC Fuji IX GP Fast GIC (n=25)
- Ga2: Especímenes cilíndricos de Maxxion R FGM (n=25)
- Gb1: Especímenes cilíndricos de GC Fuji II LC (n=25)

- Gb2: Especímenes cilíndricos de Riva Light Cure SDI (n=25)

La validación de los especímenes se fundamentó en criterios de inclusión estrictamente definidos, considerándose aptos únicamente aquellos que presentaban conformidad dimensional (4 mm de diámetro × 6 mm de altura) y ausencia absoluta de defectos estructurales detectables mediante inspección visual, tales como porosidades o irregularidades superficiales. Los especímenes que no satisfacían estos criterios fueron sistemáticamente excluidos del análisis.

El acondicionamiento de los especímenes se realizó siguiendo el protocolo establecido por la norma ISO 9917-1:2007. Los cuerpos de prueba fueron sumergidos en medio de saliva artificial, registrándose el pH inicial de cada unidad experimental. El almacenamiento se efectuó en condiciones controladas utilizando una incubadora de precisión perteneciente al laboratorio clínico de la Universidad Nacional de Chimborazo, manteniéndose una temperatura constante de 37 ± 1°C y protegiéndose los especímenes de la radiación lumínica durante un período de 15 días. Finalizado el período de acondicionamiento, se realizó una segunda determinación del pH de cada unidad experimental previo al ensayo mecánico.

Se implementó un sistema de registro meticuloso que documentó sistemáticamente los parámetros críticos de almacenamiento, incluyendo variables como temperatura, composición del medio y duración del acondicionamiento. Cualquier desviación respecto a los parámetros establecidos por la normativa ISO fue documentada y considerada en el análisis de resultados, en conformidad con los requerimientos metodológicos establecidos por la norma ISO 9917-1:2007.

La evaluación de las propiedades mecánicas se desarrolló en el Grupo de Investigación de Nuevos Materiales y Procesos de Transformación (GIMAT) de la Universidad Politécnica Salesiana, garantizando la trazabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos. El entorno experimental se mantuvo bajo condiciones estrictamente controladas implementado por (GIMAT)

desarrollando un ambiente controlado para el proceso *in vitro* (temperatura: 23 ± 1°C, humedad relativa: 50 ± 5%), cumpliendo los estándares internacionales para evaluación de materiales odontológicos. La prueba de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo al protocolo del estudio de Peedikayil et al., (2023), con una Máquina de Ensayos Universal Instron de la compañía Shimadzu Japón modelo AGS-X, Series Universal Testing Machine, equipada con celda de carga de 20 kN con una velocidad de 1.0 mm/min, la carga se aplicó a lo largo del eje longitudinal de cada muestra, colocando los extremos planos entre las placas. Se registró la fuerza máxima que causó la fractura de las muestras mediante el software Trapezium X Testing incorporado para adquisición de datos, que permite el registro en tiempo real y la determinación automática de parámetros críticos como resistencia máxima, módulo elástico y energía absorbida hasta la fractura, posibilitando una caracterización integral del comportamiento mecánico de los ionómeros evaluados. Los datos obtenidos se tabularon y se analizaron estadísticamente utilizando el Software (SPSS v22.0). Se utilizó la prueba de análisis de varianza (ANOVA) de una vía (post hoc) para determinar las diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, seguida de una prueba t independiente y no paramétrica.

Hallazgos

Análisis De Datos

Análisis descriptivo.

En la Tabla 1 se muestran los valores descriptivos de las medidas alcanzadas de fuerza máxima por tipo de cemento encontrando marcadas diferencias en la resistencia a la compresión. Riva Light Cure SDI destaca significativamente con una fuerza máxima media de 1603.7 kN, lo que representa aproximadamente un 66% de la muestra

La variabilidad observada mediante la desviación estándar muestra que Riva Light Cure SDI, a pesar de su mayor resistencia, también presenta la mayor dispersión de resultados (DE = 417.158 kN). En contraste, Maxxion R FGM, aunque exhibe los valores más bajos de resistencia (media = 612.984 kN), presenta la menor variabilidad (DE = 162.423 kN).

Tabla 1. Estadística Descriptiva de Fuerza Máxima (kN)

Material	Media Fuerza	Desviación Estándar	Mínimo Fuerza	Máximo Fuerza
GC Fuji IX GP Fast GIC	911.169	287.551	623.61	1198.72
Maxxion R FGM	612.984	162.423	450.56	775.407
GC Fuji II LC	965.819	197.052	768.76	1162.87
Riva Light Cure SDI	1603.7	417.158	1186.54	2020.85

Es notable la similitud en el rendimiento de GC Fuji II LC (965.819 kN) y GC Fuji IX GP Fast (911.169 kN), con una diferencia de apenas 5.7% en sus medias, a pesar de emplear diferentes mecanismos de polimerización.

La Tabla 2 muestra un patrón de distribución similar al observado en la fuerza máxima. Riva Light Cure SDI presenta la mayor resistencia a la tensión (121.47 MPa), con un valor aproximadamente 66% superior al promedio de los otros tres materiales.

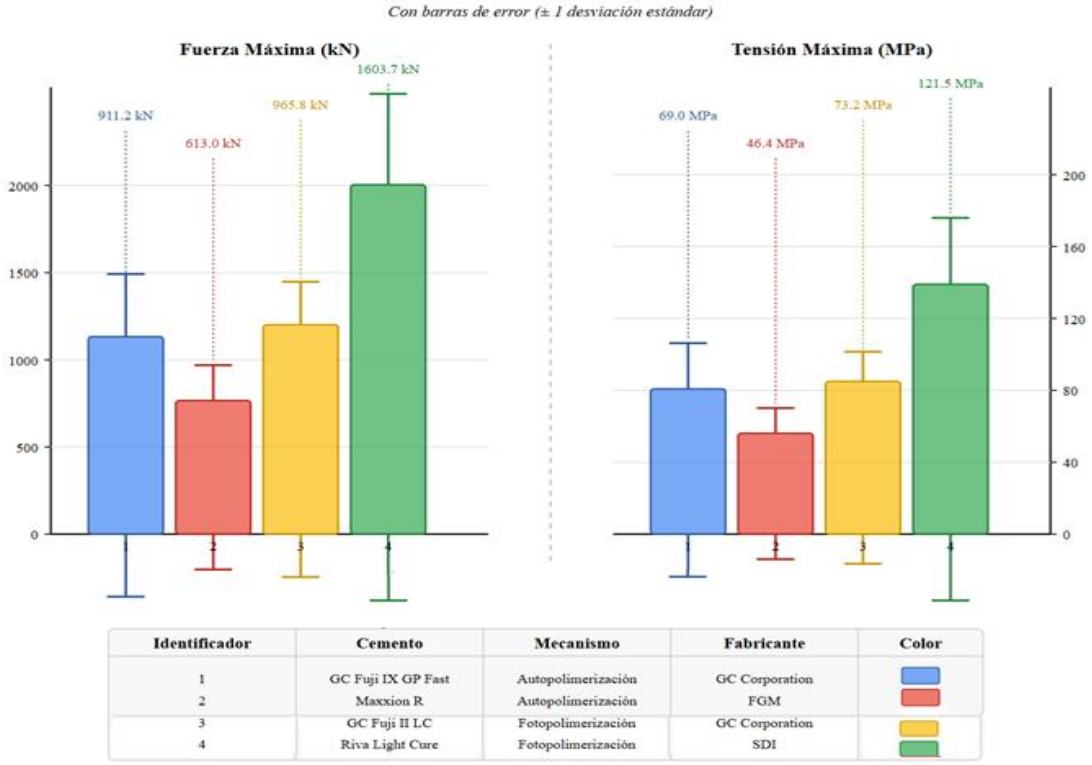
La amplitud del rango entre valores mínimos y máximos varía considerablemente entre los materiales. GC Fuji IX GP Fast muestra el mayor rango relativo, con un valor máximo (108.16 MPa) que cuadruplica su valor mínimo (25.27 MPa). GC Fuji II LC presenta el rango relativo más estrecho, con un valor máximo (114.23 MPa) aproximadamente el doble de su valor mínimo (52.32 MPa).

Tabla 2. Estadística Descriptiva de Tensión Máxima (MPa)

Material	Media Fuerza	Desviación Estándar	Tensión Mínima	Tensión Máxima
GC Fuji IX GP Fast GIC	69.01	21.30	25.27	108.16
Maxxion R FGM	46.43	12.03	27.72	78.84
GC Fuji II LC	73.15	14.62	52.32	114.23
Riva Light Cure SDI	121.47	30.96	67.81	174.34

La figura 1 muestras un análisis comparativo de fuerza y tensión máxima respecto del comportamiento mecánico de los cuatro cementos de ionómero de vidrio evaluados. Los resultados muestran una clara jerarquía en el rendimiento mecánico, donde Riva Light Cure SDI destaca considerablemente por encima de los demás materiales. Este cemento fotopolimerizable exhibe valores de fuerza máxima (1603.7 kN) y tensión máxima (121.5 MPa)

Figura 1. Comparación de fuerza y tensión máxima



Un hallazgo relevante es la similitud en el comportamiento mecánico entre GC Fuji II LC y GC Fuji IX GP Fast, con valores de fuerza máxima de 965.8 kN y 911.2 kN, y tensión máxima de 73.2 MPa y 69.0 MPa, respectivamente.

El cemento Maxxion R FGM muestra consistentemente los valores más bajos tanto en fuerza máxima (613.0 kN) como en tensión máxima (46.4 MPa).

El análisis de los materiales dentales mediante la prueba de Kruskal-Wallis (Tabla 3), mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, con un estadístico H de 58.408 y un valor $p < 0.001$ tanto para la fuerza máxima como para la tensión máxima. Este resultado inicial indica que existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico de los materiales estudiados, lo que justificó la realización de comparaciones por pares para identificar específicamente entre qué grupos se presentaban estas diferencias.

Tabla 3. Prueba de Kruskal Wallis

Estadísticos de prueba [a, b]	**Fuerza máxima (kN)**	**Tensión máxima (MPa)**
H de Kruskal-Wallis	58.408	58.408
Gl	3	3
Sig. asintótica	0.00	0.00

a Prueba de Kruskal Wallis

b Variable de agrupación: Grupos

Las comparaciones múltiples por pares (Tabla 5), realizadas con ajuste de Bonferroni para controlar el error tipo I, revelaron patrones específicos de diferencias entre los materiales. El Maxxion R FGM mostró diferencias significativas con todos los demás materiales: presentó valores significativamente menores en comparación con GC Fuji IX GP Fast GIC ($p = 0.009$), GC Fuji II LC ($p < 0.001$), y Riva Light Cure SDI ($p < 0.001$). Estos resultados posicionan al Maxxion R FGM como el material con los valores más bajos de resistencia en el grupo de estudio.

En el extremo superior de rendimiento, el Riva Light Cure SDI demostró ser significativamente superior a todos los demás materiales. Se encontraron diferencias significativas en comparación con GC Fuji IX GP Fast GIC ($p < 0.001$), GC Fuji II LC ($p = 0.002$), y como se mencionó anteriormente, con Maxxion R FGM ($p < 0.001$). Esto establece al Riva Light Cure SDI como el material con mayor resistencia entre todos los evaluados.

Se denotó además la ausencia de diferencias significativas entre GC Fuji IX GP Fast GIC y GC Fuji II LC ($p = 1.000$). Estos dos materiales mostraron un comportamiento estadísticamente similar, lo que sugiere que podrían ser intercambiables desde el punto de vista de su resistencia.

Tabla 4. Comparaciones por parejas de grupos

Sample 1-Sample 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustadaa
Maxxion R FGM-GC Fuji IX GP Fast GIC	26	8.215	3.165	0.002	0.009
Maxxion R FGM-GC Fuji II LC	-32.283	8.049	-4.011	0.000	0.000
Maxxion R FGM-Riva Light Cure SDI	-61.083	8.049	-7.589	0.000	0.000
GC Fuji IX GP Fast GIC-GC Fuji II LC	-6.283	8.049	-0.781	0.435	1.000
GC Fuji IX GP Fast GIC-Riva Light Cure SDI	-35.083	8.049	-4.359	0.000	0.000
GC Fuji II LC-Riva Light Cure SDI	-28.8	7.879	-3.655	0.000	0.002

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la Muestra 1 y la Muestra 2 son iguales.
Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05.
a Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

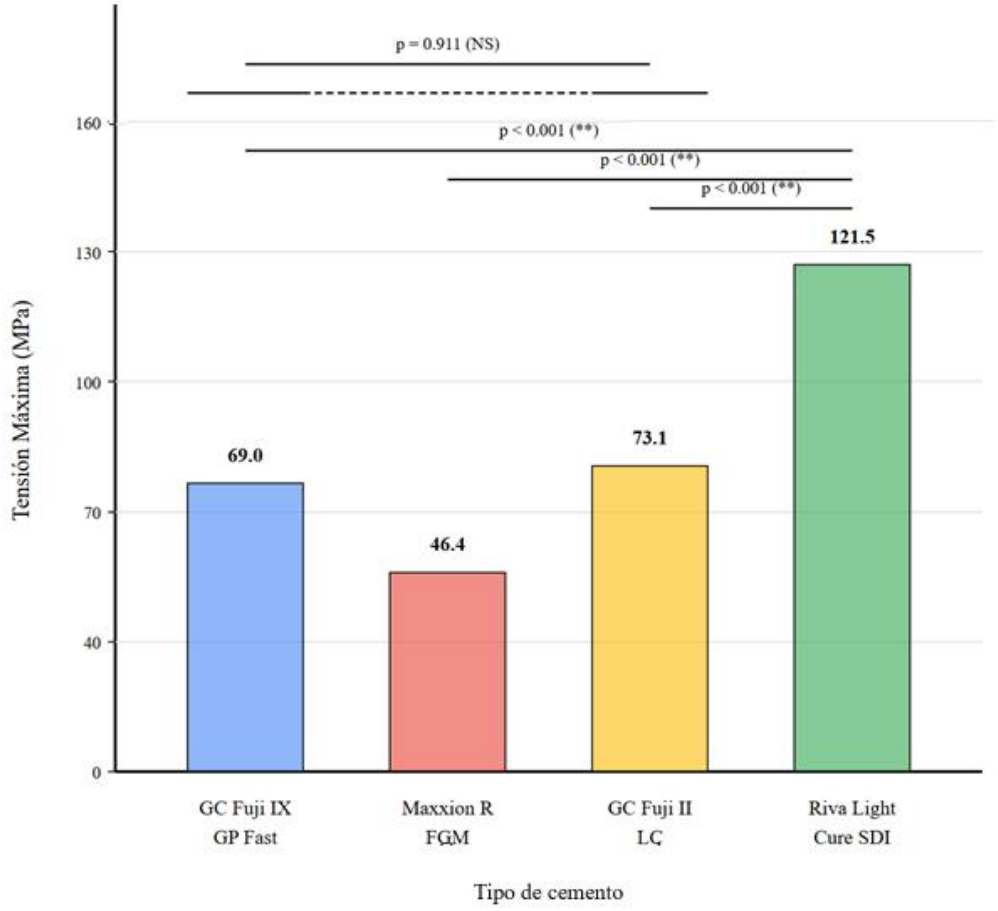
Para mejor referencia la Figura 2 muestra la diferencia entre los valores de tensión máxima de los materiales evaluados. Riva Light Cure SDI destaca significativamente con un valor medio de 121.5 MPa, Esta diferencia no solo es estadísticamente significativa, como confirman las pruebas estadísticas (Kruskal-Wallis), sino que también representa una ventaja

clínicamente relevante que podría traducirse en mayor longevidad de las restauraciones bajo condiciones de estrés tensional.

En el escalón intermedio se ubican GC Fuji II LC y GC Fuji IX GP Fast con valores de 73.2 MPa y 69.0 MPa respectivamente. La proximidad de estos valores, con una diferencia de apenas un 6%, explica la ausencia de significancia estadística entre estos dos materiales en las pruebas post-hoc.

En el extremo inferior se sitúa Maxxion R FGM con un valor de 46.4 MPa, significativamente por debajo de los demás materiales. Esta posición lo ubica como el cemento con menor resistencia tensional, aproximadamente un 38% por debajo del promedio de los materiales de GC Corporation y un 62% respecto a Riva Light Cure SDI.

Figura 2. Comparativo de la tensión máxima y sus diferencias significativas



NS: No significativo

**: Altamente significativo

___ Líneas conectan grupos comparados

Discusión

Los resultados de este estudio revelan diferencias significativas en la resistencia compresiva y tensional entre los cuatro cementos de ionómero de vidrio evaluados, donde la superioridad estadísticamente significativa del cemento Riva Light Cure SDI en ambas propiedades mecánicas concuerda con investigaciones previas como las de Peedikayil et al. (2023), sugiere que este material es ideal para restauraciones en zonas de alta carga oclusal. Sin

embargo, la fotopolimerización podría limitar su uso en situaciones clínicas con difícil acceso o en pacientes pediátricos con poca colaboración.

Esta superioridad podría explicarse, según Chaudhary et al. (2023), por la naturaleza del proceso de fotopolimerización que permite una matriz polimérica más homogénea y densamente entrecruzada en comparación con la reacción ácido-base convencional. Saridena et al. (2022) señalan que la fotopolimerización proporciona un control preciso sobre el tiempo de fraguado, resultando en una estructura final más compacta con mejores propiedades mecánicas. Sin embargo, la mayor variabilidad observada en Riva Light Cure SDI (DE = 417.158 kN para fuerza máxima) podría representar una limitación clínica, proponiendo que factores como la exposición lumínica, la distancia de la punta de fotocurado y tiempo de irradiación mencionados por Silva et al. (2021), podrían limitar su consistencia en la práctica clínica, lo que resalta la importancia de un protocolo de fotopolimerización riguroso.

Un hallazgo particularmente relevante es la ausencia de diferencias estadísticamente significativas entre GC Fuji IX GP Fast GIC y GC Fuji II LC ($p = 0.911$), a pesar de sus diferentes mecanismos de polimerización. Este resultado contradice parcialmente la hipótesis convencional de que los materiales fotopolimerizables son inherentemente superiores a los autopolimerizables, como lo plantearon Park & Kang (2020). En cambio, respalda la perspectiva de Sidhu & Nicholson (2016), quienes argumentaron que la composición química específica y las tecnologías propias de los fabricantes pueden tener mayor impacto en las propiedades mecánicas que el mecanismo de curado. Clinicamente esto ofrece flexibilidad en la selección de materiales permitiendo el uso de GC Fuji IX GP Fast GIC en situaciones donde el acceso a equipos de fotopolimerización es limitado o en procedimientos que requieren mayor tiempo de tratamiento, sin comprometer las propiedades mecánicas.

La posición de Maxxion R FGM como el material con menor resistencia mecánica pero mayor consistencia (menor desviación estándar) coincide con los hallazgos de Lari et al. (2021), quienes identificaron que ciertos ionómeros de autocurado priorizan la predictibilidad sobre la máxima resistencia. Esta característica podría ser ventajosa en situaciones clínicas específicas donde la consistencia es prioritaria, como lo propone Messer-Hannemann et al. (2023) en su análisis de aplicaciones clínicas selectivas para diferentes formulaciones de ionómeros.

La correlación proporcional entre resistencia compresiva y tensional observada en todos los materiales evaluados confirma las observaciones de Setiawan et al. (2022), que sugieren que ambas propiedades comparten mecanismos estructurales similares relacionados con la calidad de la matriz inorgánica-orgánica. Esta correlación proporciona una base para prever el comportamiento global de estos materiales bajo diferentes condiciones de estrés mecánico in vivo.

Los valores de resistencia compresiva obtenidos en nuestro estudio para Riva Light Cure SDI (1603.7 kN) superan significativamente los reportados por Molina et al. (2013), quienes encontraron valores máximos de aproximadamente 1200 kN lo que podría atribuirse a los avances en la formulación química y la incorporación de nanopartículas, como lo sugieren Panetta et al. (2024).Clínicamente, esto significa que los ionómeros de vidrio como Riva Light Cure SDI, ofrece un rendimiento mecánico comparable o superior al de materiales convencionales, ampliando su uso en zonas de alta carga oclusal y en odontología mínimamente invasiva. .

En relación con las condiciones de almacenamiento y maduración de los especímenes, nuestro protocolo de 15 días en saliva artificial a 37°C difiere del utilizado por otros investigadores como Kunte et al. (2022), quienes extendieron el período de observación hasta 28

días. Sin embargo, nuestra decisión metodológica se alinea con las observaciones de Sidhu (2011), quien señaló que, aunque la maduración química puede continuar, la mayoría de los cambios significativos en las propiedades mecánicas ocurren durante la primera semana post-aplicación. Esto refleja condiciones clínicamente relevantes, ya que simula un período crítico inmediato posterior a la colocación de una restauración, además, el uso de saliva artificial a 37°C replica las condiciones fisiológicas de la cavidad oral, proporcionando una base confiable para predecir el desempeño de los materiales.

Respecto a la validez metodológica, las violaciones de normalidad y homogeneidad de varianzas identificadas por las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene respaldan la preocupación expresada por Kunte et al. (2022) sobre la variabilidad intrínseca de estos materiales y la necesidad de métodos estadísticos robustos para su evaluación. Sin embargo, la extrema significancia del ANOVA ($p = 1.13E-19$) sugiere que las diferencias identificadas son suficientemente pronunciadas para considerarse relevantes a pesar de estas limitaciones metodológicas.

La implicación técnica de la desviación de normalidad observada específicamente en Maxxion R FGM ($p = 0.0108$) merece análisis adicional. Esta característica podría reflejar particularidades en su composición química o proceso de fraguado que resultan en una distribución asimétrica de sus propiedades mecánicas. Agha et al. (2016) señalan que ciertos componentes específicos de los ionómeros pueden influir no solo en los valores medios de resistencia, sino también en su distribución estadística, aspecto relevante para predecir su comportamiento clínico.

Los datos de tensión máxima obtenidos muestran un patrón interesante: mientras que la mayoría de los estudios previos reportan diferencias de magnitud variable entre materiales auto y

fotopolimerizables, nuestros resultados revelan una brecha considerablemente amplia entre Riva Light Cure SDI (121.47 MPa) y los demás materiales evaluados. Esta diferencia podría explicarse, según lo propuesto por Dionysopoulos et al. (2022), por variaciones en la composición específica del vidrio, particularmente en la relación Al_2O_3/SiO_2 y el contenido de flúor. Clínicamente, esto sugiere que Riva Light Cure SDI es ideal para zonas de mayor tensión masticatoria o preparaciones extensas, mientras que materiales con menor resistencia como Maxxion R FGM, son más adecuados para zonas con baja carga oclusal, donde la facilidad de manipulación y predictibilidad son prioritarias.

La significancia clínica de estas diferencias debe interpretarse en el contexto de los umbrales funcionales establecidos para restauraciones dentales. Según Raghimi et al. (2024), las cargas masticatorias normales generan presiones que raramente superan los 70 MPa en restauraciones posteriores. Bajo esta perspectiva, tanto Riva Light Cure SDI como los productos de GC Corporation evaluados proporcionarían resistencia adecuada para aplicaciones clínicas estándar, mientras que Maxxion R FGM (46.43 MPa) podría estar en el límite inferior de lo aceptable para zonas de alta carga funcional.

Las implicaciones clínicas de estos hallazgos se alinean con el enfoque propuesto por Pérez-Castro et al. (2024), quienes abogan por una selección personalizada de materiales basada en sus propiedades específicas y los requerimientos de cada situación clínica. La clara agrupación de materiales en categorías de alto rendimiento (Riva Light Cure SDI), rendimiento intermedio (GC Fuji IX GP Fast GIC y GC Fuji II LC) y rendimiento básico (Maxxion R FGM) proporciona un marco práctico para esta selección.

En el contexto de la odontopediatría, estas diferencias adquieren relevancia particular. Los procedimientos restauradores en pacientes pediátricos frecuentemente enfrentan desafíos

como control limitado de humedad y tiempos de trabajo reducidos. La equivalencia estadística entre GC Fuji IX GP Fast (autopolimerizable) y GC Fuji II LC (fotopolimerizable) ofrece flexibilidad valiosa para el clínico, permitiendo elegir el mecanismo de polimerización según las circunstancias específicas del caso sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas resultantes, ventaja destacada por Berg (2002) en sus análisis sobre aplicaciones pediátricas de estos materiales.

El papel de los ionómeros vítreos como "materiales inteligentes", concepto desarrollado por Panetta et al. (2024), añade otra dimensión a la interpretación de estos resultados. La capacidad de estos materiales para interactuar con el entorno oral mediante liberación y recarga de flúor representa un beneficio terapéutico adicional que debe considerarse junto con las propiedades mecánicas. Aunque este estudio se centró específicamente en la resistencia compresiva y tensional, la correlación entre estas propiedades y la capacidad de liberación de flúor representa una línea de investigación complementaria que podría enriquecer la interpretación de estos hallazgos.

Las limitaciones de los ionómeros vítreos tradicionalmente asociadas con sus propiedades mecánicas, como señalaron Bollu (2016) y Guo et al. (2024), parecen estar reduciéndose progresivamente con las formulaciones contemporáneas. Los valores de resistencia compresiva obtenidos para Riva Light Cure SDI se aproximan a los reportados para algunos compuestos resinosos, reduciendo la brecha histórica entre estas clases de materiales y ampliando el espectro de aplicaciones clínicas viables para los ionómeros vítreos modificados.

Si bien este estudio no evaluó la integración de nanopartículas, que según Panetta et al. (2024) representa una de las líneas más prometedoras en el desarrollo de ionómeros vítreos, la metodología empleada establece una base sólida para futuras investigaciones en esta dirección.

La necesidad de estudios adicionales sobre la relación entre nanomodificación y resistencia mecánica, señalada por Junior et al. (2022), continúa siendo una brecha importante en la literatura científica.

Finalmente, la evolución técnica de los ionómeros vítreos reflejada en estos resultados respalda la perspectiva de Najeeb et al. (2016), quienes pronosticaron que el desarrollo de estos materiales continuaría expandiendo sus aplicaciones clínicas. La superación de sus limitaciones mecánicas, junto con su bioactividad, adhesión química y liberación de flúor, los convierte en materiales multifuncionales y versátiles. Esto es especialmente relevante en Odontopediatría, donde tenemos pacientes poco colaboradores, con alto riesgo de caries y enfoques de odontología mínimamente invasiva, que combinan resistencia mecánica con beneficios terapéuticos y procedimientos clínicos simples.

Conclusiones

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la resistencia compresiva y tensional entre los cementos de ionómero de vidrio evaluados, confirmando que el tipo de material influye considerablemente en sus propiedades mecánicas, con Riva Light Cure SDI mostrando valores significativamente superiores (1603.7 kN y 121.47 MPa respectivamente), lo que responde directamente al objetivo principal de evaluar comparativamente la resistencia compresiva de ionómeros vítreos con diferentes mecanismos de polimerización.

El mecanismo de polimerización no constituye el único determinante de las propiedades mecánicas, como evidencia la ausencia de diferencias significativas entre GC Fuji IX GP Fast GIC (autopolimerizable) y GC Fuji II LC (fotopolimerizable) del mismo fabricante ($p = 0.911$), sugiriendo que la composición química específica y la tecnología del fabricante ejercen mayor

influencia que el propio método de curado, hallazgo fundamental que refuta parcialmente la hipótesis inicial sobre la superioridad inherente de los materiales fotopolimerizables.

Si bien un material fotopolimerizable (Riva Light Cure SDI) demostró la mayor resistencia compresiva, la variabilidad entre fabricantes es más determinante que el mecanismo de polimerización per se, como demuestra el hecho de que otro fotopolimerizable (GC Fuji II LC) no difirió significativamente de su contraparte autopolimerizable del mismo fabricante, cumpliendo así con el objetivo de determinar el impacto relativo del mecanismo de polimerización versus la composición química específica.

Existe una correlación proporcional consistente entre la resistencia compresiva y tensional en todos los materiales estudiados, lo que permite predecir el comportamiento global de estos materiales bajo diferentes tipos de estrés mecánico, proporcionando información valiosa para anticipar su desempeño clínico bajo diversas condiciones funcionales.

La variabilidad en el rendimiento mecánico difiere significativamente entre los materiales evaluados. Riva Light Cure SDI exhibe la mayor dispersión (DE = 417.158 kN), mientras que Maxxion R FGM presenta la menor variabilidad (DE = 162.423 kN), hallazgo relevante para la práctica clínica que sugiere considerar no solo los valores medios sino también la predictibilidad del comportamiento del material en la toma de decisiones terapéuticas.

Los materiales pueden clasificarse en tres categorías de rendimiento mecánico según su resistencia compresiva: alto rendimiento (Riva Light Cure SDI), rendimiento intermedio (GC Fuji IX GP Fast GIC y GC Fuji II LC) y rendimiento básico (Maxxion R FGM), proporcionando un marco práctico para la selección clínica según los requerimientos específicos de cada situación restauradora, especialmente relevante en odontopediatría donde las demandas funcionales varían considerablemente.

El protocolo de evaluación siguiendo la norma ISO 9917-1:2007 demostró ser eficaz para la caracterización comparativa de estos materiales en condiciones estandarizadas, aunque se identificaron limitaciones estadísticas en términos de normalidad y homogeneidad de varianzas que deben considerarse en la interpretación de los resultados y en el diseño de estudios futuros.

La flexibilidad en la selección de materiales de GC Corporation con diferentes mecanismos de polimerización, pero similar rendimiento mecánico ofrece ventajas clínicas significativas, permitiendo elegir entre autopolimerización o fotopolimerización según la conveniencia del procedimiento, limitaciones de tiempo, comportamiento del paciente o disponibilidad de equipos, sin comprometer significativamente las propiedades mecánicas de la restauración.

El entorno oral simulado mediante inmersión en saliva artificial a 37°C durante 15 días proporciona condiciones adecuadas para evaluar la maduración de estos materiales, permitiendo aproximar su comportamiento mecánico en situaciones clínicas reales y cumpliendo con el objetivo de evaluar estas propiedades en condiciones que emulan el ambiente bucal.

Las diferencias identificadas tienen relevancia clínica directa para la práctica odontopediátrica, donde la selección de materiales debe equilibrar propiedades mecánicas óptimas con aspectos prácticos como facilidad de manipulación, tiempo de trabajo y comportamiento del paciente, brindando así orientación científicamente fundamentada para la toma de decisiones terapéuticas en contextos clínicos reales.

Los hallazgos sugieren que la industria debería priorizar la optimización de formulaciones específicas más que la evolución del mecanismo de polimerización per se, dado que las diferencias entre fabricantes resultaron más determinantes que las diferencias entre

métodos de polimerización, identificando así una dirección estratégica para el desarrollo futuro de estos materiales.

Referencias

Agha, A., Parker, S., & Patel, M. P. (2016). Development of experimental resin modified glass ionomer cements (RMGICs) with reduced water uptake and dimensional change. *Dental Materials*, *32*(6), 713-722. https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.03.004

Almuhaiza, M. (2016). Glass-ionomer Cements in Restorative Dentistry: A Critical Appraisal. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, *17*(4), 331-336. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1850

Berg, J. (2002). Glass ionomer cements. *Pediatric Dentistry*, *24*, 430-438.

Bollu, I. P. (2016). Comparative Evaluation of Microleakage Between Nano-Ionomer, Giomer and Resin Modified Glass Ionomer Cement in Class V Cavities- CLSM Study. *JOURNAL OF CLINICAL AND DIAGNOSTIC RESEARCH*. https://doi.org/10.7860/JCDR/2016/18730.7798

Chaudhary, P., Sundaragiri, K. S., Shrimal, D., & Gehlot, P. (2023). Evolving trends in glass ionomer cement: From historical insights to nano-enhanced materials in restorative dentistry. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH*, 49-51. https://doi.org/10.36106/ijsr/4601735

Correia Da Silva, D. O., De Melo Silva, I., De Oliveira Rocha, A., Dos Anjos, L. M., Oliveira Lima, T., Dos Anjos Santos, R. D. M., & Perzentino Cruz, B. (2021). Cimento de ionômero de vidro e sua aplicabilidade na Odontologia: Uma revisão narrativa com ênfase em suas propriedades. *Research, Society and Development*, *10*(5), e20110514884. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14884

Creanor, S. L., Awawdeh, L. A., Saunders, W. P., Foye, R. H., & Gilmour, W. H. (1998). The effect of a resin-modified glass ionomer restorative material on artificially demineralised

dentine caries in vitro. *Journal of Dentistry*, *26*(5-6), 527-531. https://doi.org/10.1016/S0300-5712(98)00021-9

Croll, T. P., & Nicholson, J. W. (2002). Glass ionomer cements in pediatric dentistry: Review of the literature. *Pediatric Dentistry*.

Dionysopoulos, D., Gerasimidou, O., Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, School of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece, Papadopoulos, C., & Department of Operative Dentistry, Faculty of Dentistry, School of Health Sciences, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece. (2022). Modifications of Glass Ionomer Cements Using Nanotechnology: Recent Advances. *Recent Progress in Materials*, *4*(2), 1-1. https://doi.org/10.21926/rpm.2202011

Frencken, J. E. (2010). The ART approach using glass-ionomers in relation to global oral health care. *Dental Materials*, *26*(1), 1-6. https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.08.013

Guo, T., Wang, D., & Gao, S. S. (2024). Incorporating nanosilver with glass ionomer cement—A literature review. *Journal of Dentistry*, *149*, 105288. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105288

Junior, L. V. B., Barros, A. K. D. C., Silva, L. H. V. D., Gaia, L. G. T. M., Binas, I. W. V., & Mendonca, I. C. G. D. (2022). Cimento de ionômero de vidro: Revisão de literatura / Glass ionomer cement: literature review. *Brazilian Journal of Health Review*, *5*(2), 6893-6902. https://doi.org/10.34119/bjhrv5n2-257

Kłos, J., Nicholson, J. W., & Czarnecka, B. (2021). Glass-ionomer dental cements as novel solid-state buffers. *Journal of Materials Research and Technology*, *15*, 3570-3574. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.115

Kunte, S., Bhat, C., Lakade, L., Chaudhary, S., Patil, S., & Bethapudy, D. R. (2022). Comparative Evaluation of Water Sorption, Solubility, and Microhardness of Zirconia-reinforced Glass Ionomer, Resin-modified Glass Ionomer, and Type IX Glass Ionomer Restorative Materials: An In Vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, *15*(2), 175-181. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2364

Lari, Z., Ezoji, F., Gholinia, H., & Khodadadi, E. (2021). Evaluation of wear resistance and fluoride release from glass ionomer covered with nanofilled self-adhesive coat: An in vitro study. *Caspian Journal Of Dental Research*, *10*(1). https://doi.org/10.22088/cjdr.10.1.27

Makanjuola, J., & Deb, S. (2023). Chemically Activated Glass-Ionomer Cements as Bioactive Materials in Dentistry: A Review. *Prosthesis*, *5*(1), 327-345. https://doi.org/10.3390/prosthesis5010024

Meganadhan, A., Sanjeev, K., & Sekar, M. (2021). Influence of Silica Fumes on Compressive Strength and Wear Properties of Glass Ionomer Cement in Dentistry. *Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences*, *10*(20), 1457-1462. https://doi.org/10.14260/jemds/2021/306

Messer-Hannemann, P., Böttcher, H., Henning, S., Schwendicke, F., & Effenberger, S. (2023). Concept of a Novel Glass Ionomer Restorative Material with Improved Mechanical Properties. *Journal of Functional Biomaterials*, *14*(11), 534. https://doi.org/10.3390/jfb14110534

Molina, G. F., Cabral, R. J., Mazzola, I., Lascano, L. B., & Frencken, Jo. E. (2013). Mechanical performance of encapsulated restorative glass-ionomer cements for use with Atraumatic

Restorative Treatment (ART). *Journal of Applied Oral Science*, *21*(3), 243-249. https://doi.org/10.1590/1679-775720130129

Najeeb, S., Khurshid, Z., Zafar, M., Khan, A., Zohaib, S., Martí, J., Sauro, S., Matinlinna, J., & Rehman, I. (2016). Modifications in Glass Ionomer Cements: Nano-Sized Fillers and Bioactive Nanoceramics. *International Journal of Molecular Sciences*, *17*(7), 1134. https://doi.org/10.3390/ijms17071134

Panetta, A., Lopes, P., Novaes, T. F., Rio, R., Fernandes, G. V. O., & Mello-Moura, A. C. V. (2024). Evaluating Glass Ionomer Cement Longevity in the Primary and Permanent Teeth—An Umbrella Review. *Journal of Functional Biomaterials*, *15*(2), 48. https://doi.org/10.3390/jfb15020048

Park, E. Y., & Kang, S. (2020). Current aspects and prospects of glass ionomer cements for clinical dentistry. *Yeungnam University Journal of Medicine*, *37*(3), 169-178. https://doi.org/10.12701/yujm.2020.00374

Peedikayil, F. C., Chandru, T., Kottayi, S., Chandran, S., Aparna, T., & Aravind, A. (2023). Comparative Evaluation of Compressive Strength of Self-cure, Dual-cure, and Light-cure Glass Ionomer Cements in a Simulated Oral Environment: An In Vitro Study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, *16*(5), 707-710. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2664

Pérez-Castro, B., Flores-Ledesma, A., Rubio-Rosas, E., Teutle-Coyotecatl, B., Flores-Ferreyra, B., Argueta-Figueroa, L., & Moyaho-Bernal, M. de los A. (2024). Comparison of the physical properties of glass ionomer modified with silver phosphate/hydroxyapatite or titanium dioxide nanoparticles: In vitro study. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, *48*(4), 160-167. https://doi.org/10.22514/jocpd.2024.089

Raghimi, E. C., Biglar, N., Sadighian, S., Karamitanha, F., Nouri, A., & Nourian, A. (2024). Compressive strength and fluoride release profile of a glass ionomer cement reinforced with silver-hydroxyapatite-silica hybrid nanoparticles: An in vitro study. *International Orthodontics*, *22*(2), 100871. https://doi.org/10.1016/j.ortho.2024.100871

Saridena, U. S. N. G., Sanka, G. S. S. J., Alla, R. K., Ramaraju Av, Mc, S. S., & Raju Mantena, S. (2022). An overview of advances in glass ionomer cements. *International Journal of Dental Materials*, *04*(04), 89-94. https://doi.org/10.37983/IJDM.2022.4403

Setiawan, A., Gunawan, J. A., Wulansari, S., & Nugroho, D. (2022). Effect of Nanofilled Resin-Based Coating on the Compressive Strength of Glass Ionomer Cement – in vitro. *Majalah Kedokteran Gigi Indonesia*, *7*(2), 102. https://doi.org/10.22146/majkedgiind.65512

Sidhu, S. (2011). Glass-ionomer cement restorative materials: A sticky subject? *Australian Dental Journal*, *56*(1), 23-30. https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2010.01293.x

Sidhu, S., & Nicholson, J. (2016). A Review of Glass-Ionomer Cements for Clinical Dentistry. *Journal of Functional Biomaterials*, *7*(3), 16. https://doi.org/10.3390/jfb7030016

Smith, D. C. (1998). Development of glass-ionomer cement systems. *Biomaterials*, *19*(6), 467-478. https://doi.org/10.1016/S0142-9612(97)00126-9

Thbayh, K. K., AlBadr, R. M., Ziadan, K. M., & Fiser, B. (2023). Expanding Potential Dental Applications of Glass Ionomer Cement by Incorporating with Nano-Hydroxyapatite. *Karbala International Journal of Modern Science*, *9*(1). https://doi.org/10.33640/2405-609X.3285

Tyas, M. (2018). Book Review: Glass-Ionomers in Dentistry. *British Dental Journal*, *224*(3), 130-130. https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2018.98

Xie, D., Culbertson, B. M., & Johnston, W. M. (2014). Formulation of Visible Light-Curable Glass-Ionomer Cements Containing N-Vinylpyrrolidone. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, *35*(10), 1631-1650. https://doi.org/10.1080/10601329808000976

Xie, D., Zhao, J., Weng, Y., Park, J., Jiang, H., & Platt, J. A. (2008). Bioactive glass–ionomer cement with potential therapeutic function to dentin capping mineralization. *European Journal of Oral Sciences*, *116*(5), 479-487. https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.2008.00562.x

Zakaria, A. M., Kamaluddin, N. A., Hashim, W., & D'Agostino, C. (2024). Age-Inclusive Transit Environments: An Exploration of Public Transportation Systems for Elderly. *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, *9*(28), 149-158. https://doi.org/10.21834/e-bpj.v9i28.5906