

Resistencia adhesiva de zirconia tipo IV cementada con material autoadhesivo de molécula 10MDP con y sin tratamiento de superficie y/o termociclado. Revisión

Sistemática

Leidy Juliana Estrada Torres

Trabajo de grado para optar el título de Rehabilitador Oral

Directora

Gloria Cristina Aranzazu Moya

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ciencias de la Salud

Posgrado Rehabilitación Oral

2026

Contenido

1. Introducción	9
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación	15
2 Marco conceptual	16
2.1 Dioxido de Zirconio (ZrO_2)	16
2.1.1 Clasificación del óxido de zirconio Según su microestructura	17
2.1.2 Clasificación del zirconio según el contenido de óxido de itrio	18
2.2 Tratamiento de superficies	20
2.2.1 Tratamientos mecánicos de superficies	20
2.2.2 Tratamientos químicos de superficies	22
2.3 Prueba de cizallamiento	24
2.4 Termociclado	24
2.5 Marco teórico	25
2.5.1 Uso de zirconio en odontología	25
2.5.2 Dióxido de zirconio (ZrO_2)	26
2.5.3 Policristales de zirconio tetragonal estabilizados con itrio (Y-TZP)	27
3. Objetivos	30
3.1 Objetivo general	30
3.2 Objetivos específicos	30
4. Métodos	30
4.1 Tipo de estudio	30
4.2 Población estudio	31

4.2.1 Pregunta PICO	31
4.3 Criterios de inclusión	31
4.4 <i>Criterios de exclusión</i>	32
4.5 Variables.....	32
4.6 Diagrama de flujo.....	33
4.7 Procedimiento.....	33
4.8 Análisis estadístico	34
4.8.1 Plan de análisis univariado	34
4.9 Consideraciones éticas	34
5. Resultados	35
5.1 Resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP con y sin tratamiento de superficie	35
5.2 Comparación de la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV frente a otros tipos de zirconia	35
5.3 Efecto del tratamiento de superficie y del termociclado	36
5.4 Evaluación de la calidad de reporte de la evidencia identificada.....	40
6. Discusión.....	41
6.1 Conclusiones	45
6.2 Recomendaciones.....	46
Referencias.....	47
Apéndices.....	51

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Pregunta PICO</i>	31
Tabla 2. <i>Evidencia científica sobre la resistencia adhesiva de la zirconia tipo IV cementada con agentes basados en 10-MDP según el tratamiento de superficie y envejecimiento térmico</i>	37
Tabla 3. <i>Clasificación del nivel de calidad.</i>	41
Tabla 4. <i>Evaluación de la calidad de reporte para estudios in vitro según criterios CRIS.</i>	41

Lista de figuras

Figura 1. <i>Diagrama de flujo</i>	33
---	----

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Cuadro de variables</i>	51
Apéndice B. <i>Instrumento de recolección de datos</i>	52
Apéndice C. <i>Consideraciones éticas</i>	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice D. <i>Análisis estadístico</i>	53

Resumen

Introducción: El zirconio tipo IV ha ganado relevancia en odontología restauradora debido a su equilibrio entre propiedades mecánicas y estéticas. Sin embargo, la estabilidad de su adhesión a los cementos de resina autoadhesivos que contienen 10-MDP continúa siendo objeto de estudio, especialmente cuando intervienen tratamientos de superficie y procesos de envejecimiento artificial. **Objetivo:** Analizar la resistencia adhesiva de zirconia tipo IV cementada con un material autoadhesivo de molécula 10MDP con y sin tratamiento de superficie y/o termociclado, en estudios experimentales in vitro. **Metodología:** Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo una estrategia de búsqueda en PubMed, ScienceDirect, Web of Science y Scopus. Se incluyeron estudios experimentales in vitro publicados en los últimos cinco años que evaluaran la adhesión de zirconio tipo IV mediante materiales con 10-MDP. Tras el proceso de selección, se incluyeron nueve estudios para el análisis cualitativo. La calidad de reporte fue evaluada mediante la lista CRIS para estudios in vitro. **Resultados:** Los valores de resistencia adhesiva reportados oscilaron entre 4,2 y 52,7 MPa. El arenado con partículas de óxido de aluminio de 50 μm y la aplicación de primers con 10-MDP fueron los tratamientos más consistentemente asociados con mayores valores de adhesión. El termociclado produjo una disminución de la resistencia adhesiva entre el 20% y el 50% en la mayoría de los estudios. El zirconio tipo IV presentó un comportamiento adhesivo comparable al de otras generaciones de zirconia y mostró una mayor estabilidad adhesiva frente a zirconias con mayor contenido de itrio. Respecto a la calidad metodológica, tres estudios fueron clasificados como de alta calidad y seis como de calidad moderada. **Conclusiones:** El zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP presenta una adecuada resistencia adhesiva. La combinación de tratamientos mecánicos y químicos mejora significativamente la unión adhesiva, mientras que el envejecimiento térmico reduce su estabilidad. La evidencia disponible presenta una calidad de reporte entre moderada y alta, aunque se requieren estudios con metodologías más estandarizadas y mayor aplicabilidad clínica.

Palabras clave: zirconia, 10-MDP, adhesión, resistencia adhesiva, termociclado, tratamiento de superficie

Abstract

Introduction: Fourth-generation zirconia (4Y-PSZ) has gained importance in restorative dentistry due to its balanced mechanical and esthetic properties. However, the stability of its bonding to self-adhesive resin cements containing 10-MDP remains a topic of interest, particularly when surface treatments and artificial aging procedures are involved. **Aim:** To analyze the bond strength of fourth-generation zirconia cemented with self-adhesive materials containing 10-MDP, with and without surface treatment and/or thermocycling, based on available in vitro experimental evidence. **Methods:** A systematic literature review was conducted using PubMed, ScienceDirect, Web of Science, and Scopus databases. In vitro experimental studies published within the last five years evaluating the adhesion of fourth-generation zirconia using 10-MDP-containing materials were included. After the selection process, nine studies were included in the qualitative analysis. Reporting quality was assessed using the CRIS checklist for in vitro studies. **Results:** Reported bond strength values ranged from 4.2 to 52.7 MPa. Air abrasion with 50 μ m aluminum oxide particles and the application of 10-MDP primers were the surface treatments most consistently associated with improved bond strength. Thermocycling reduced bond strength by approximately 20% to 50% in most studies. Fourth-generation zirconia showed bonding performance comparable to other zirconia generations and demonstrated greater adhesive stability than zirconias with higher yttria content. Regarding reporting quality, three studies were classified as high quality and six as moderate quality. **Conclusions:** Fourth-generation zirconia cemented with self-adhesive materials containing 10-MDP exhibits adequate bond strength. The combination of mechanical and chemical surface treatments significantly enhances adhesion, whereas thermal aging negatively affects bond durability. The available evidence shows moderate to high reporting quality, although further standardized studies with greater clinical relevance are needed.

Keywords: zirconia, 10-MDP, bond strength, adhesion, thermocycling, surface treatment

1. Introducción

Las propiedades mecánicas de la zirconia parcialmente estabilizada han logrado que su aplicación en el mercado sea sumamente aprovechada hace ya varios años. Las restauraciones CAD-CAM o asistidas por computador, denominadas así por sus iniciales en inglés (Computer-Aided Design y Computer Aided Manufacturing) fueron introducidas hace más de 50 años. Hoy, gracias a la tecnología moderna en el desarrollo de programas de diseño y el avance de la digitalización, así como también; la investigación en biomateriales, es posible lograr restauraciones cerámicas parciales o completas diseñadas y procesadas por computador. El uso de zirconia (4Y-TZP) maquinada se ha convertido en una excelente opción actualmente, ya que debido a sus propiedades mecánicas como la resistencia a la fractura, resistencia a la corrosión y biocompatibilidad, permiten la reducción de los espesores de estructuras y conectores protésicos (Montagna y Barbesi, 2013).

Los sistemas restauradores a base de circonio se componen originalmente de una matriz tetragonal totalmente cristalina estabilizada a temperatura ambiente con la adición de óxido de itrio, denominada policristales de circonio tetragonales estabilizados con itrio (Y-TZP), dando como resultado, sistemas Y-TZP que presentan propiedades mecánicas más altas que cualquier otro sistema totalmente cerámico utilizado actualmente en odontología (900–1200 MPa/K_{ic}: 6–9 MPa·m^{1/2}). Asimismo; los informes clínicos han demostrado altas tasas de supervivencia para las prótesis dentales Y-TZP, superiores al 93% después de varios años (Pieralli et al., 2018).

Estas características conseguidas en la transformación de fase del circonio permiten obtener materiales con una tenacidad de hasta 12 MPa y una resistencia a la flexión que supera los 1.000 MPa (Piconi et al., 2011); las restauraciones en zirconia son cementadas generalmente de manera convencional, mecánico-retentiva haciendo uso de cementos no adhesivos o de baja

adhesión a la estructura dentaria como el fosfato de zinc, ionómero de vidrio, o con cementos de resina convencional (Díaz, et al., 2009).

Este material no es ácido sensible, por lo tanto los protocolos de fluorización y silanización no se realizan en estos casos. Sin embargo, algunos autores como Inokoshi, Ozcan y Bernasconi en el año 2015 identificaron los siguientes factores que influyen en la calidad de la unión de los cementos compuestos a la zirconia: preparación mecánica de la superficie de la zirconia, preparación química de la superficie de la zirconia, el tipo de cemento, envejecimiento artificial, metodología de pruebas. Debido a ello, se ha intentado desarrollar algunos métodos de grabado ácido selectivo, arenado o infiltrado que permitan acondicionar la superficie del zirconia para lograr adherirlo química o micro mecánicamente a la estructura dental utilizando cementos resinosos, con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas sin generar esfuerzos sobre la estructura que puedan producir fracturas que induzcan al fracaso (Piconi, et al., 2011).

Actualmente hay tres métodos de cementación para zirconia reportados por la literatura; mecánico retentivo, químico y mixto. El mecánico retentivo tiene como objetivo modificar la superficie y aumentar el área superficial disponible para la unión, creando muescas que generen mayor resistencia, este puede lograrse con arenado, grabado ácido, tratamiento Láser o revestimiento de alúmina nanoestructurado. El químico utiliza Agentes de acople como: silano, rocatec, resinas, compuestos resinosos y fluorización con gas. El tercer y último método combina los beneficios tanto del arenado como el grabado ácido, el recubrimiento de sílice y la infiltración de grabado ácido selectivo. Las estructuras de zirconia se pueden unir a los sustratos dentales mediante cementos convencionales y cementos resinosos; sin embargo, los cementos de resina se han convertido en la mejor opción, ya que ofrecen ventajas de tipo mecánicas y biológicas, tales como sellado marginal, buena retención y mejora de la resistencia a la fractura de los materiales

cerámicos. Una de las pruebas más usadas actualmente para evaluar las propiedades a considerar en un cemento resinoso en un estudio in-vitro, es el llamado “envejecimiento”, donde las uniones entre una cerámica de zirconia y un sustrato dental unido por un cemento resinoso son expuestas a ciclos de termociclado y almacenamiento de agua a largo plazo con la intención de replicar las mismas condiciones que podrían tener si funcionaran en boca. La prueba de cizalla consiste en el enfrentamiento de dos piezas rígidas de distintos materiales, incluidos metal, plástico y compuestos unidos entre sí por un sistema adhesivo y la subsecuente aplicación de fuerza en una dirección perpendicular a la unión, ésta fuerza ejercida provoca un desprendimiento de los dos extremos de la probeta y su respectivo desplazamiento con respecto a la línea de carga vertical del ensayo.

1.1 Planteamiento del problema

Desde su introducción en odontología, la zirconia se ha consolidado como uno de los materiales cerámicos de mayor aplicación en rehabilitación oral gracias a sus excelentes propiedades mecánicas, biocompatibilidad y comportamiento clínico favorable. Su elevada resistencia a la fractura y a la flexión ha permitido ampliar sus indicaciones en restauraciones unitarias, prótesis parciales fijas, pilares sobre implantes y rehabilitaciones de alta exigencia funcional (Valenzuela y Romero, 2011; Díaz et al., 2009). En los últimos años, el desarrollo de nuevas generaciones de zirconia, entre ellas la zirconia tipo IV (4Y-PSZ), ha buscado mejorar sus propiedades ópticas sin comprometer significativamente su resistencia mecánica, favoreciendo su utilización en restauraciones con mayores requerimientos estéticos.

Se conocen tres tipos de cerámicas con base en zirconia de uso odontológico (cerámicas de alúmina reforzadas con zirconia, zirconia parcialmente estabilizada con magnesio y zirconia

policristalina tetragonal con 3% mol contenido de itrio Y-TZP). Sin embargo, el Y-TZP es la forma más utilizada en odontología por su alta resistencia flexural reportada en un rango de 900 a 1.200 MPa (Díaz, et al., 2009).

La cementación es uno de los pasos más importantes a la hora de lograr una adecuada retención, resistencia y sellado de la interfase entre el material restaurador y el diente; de aquí se deriva la longevidad de la restauración en boca. Con la técnica de cementación adhesiva se logran objetivos descritos tales como resistencia a la fractura, supervivencia clínica y precisión de ajuste marginal de una forma más eficaz (Andrade Ponce y Carrión Bustamante, 2020). De esta forma, el principal desafío clínico de las restauraciones elaboradas en zirconia no está relacionado con su resistencia estructural, sino con la dificultad para establecer una unión adhesiva estable y duradera entre la superficie cerámica y los cementos de resina. A diferencia de las cerámicas vítreas, cuya superficie puede acondicionarse mediante grabado con ácido fluorhídrico y silanización, la zirconia presenta una estructura policristalina libre de fase vítrea que impide la aplicación de estos protocolos convencionales de adhesión (Preis et al., 2015). Como consecuencia, la estabilidad de la unión adhesiva depende del empleo de tratamientos mecánicos y químicos capaces de modificar la superficie cerámica y favorecer la interacción con los sistemas de cementación.

La importancia clínica de esta problemática radica en que una adhesión deficiente puede favorecer complicaciones como descementación, pérdida de retención, filtración marginal y disminución de la longevidad de las restauraciones. Aunque la cementación mecánico-retentiva ha mostrado resultados clínicos aceptables, diferentes estudios han reportado tasas de descementación de hasta el 12 % en prótesis parciales fijas de zirconia, además de otras complicaciones como fractura de porcelana de recubrimiento y deslaminación, lo que evidencia la necesidad de optimizar los protocolos adhesivos (Díaz et al., 2009).

Con el propósito de mejorar esta unión, en los últimos años se han desarrollado diferentes estrategias de acondicionamiento superficial. Entre ellas, el empleo de monómeros funcionales como el 10-metacriloiloxidecil dihidrógeno fosfato (10-MDP) ha cobrado especial interés debido a su capacidad para establecer enlaces químicos estables con los óxidos presentes en la superficie del zirconio. Nagaoka et al. (2017) demostraron mediante análisis espectroscópicos que este monómero forma enlaces químicos tipo P-O-Zr, responsables de una unión más estable incluso después de procesos de envejecimiento artificial. De igual manera, una revisión sistemática con metaanálisis realizada por de Carvalho et al. (2026) concluyó que los cementos de resina modificados con 10-MDP presentan una adhesión significativamente superior a la obtenida con cementos convencionales, respaldando el papel de este monómero como uno de los principales promotores de la adhesión química al zirconio.

Paralelamente, diversos tratamientos de superficie han sido propuestos para aumentar la retención micromecánica. El arenado con partículas de óxido de aluminio continúa siendo uno de los procedimientos más utilizados, debido a que incrementa la rugosidad superficial y la energía de la superficie cerámica. En este sentido, Ayedi et al. (2026), mediante una revisión sistemática, concluyeron que la abrasión con partículas de aire representa el protocolo de pretratamiento más efectivo cuando se combina con primers o cementos autoadhesivos que contienen 10-MDP. De forma similar, Al-Amari et al. (2024) señalaron que esta combinación favorece una unión adhesiva más duradera; sin embargo, advirtieron que protocolos agresivos de arenado podrían inducir transformaciones de fase y microfracturas, por lo que aún no existe consenso sobre las condiciones óptimas de aplicación.

Adicionalmente, investigaciones recientes han demostrado que la estabilidad de la unión adhesiva también depende del envejecimiento artificial. Yang et al. (2024) reportaron que la combinación de silano y 10-MDP mejora la química superficial del zirconio y aumenta la estabilidad de la adhesión tras el termociclado. Asimismo, Sieber et al. (2026), en una revisión sistemática con metaanálisis, evidenciaron que nuevos protocolos de grabado químico pueden incrementar significativamente la resistencia adhesiva antes y después del envejecimiento, siempre que se utilicen sistemas adhesivos que incorporen 10-MDP. Estos hallazgos evidencian que la combinación de tratamientos mecánicos y químicos representa una estrategia prometedora para optimizar la adhesión al zirconio.

A pesar de estos avances, la evidencia científica continúa siendo heterogénea. Los estudios disponibles presentan diferencias importantes en el tipo de zirconia evaluado, los protocolos de tratamiento superficial, los materiales de cementación, el número de ciclos de termociclado y los métodos empleados para medir la resistencia adhesiva, lo que dificulta establecer recomendaciones clínicas consistentes. Además, la mayor parte de las investigaciones se han desarrollado sobre zirconias convencionales de tercera generación (3Y-TZP), mientras que la evidencia específica sobre zirconia tipo IV (4Y-PSZ) continúa siendo limitada, a pesar del creciente uso clínico de este material. En consecuencia, aún no existe consenso sobre el comportamiento adhesivo del zirconio tipo IV cuando es cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP y sometido a diferentes protocolos de tratamiento superficial y envejecimiento térmico.

Ante este panorama, resulta necesario sintetizar críticamente la evidencia científica disponible para identificar el comportamiento adhesivo del zirconio tipo IV y establecer el efecto que ejercen el tratamiento de superficie y el termociclado sobre la estabilidad de la unión adhesiva. La generación de este conocimiento permitirá aportar fundamentos científicos para la selección de

protocolos adhesivos más predecibles y contribuirá al fortalecimiento de la evidencia disponible para la práctica clínica restauradora. Por lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto del tratamiento de superficie y del termociclado sobre la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP, de acuerdo con la evidencia científica disponible?

1.2 Justificación

Entre las opciones a utilizar al realizar una restauración protésica fija en boca, se encuentran los sistemas totalmente cerámicos. Estos se consideran una alternativa viable para restauraciones en pacientes que presentan alergias a los metales, las reacciones alérgicas de este tipo, se observan clínicamente como una inflamación en tejidos blandos próximos a amalgamas o coronas metal cerámicas y se presenta principalmente por la selección de aleaciones no nobles y la reacción que estas producen en el paciente (Kelly, 1997). Sin embargo, a pesar de ser superiores en biocompatibilidad y estética con respecto a los sistemas metal-cerámicos, estudios *in vivo* e *in vitro* resaltan la preocupación por sus propiedades mecánicas, entre ellas su baja resistencia a la tracción y fragilidad. Actualmente la zirconia posee las mejores propiedades mecánicas entre las cerámicas debido a su alta resistencia a la fractura, buen coeficiente de expansión térmica, resistencia a la oxidación, baja conducción térmica, biocompatibilidad y propiedades ópticas similares al diente natural, por lo que es utilizada en la confección de estructuras para prótesis fija. Su naturaleza química casi inerte, la ausencia de vidrio en su composición, y su limitación con la cementación adhesiva, disminuye considerablemente su potencial de adhesión al sustrato dental preparado, por lo que para su uso requiere de una preparación dental más retentiva causando la

perdida de remanente dental y excluyéndolo como material de opción en restauraciones mínimamente invasivas.

Diferentes tipos de tratamientos mecánicos y químicos han sido recomendados para mejorar la capacidad de adhesión del zirconio a los cementos resinosos, entre ellos está el microarenado con partículas de óxido de aluminio con contenido de sílice que ha demostrado activar químicamente el sustrato del zirconio para hacerlo más receptivo a agentes de acoples como silanos y primers (Díaz, et al., 2009).

Bajo la necesidad de obtener un mayor porcentaje de éxito y la automejora en la práctica profesional es importante determinar si existe una manera de mejorar el comportamiento adhesivo del zirconio como material restaurador, ya que la práctica odontológica actual lo exalta como el presente y el futuro material para restauraciones fijas definitivas, y es por esto que este trabajo busca evaluar el grado de adhesión a dentina de un zirconio 4Y-TZP usando un agente cementante autoadhesivo de molécula 10 MDP mediante un test de resistencia al cizallamiento enfrentando zirconio que ha sido arenado con óxido de aluminio a uno que no ha sido tratado superficialmente para luego ser sometido a ciclos de termociclado y evaluar cual es el efecto en la unión a zirconio.

2 Marco conceptual

2.1 Dioxido de Zirconio (ZrO_2)

Es una biocerámica que fue investigada por primera vez por el químico alemán Martin Heinrich Klaproth en 1789. En los últimos diez años, el uso de ZrO_2 es usado como biomaterial para implantes y coronas dentales en odontología, debido a las propiedades mecánicas superiores

del ZrO_2 , posee muy alta resistencia a la compresión de 2000 MPa, biocompatibilidad y una alta resistencia al desgaste y al rozamiento (Gautam, et al., 2016).

2.1.1 Clasificación del óxido de zirconio Según su microestructura

2.1.1.1 Óxido de zirconio totalmente estabilizado (FSZ): contiene principalmente la fase cúbica y requiere más de 8 moles de óxido de itrio para lograr esta estabilización completa.

2.1.1.2 Óxido de zirconio parcialmente estabilizado (PSZ): la matriz es cúbica, pero también puede contener regiones en fase tetragonal o monoclinica en tamaño nanométrico.

2.1.1.3 Policristales de óxido de zirconio tetragonal (TZP): estos materiales están formados principalmente por fase tetragonal, que se encuentra estabilizada por la adición de itrio (Y-TZP). Es especialmente resistente y se utiliza en odontología debido a esta propiedad (Giraldo, 2023).

2.1.2 Clasificación del zirconio según el contenido de óxido de itrio

Los policristales tetragonales estabilizados con itrio se pueden clasificar en función del porcentaje en moles de óxido de itrio, lo que afecta a sus propiedades mecánicas y ópticas:

2.1.2.1 3% de moles de itrio (3Y-TZP): esta variante es la más opaca y resistente, con aproximadamente un 85-90% de su fase en estado tetragonal.

2.1.2.2 4% de moles de itrio (4Y-TZP): contiene alrededor del 25% de fase cúbica, lo que le otorga algunas propiedades distintivas como una mayor translucidez en comparación con la variante de 3% de itrio (Giraldo, 2023).

Aunque el 3Y-TZP tiene excelentes propiedades mecánicas, su baja translucidez restringe su aplicación estética. Como solución, se desarrolló el 5Y-TZP con un mayor contenido de itrio para mejorar la translucidez, pero carece de suficiente resistencia a la flexión y tenacidad a la fractura para prótesis dentales de gran longitud debido al limitado endurecimiento por transformación de fase causado por un mayor porcentaje de la fase cúbica. Como compromiso entre el 3Y-TZP y el 5Y-TZP, el 4Y-TZP ofrece una translucidez mejorada sin una pérdida perjudicial de las propiedades mecánicas. En consecuencia, el 4Y-TZP se ha vuelto ampliamente utilizado en la fabricación de coronas de zirconia monolíticas. Si bien se han realizado investigaciones exhaustivas sobre la zirconia impresa en 3D, la mayoría de los estudios anteriores se han centrado en el 3Y-TZP. Por lo tanto, se debe investigar el 4Y-TZP impreso en 3D para comprender el comportamiento mecánico de este material en el proceso de fabricación aditiva (Kyung, et al., 2024).

Los materiales de zirconio de cuarta generación se crean para mejorar la resistencia y la tenacidad, pero nuevamente se reducen la translucidez y la reflexión de la luz. El (4Y-TZP) 4 mol% Y_2O_3 0,05 % Al_2O_3 exhibe un 30 % de translucidez, 900 MPa BFS y una mejor resistencia al envejecimiento. Zhang investigó la fase tetragonal restante y su papel en 4Y- y 5Y-PSZ (mol% de zirconia parcialmente estabilizada con itria). Ambos materiales tenían propiedades básicas similares. Sin embargo, 5Y-PSZ (mol% de zirconia parcialmente estabilizada con itria) tenía una variación en la microestructura. Cuando 5Y-PSZ se procesó a partir de un polvo coprecipitado de itria, en el que el 5% en moles de estabilizador Y_2O_3 ya estaba distribuido homogéneamente en el interior, el polvo de partida de zirconia tenía una translucidez, resistencia biaxial y estabilidad al envejecimiento significativamente mayores, lo que demuestra que el contenido cúbico y la microestructura de los granos tetragonales restantes tenían una influencia considerable en las propiedades de 4Y- y 5Y-PSZ (mol% de zirconia parcialmente estabilizada con itria) (Arellano Moncayo, et al., 2023).

La literatura respalda los hallazgos sobre la diferencia en las propiedades entre los materiales de zirconio de tercera y cuarta generación. El de tercera generación muestra mejores propiedades ópticas que el de cuarta generación, pero el de cuarta generación exhibe una mayor resistencia. Además, Las técnicas de fabricación y procesamiento afectan las propiedades ópticas de las restauraciones basadas en zirconia. Las restauraciones fabricadas con la técnica de contorno completo utilizando 4YT ZP-MT fueron las más oscuras y translúcidas. El 3YTZP-LT produce las restauraciones más claras y menos translúcidas (Arellano Moncayo, et al., 2023).

2.2 Tratamiento de superficies

Métodos utilizados para mejorar el rendimiento de unión de la zirconia, son tratamientos superficiales mecánicos o químicos cuyo objetivo principal es aumentar el área de unión, proporcionando retención mecánica y promoviendo la formación de compuestos químicos adicionales (Xiang Wang, 2024). El éxito clínico de las restauraciones cerámicas depende del proceso de cementación. La cementación adhesiva al ZrO_2 es deseable ya que mejora la retención, la adaptación marginal y la resistencia a la fractura; esto reduce la posibilidad de caries recurrentes y permite preparaciones de cavidades más conservadoras (Mattiello, et al., 2013).

Se han propuesto diferentes métodos para promover la adhesión adecuada entre el cemento de resina y ZrO_2 : el uso de un monómero modificado con fosfato (MDP) en el cemento de resina, dentro de ellos se encuentra la abrasión por aire en el laboratorio o en el sillón dental con partículas de aluminio recubiertas de Si de 110 y 30 μm , el uso de primers acopladores de zirconato, el uso de dispositivos de tratamiento a la llama de tetraetoxisilano, el uso de silanos organofuncionales, la irradiación láser, el método de deposición en fase de vapor de Si, y el procedimiento de grabado por infiltración selectiva (Mattiello, et al., 2013).

2.2.1 Tratamientos mecánicos de superficies

2.2.1.1 Arenado. o también conocido como “abrasión por aire con partículas de óxido de aluminio”, se utiliza ampliamente en la tecnología dental. Su función principal es eliminar el exceso de material, dar forma a los elementos tratados y crear una superficie adecuada en las prótesis dentales. Esta forma de tratamiento utiliza la energía cinética de los granos abrasivos en una corriente de gas comprimido (normalmente aire). Los granos abrasivos acelerados golpean la

superficie del elemento tratado y este proceso da lugar a que las partículas de los granos abrasivos corten el sustrato, lo que, como consecuencia, provoca la pérdida de material. Este proceso se suele denominar abrasión y el tratamiento se conoce como chorro abrasivo (Śmielak y Klimek, 2018).

Esta técnica convencional mejora la humectabilidad de la superficie, aumenta el entrelazamiento micromecánico y mejora la reacción química con el cemento de resina. La recomendación para los materiales Y-TZP, es arenar con óxido de aluminio de 50 micras a 0,2-0,3 MPa por 10 segundos a 10mm de distancia en un ángulo de 70-90 grados (Giraldo, 2023). Por otra parte, esta técnica aún es debatible, ya que su extrema dureza (12,17–13,7 GPa) impide la expansión de la superficie y dificulta la preparación adecuada de la superficie para la cocción de cerámica. Muchos estudios científicos niegan que la abrasión por aire tenga un efecto significativo en la mejora de la unión con la cerámica de recubrimiento, independientemente del tamaño de grano. Además, otros estudios demuestran la influencia negativa de la abrasión por aire en la estructura del dióxido de circonio. Sin embargo, la mayoría de los autores muestran que la abrasión por aire mejora la calidad de la unión con la cerámica de recubrimiento y debería recomendarse (Śmielak y Klimek, 2018).

2.2.1.2 Métodos de deposición de Sílice. El recubrimiento triboquímico de sílice se ha defendido como una técnica fiable para mejorar la fuerza de unión entre Y-TZP y la estructura dental subyacente. Esta técnica implica el granallado de la superficie de Y-TZP con partículas de alúmina de 30 μm incrustadas en sílice. Durante el granallado, se producen altas temperaturas por la energía del impacto (triboplasma), lo que da como resultado una superficie rica en sílice capaz de anclarse triboquímicamente. Varios estudios han demostrado una mayor fuerza de unión inicial entre el circonio y el cemento de resina después del recubrimiento triboquímico en comparación

con el granallado de alúmina. Esto puede deberse al microentrelazamiento promovido además de la adhesión química silano-sílice. Por el contrario, la eficacia a largo plazo del recubrimiento triboquímico de sílice es cuestionable debido a disminuciones significativas en la fuerza de unión mediada por silano-sílice al zirconio después del envejecimiento. Se ha argumentado que la disminución en la fuerza de unión está relacionada con la inestabilidad de las superficies silanizadas en contacto con la humedad. También hay una clara falta de estudios clínicos que presenten algún efecto positivo de la unión mediada por sílice en la estabilidad de las restauraciones basadas en zirconio (Lima, et al., 2019).

La deposición de Si por abrasión con aire puede producir una superficie más reactiva al silano, pero también tiende a producir una superficie con menor rugosidad y, en consecuencia, menor posibilidad de entrelazamiento mecánico con el cemento de resina. Algunos autores no muestran una rugosidad menor, pero considerando que esto podría ser una observación verdadera; la interacción química habilitada con el cemento de resina o los agentes de acoplamiento justificaría su uso (Mattiello, et al., 2013).

2.2.2 Tratamientos químicos de superficies

2.2.2.1 Grabado con ácido fluorhídrico. El tratamiento de superficie más común para restauraciones de cementación adhesiva a cerámica se basa en la unión micromecánica obtenida con grabado con ácido fluorhídrico, arenado de partículas o en la unión química, obtenida mediante la aplicación de un agente de acoplamiento de silano. El ácido fluorhídrico elimina la matriz vítrea de la cerámica de vidrio creando un sustrato de alta energía superficial con microporosidades para la penetración y polimerización de compuestos de resina, es decir, permitiendo un enclavamiento

micromecánico. Sin embargo, el grabado con ácido fluorhídrico no produce ningún cambio en la rugosidad aritmética (R_a) del ZrO_2 . El efecto insignificante del ácido fluorhídrico en la superficie de ZrO_2 ocurre debido a la ausencia de matriz vítrea, lo que resulta en valores bajos de resistencia de unión (Mattiello, et al., 2013).

2.2.2.2 Monómeros funcionales. como ya se mencionó anteriormente, se han utilizado monómeros funcionales especiales para mejorar la adhesión a ZrO_2 . Estos materiales presentan una afinidad química por los óxidos metálicos y pueden incluirse tanto en cemento de resina como en adhesivos o aplicarse directamente sobre la superficie cerámica. Los monómeros de éster de fosfato, como el fosfato de 10-metacriloiloxidecil-dihidrogeno (MDP), reaccionan químicamente con ZrO_2 , promoviendo una unión resistente al agua con cerámicas de zirconia densamente sinterizadas. El cemento de resina a base de MDP se recomienda como obligatorio para una mejor adhesión a ZrO_2 , pero algunos estudios no muestran ventajas de unión sobre el cemento de resina convencional a base de BIS-GMA (Mattiello, et al., 2013).

2.2.2.3 Agentes de acoplamiento de silano. Los agentes de acoplamiento de silano o más precisamente trialcoxisilanos son moléculas bifuncionales inorgánicas-orgánicas híbridas que son capaces de crear una red de siloxano con el hidroxilo (OH) del Si en la superficie cerámica y copolimerizarse con la matriz de resina de los compuestos; además, los silanos reducen la tensión superficial de un sustrato, lo humedecen y aumentan su energía superficial. Se han estudiado diferentes tipos de silanos, pero ninguno de ellos pudo mostrar una alta efectividad en superficies con contenido de Si ausente o reducido como la superficie de ZrO_2 (Mattiello, et al., 2013).

2.3 Prueba de cizallamiento

En un ensayo de resistencia a la unión por cizallamiento, se construye un cilindro compuesto sobre el sustrato de unión. Después de un tiempo de almacenamiento predeterminado, el espécimen se coloca en una máquina de ensayo universal en la que un cincel de un solo borde, un vástago de extremo plano o un bucle de alambre está unido al actuador usado para desalojar el cilindro de material compuesto del sustrato. Es importante tener en cuenta que, en las pruebas de cizallamiento, es un esfuerzo de tracción que en realidad provoca el desprendimiento. En otras palabras, el término ensayo de cizallamiento se refiere al modo de carga, y no al estrés que causa la falla interfacial. Cuando la distancia de carga desde la interfaz aumenta, la tensión de tracción también aumenta debido a la creación de un momento de flexión en el cilindro de material compuesto (Sakaguchi y Powers, 2012).

2.4 Termociclado

El termociclado es un proceso utilizado en estudios de materiales dentales, especialmente en la investigación de la zirconia y otros materiales cerámicos, para simular las condiciones a las que estos materiales se someterán en la boca durante su uso a lo largo del tiempo. Este proceso consiste en someter las muestras de zirconia a ciclos de temperaturas extremas (normalmente entre 5°C y 55°C) para simular la exposición que experimentan los materiales dentales a cambios térmicos constantes en la cavidad bucal, como los que ocurren cuando se consumen alimentos y bebidas calientes o frías. Los ciclos térmicos pueden influir negativa o positivamente en la durabilidad de la fuerza de la unión adhesiva a la cerámica de zirconia. El termociclado tiene un mayor impacto que el almacenamiento en agua a una temperatura constante (Koutayas, et al., 2009).

2.5 Marco teórico

2.5.1 Uso de zirconio en odontología

La estética, la funcionalidad y la biocompatibilidad hacen de la odontología un reto constante en la fabricación de restauraciones dentales. El desarrollo de la ciencia de los materiales, la robótica y la biomecánica ha cambiado radicalmente el enfoque de la sustitución de componentes anatómicos humanos. Con el fin de poder ofrecer la solución óptima sin compromisos, perfectamente integrada en la fisonomía de cada paciente, pero también la resistencia en el tiempo frente a las fuerzas masticatorias, la precisión, la perfección, la calidad, los especialistas han hecho cada vez más hincapié en el uso de materiales biocompatibles para las restauraciones protésicas dentales utilizando tecnologías modernas como CAD/CAM (Nistor, et al., 2019).

El uso de zirconio en medicina comenzó como material para reemplazo de cadera en la década de 1970. Mientras que su uso en odontología comenzó en la década de 1990 para postes de conductos radiculares y posteriormente para pilares protésicos, pero el desarrollo de su uso en la prótesis dental comenzó con la oportunidad de fabricar prótesis parciales fijas posteriores de cerámica. Más recientemente, el zirconio también ha comenzado a usarse como material para hacer implantes dentales (Nistor, et al., 2019).

Hoy en día la principal función de la zirconia se en la práctica odontológica como alternativa a las restauraciones dentales de metal-cerámica. En comparación con las restauraciones tradicionales de porcelana fusionada con metal, las restauraciones de zirconio tienen una mejor estética, debido a sus excelentes propiedades ópticas y especialmente debido a la ausencia de la línea negra, causada por el metal en la línea cervical de las restauraciones tradicionales. Aunque

la opacidad puede diferir entre los diferentes sistemas disponibles en el mercado, las propiedades generales del zirconio lo convierten en una primera opción hoy en día en los casos con altos requisitos estéticos (Nistor, et al., 2019).

2.5.2 Dióxido de zirconio (ZrO_2)

El ZrO_2 es considerado un material cerámico, con importantes propiedades físicas químicas, térmicas y biológicas silva V et al. (2002), el cual es utilizado como mineral para la conformación de cerámicas y gemas. Si se habla del Zr como elemento de la tabla periódica, tiene propiedades que contrastan, ya que en su forma pura es dúctil y se encuentra en la corteza terrestre, mientras que en su estado metálico se utiliza en aleaciones con el hierro, níquel y niobio, presentando una alta resistencia a la corrosión (Marcelo J, et al., 2020).

El ZrO_2 existe en tres formas cristalinas: monoclinica, tetragonal y cúbica. De acuerdo a lo anterior, a temperatura ambiente se encuentra en su fase monoclinica; con un aumento o disminución de temperatura alcanza su fase tetragonal mayor a $1170^{\circ}C$ y finalmente la fase cúbica ya cuando alcanza temperaturas de hasta $2360^{\circ}C$ (Thompson et al., 2011), (Kongkiatkamon S, et al., 2023).

El bióxido de zirconio estabilizado como cerámica, se encuentra disponible como Tetragonal zirconia policristal (Y-TZP), estabilizado a través del agregado de óxido de itrio (Y_3O_3) y Zirconia parcialmente estabilizada, a través del agregado de óxido de magnesio u óxido de calcio MgO , CaO ; cabe destacar que la transformación de estas fases son reversibles; sin embargo, implican una expansión del retículo de fase cubica a tetragonal del 2,5% de volumen y de tetragonal a monoclinica 3-4% (Amolca.,2013). Con el paso de los años, estos óxidos metálicos; se han utilizado para crear una composición de zirconia parcialmente estabilizada (PSZ), que son

principalmente una fase cúbica a temperatura ambiente, con precipitados monoclinicos y tetragonales como fase menor (Thompson, et al., 2011).

2.5.3 Policristales de zirconio tetragonal estabilizados con itrio (Y-TZP)

La fase más importante en el proceso de transformación de este biomaterial es la fase tetragonal, pero ésta no es estable a temperatura ambiente, lo que conlleva a que después de los cambios de temperatura (calentamiento y/o enfriamiento) necesite de óxidos estabilizadores para los cristales de zirconia (CaO , MgO , CeO_2 , Y_2O_3); sin embargo, la transformación desfavorable de dicha fase a la monoclinica puede ocurrir cuando se proporciona algún tipo de energía externa, y a su vez puede producir algún cambio molecular entre las redes cristalinas dado que, la fase tetragonal se estabiliza parcialmente (Marcelo J, et al., 2020). En el sistema $\text{Zr}_2\text{-Y}_2\text{O}_3$ (zirconio parcialmente estabilizado con itrio), el interés principal al usar Y_2O_3 como estabilizante es la posibilidad de obtener cerámicas formadas casi completamente por zirconia en fase tetragonal a temperatura ambiente (Piconi, et al., 2011).

La cerámica policristalina que se encuentra más comúnmente en el mercado es el dióxido de zirconio estabilizado con oxido de itrio (Y-TZP), pues incorporando los óxidos en la red cristalina de la zirconia se logra su transformación óptima durante el enfriamiento, en la condición tetragonal o en la nueva condición cúbico-tetragonal (Santos, et al., 2016). Lo que resulta imposible de producir cerámica sinterizada a partir de circonio puro, es que durante el proceso de enfriamiento que alcanza la transformación de una masa pura de zirconia a los 2680°C en fase cubica y luego sufrir el proceso de transformación a los 2370°C en la fase tetragonal, para finalmente a los 1170°C llegar a la fase monoclinica o también llamada “transformación martensítica”; va a producir finalmente un aumento de volumen brusco del 4 % provocando la

aparición de grietas de una fase a otra, causando así que dichas grietas puedan extenderse hasta la superficie de las partículas cristalinas de zirconio. Cabe resaltar, que dicha transformación puede ir inducida por altas tensiones de tracción causando reducción de presión de la matriz sobre las partículas del circonio (Santos, et al., 2016). así pues, es esto último lo que hace que el biomaterial pase de tetragonal a monoclinico y estas grietas sean estabilizadas con los óxidos de itrio.

Otros biomateriales cerámicos como zirconia parcialmente estabilizado con magnesio (Mg-PSZ), presenta algunas particularidades, específicamente en el ciclo térmico de sinterización. Entre sus aplicaciones como biomaterial se encuentran según Piconi, 2011., La complejidad tecnológica relacionada con la temperatura de sinterización, mayor a la que se requiere para obtener Y-TZP. El control crítico de la temperatura durante el enfriamiento sobre las características mecánicas del material, dado que en esta etapa del proceso se produce la precipitación de la fase tetragonal y la pérdida de estabilidad del material posterior a la formación de silicatos de magnesio debido a la inevitable presencia de impurezas de SiO_2 en los precursores del Mg-PSZ (Santos, et al., 2016).

Teniendo en cuenta que las prótesis dentales en zirconia, ya sean individuales o múltiples son estructuras en forma de capas que van cementadas sobre una capa de dentina y que están propensas a fuerzas oclusales y de flexión elevadas en condiciones clínicas (al rededor a los 1000N), actualmente existen dos tipos, los bicapa en la que un núcleo de zirconia fuerte esta recubierto de cerámica o únicamente la zirconia en forma monolítica (Zhang y Lawn, 2019), la zirconia bicapa suele ser estética pero débil y susceptible a delaminación o astillado. En cambio, la zirconia monolítica o al menos con 3% contenido de mol (3YTZP), suele ser más resistente pero estéticamente también muy pobre, puesto que carece de translucidez.

La cantidad de moles en la estructura de capas dentales basadas en zirconia juega un papel importante. Conforme a lo anterior, es relevante nombrar que en la búsqueda de mejorar esas propiedades ópticas de la zirconia, se da a conocer entre el año 2012-2013 según Stawarczyk y col., que al disminuir el contenido de Al_2O_3 la translucidez del dióxido de zirconio aumenta (de $\approx 0.25\%$ a $\approx 0.05\%$), y es donde surge la zirconia de segunda generación (3Y-TZP); donde la estructura cristalográfica tetragonal de la cerámica se mantiene y las propiedades mecánicas entre una y otra generación, no presentan diferencia estadísticamente significativa (Marcelo J., et al., 2020).

Si bien es cierto, en zona anterior, la demanda estética es importante y de acuerdo a ello surge la necesidad de aumentar un poco más la translucidez de la zirconia, y fue para el año 2015 que aparece en el mercado un material sinterizado a partir del aumento en contenido y tamaño de los granos del Y_2O_3 , teniendo en cuenta que como consecuencia de aumentar la translucidez se observaba una disminución en la resistencia del material, pasando a aumentar el contenido de moles de óxido de Itrio a 5% y logrando aumentar de igual forma las porciones cúbicas (cristales de mayor volumen en comparación con la fase tetragonal). Esta zirconia de tercera generación (5Y-TZP) no solo es metaestable en la fase tetragonal (47%), sino que también contiene una proporción de fase cúbica de hasta el 53% (Santos et al., 2016) se describe entonces como “zirconia totalmente estabilizada con una estructura mixta cúbica/tetragonal”.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar la resistencia adhesiva de zirconia tipo IV cementada con un material autoadhesivo de molécula 10MDP con y sin tratamiento de superficie y/o termociclado, en estudios experimentales in vitro.

3.2 Objetivos específicos

- Describir la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP, con y sin tratamiento de superficie
- Comparar la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos con 10-MDP frente a otros tipos de zirconia reportados en la literatura.
- Identificar el efecto del tratamiento de superficie y del termociclado sobre la resistencia adhesiva del dióxido de zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP.
- Evaluar la calidad de reporte de la evidencia identificada.

4. Métodos

4.1 Tipo de estudio

Revisión sistemática de la literatura, investigación de fuente secundaria

4.2 Población estudio

Artículos publicados en los últimos 5 años respecto a la adhesión de zirconia usando adhesivo con molécula 10-MDP identificados en 4 bases de datos (Pubmed, Science direct, Web of science y Scopus). Se diseño la ecuación de búsqueda con base en las palabras clave identificadas orientadas por la pregunta PICO.

4.2.1 Pregunta PICO

- P: Adhesión de zirconio tipo IV usando molécula de 10-MDP
- I: Pretratamiento y/o termociclado
- C: Comparando diferentes tipos de zirconio , tratamientos y termociclado
- O: Resistencia o fuerza de adhesión

Se identifican las palabras clave, y la ecuación de búsqueda hasta identificar la pertinencia de los documentos. En total se identificaron 33 documentos, así.

Tabla 1. *Pregunta PICO*

<i>Key words</i>	<i>Ecuación</i>	<i>Pubmed</i>	<i>Scopus</i>	<i>Web of science</i>	<i>Science direct</i>	<i>Total</i>
10-MDP	10-MDP AND zirconia	4	1	3	25	33
Zirconio	AND 4y AND bonding					
Strength	AND strength					
Bonding						
4yzs						

4.3 Criterios de inclusión

- Artículos de los últimos 5 años de tipo experimental in vitro.

- Documentos que comparen la adhesión del zirconio TIPO IV realizada con adhesivos con molécula 10-MDP.
- Artículos publicados en inglés o español.

4.4 Criterios de exclusión

- Revisiones narrativas o sistemáticas.
- Resúmenes o memorias de congreso.
- Artículos que no se puedan leer en su totalidad.

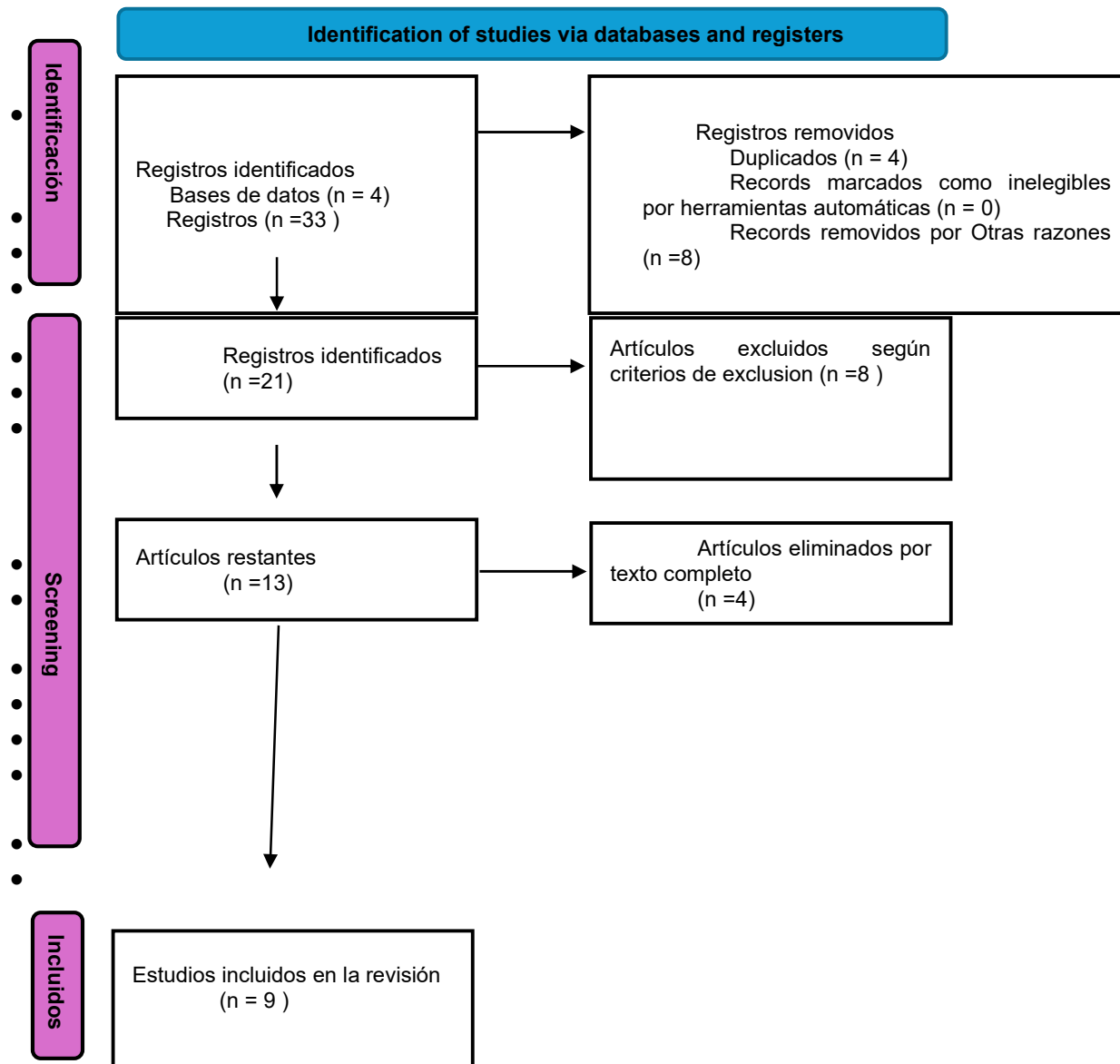
4.5 Variables

Como variable dependiente se considera la Adhesión del zirconio y como variables independientes se considera el pretratamiento, termociclado, protocolo utilizado y el efecto en la adhesión.

En la Tabla 1 se describe la operacionalización de las variables que se evaluaron en este estudio. Ver apéndice A.

4.6 Diagrama de flujo

Figura 1. Diagrama de flujo.



4.7 Procedimiento

Una vez identificadas las palabras clave y la ecuación de búsqueda, se realizó el tamizado en las diferentes bases de datos. Los títulos fueron listados en una hoja de Excel y ordenados para

identificar duplicados y eliminarlos. Posteriormente se realiza el análisis de los títulos y resúmenes para verificar el cumplimiento de criterios de inclusión, posteriormente se realiza la búsqueda de los textos completos para extraer la información, registrarla en la hoja de Excel para analizar y generar los resultados.

4.8 Análisis estadístico

4.8.1 Plan de análisis univariado

En el análisis univariado se realiza estadística descriptiva. Las variables de naturaleza cualitativa por medio de porcentaje y/o frecuencia; mientras que, las variables cuantitativas se analizan a través de medidas de dispersión (media y desviación estándar o mediana y rango intercuartílico, según lo reportado en los documentos incluidos.

Se realiza un análisis minucioso de la información detallada del procedimiento que permita cumplir los objetivos de la revisión.

4.9 Consideraciones éticas

En este estudio se tuvieron en cuenta los lineamientos de la resolución No 008430 del Ministerio de Salud en Colombia por la cual se establece las “normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud, por lo tanto, este proyecto de investigación se consideró sin riesgo, puesto que es una revisión sistemática donde se respeterá lo reportado usando la citación adecuada de los documentos.

5. Resultados

5.1 Resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP con y sin tratamiento de superficie

Los estudios incluidos evaluaron la resistencia adhesiva del zirconio cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP, mostrando una variabilidad considerable en los valores reportados, principalmente en megapascals, dependiendo principalmente del tratamiento de superficie y del envejecimiento térmico. La mayoría de los estudios evaluaron la resistencia de unión al cizallamiento, sin embargo, unos pocos midieron resistencia de unión a la tracción, resistencia a la flexión biaxial y resistencia a la fatiga.

El análisis cualitativo de la evidencia científica plasmada en la tabla 1, pudo determinar que el zirconio tipo IV puede presentar una adecuada resistencia adhesiva cuando se utilizan cementos autoadhesivos con 10-MDP, mostrando una variabilidad considerable en los valores reportados, los cuales oscilaron aproximadamente entre 4,2 MPa y 52,7 MPa, no obstante estos dependen principalmente de otras variables como el tratamiento de superficie y del envejecimiento térmico.

5.2 Comparación de la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV frente a otros tipos de zirconia

Los estudios incluidos compararon zirconio tipo IV con otras generaciones de zirconia, principalmente 3Y-TZP y 5Y-PSZ, y encontraron que el tipo de zirconio normalmente no influye significativamente en la resistencia inicial, no obstante, cuando se aplica el termociclado o el

tratamiento de superficie, ya se encuentran diferencias en el comportamiento adhesivo según el tipo de zirconio.

Con relación al zirconio de 3ra generación, el zirconio tipo IV presenta valores de adhesión inicial similares, pero muestra una menor capacidad de transformación de fase monoclinica ante el estrés mecánico. Con respecto al zirconio tipo V, los resultados evidencian que el zirconio tipo IV es más estable a nivel de adhesión y estructura, también es los estudios indican es menos susceptible a la degradación por tratamientos como el *silica coating* y mantiene una mejor supervivencia ante cargas cíclicas; todo esto apoyado en el hecho de que a mayor contenido de itrio, se disminuye la densidad de sitios activos para el enlace químico con el 10-MDP, favoreciendo a la tipo IV en términos de durabilidad.

5.3 Efecto del tratamiento de superficie y del termociclado

Al momento de evaluar el tratamiento de superficie, la evidencia que muestra la literatura científica es que el arenado con partículas de óxido de aluminio de 50 μm fue el factor más consistentemente relacionado con el aumento de la resistencia de unión al cizallamiento, esto debido a que la mayoría de los estudios reportaron incrementos significativos. Asimismo, la aplicación de primers con 10-MDP y el recubrimiento con etilcelulosa permiten mantener valores elevados tras el termociclado, donde se podría determinar que la combinación de tratamiento mecánico y químico mejoran la adhesión.

Respecto al termociclado, la mayoría de los estudios reportaron una disminución de la resistencia adhesiva después del envejecimiento térmico. Los estudios in-vitro evaluados en la revisión sistemática muestran una reducción promedio de la resistencia adhesiva de entre el 20% y el 50% tras el sometimiento a ciclos térmicos (generalmente 5,000 a 10,000 ciclos).

Tabla 2. Evidencia científica sobre la resistencia adhesiva de la zirconia tipo IV cementada con agentes basados en 10-MDP según el tratamiento de superficie y envejecimiento térmico

Autor/ Año	Tipo zirconi a	Cemen to 10- MDP	Tratamie nto superfici e	Termocicla do	Tipo prueba	Mues tra total	Resisten cia adhesiva (MPa)	Conclusiones
Franco- Tabares et al (2019)	4Y- PSZ y 5Y- PSZ	Panavia F 2.0	Pulido (600-grit SiC) - sin arenado	Sí (10,000 ciclos)	Resisten cia de unión al cizallam iento	90	Sin termocicl ado 20 / Posterior al termocicl ado 6	Disminuye tras termociclado . Ambos materiales, el 4Y-TZP y el 5Y-TZP, podrían ser alternativas prometedora s a las restauracion es de vitrocerámic a. La zirconia 5Y-PSZ mostró la mayor degradación tras el termociclado . La estabilidad del enlace químico del MDP es menor en zirconias con alto contenido de itrio. El zirconio pretratado mediante arenado y agente
Araújo- Neto et al (2025)	3Y- TZP, 4Y- PSZ y 5Y- PSZ	No especifica	Arenado (50 μ m Al ₂ O ₃ , 0.2 MPa, 10s) + primer (10- MDP)	Sí (10,000 ciclos)	Resisten cia de unión al cizallam iento	120	14.5 – 28.2 (inicial) / 8.3 – 15.6 (final)	La estabilidad del enlace químico del MDP es menor en zirconias con alto contenido de itrio. El zirconio pretratado mediante arenado y agente
Liu et al (2022)	4Y- TZP (Alta traslucidez)	G- CEM / RelyX U200	U200Are nado (50 μ m Al ₂ O ₃) /	Sí (10,000 ciclos)	Resisten cia de unión al cizallam iento	120	4.2–18.8	La estabilidad del enlace químico del MDP es menor en zirconias con alto contenido de itrio. El zirconio pretratado mediante arenado y agente

Autor/ Año	Tipo zirconi a	Cemen to 10- MDP	Tratamie nto superfici e	Termocicla do	Tipo prueba	Mues tra total	Resisten cia adhesiva (MPa)	Conclusione s
			MDP Primer					adhesivo, que posteriormente se unió a una dentina tratada con imprimación utilizando cementos de resina, puede proporcionar una excelente resistencia a la cizalladura y un buen rendimiento antienviejecimiento. El termociclado disminuyó la fuerza de unión a la tracción; contenido de itrio no influyó significativamente
Samran eta al (2025)	3Y- PSZ / 4Y- PSZ / 5Y- PSZ	Panavi a V5 + Clearfil Cerami c Primer Plus	Arenado 50 μm Al_2O_3	Sí (37.500 ciclos)	Resisten cia de unión a la tracción	64	24.1– 52.7	

Autor/ Año	Tipo zirconi a	Cemen to 10- MDP	Tratamie nto superfici e	Termocicla do	Tipo prueba	Mues tra total	Resisten cia adhesiva (MPa)	Conclusiones
Franco- Tabares et al (2021)	3Y- PSZ 4Y- PSZ 5Y- PSZ	/ Panavi a F 2.0	Pulido (pasta ZirconBri t y Arenado (50 μ m Al_2O_3)	No (Almacena miento 24h)	Resisten cia de unión al cizallam iento	60	~12.2 – 20.3 (Arenado) / ~4.8 – 6.0 (Pulido)	El arenado mejoró significativa mente la adhesión en 4Y y 5Y. La 3Y mostró mayor transformaci ón de fase monoclínica tras el arenado.
Mirt et al (2022)	3Y- TZP 4Y- TZP 5Y- TZP	/ No especifica	Arenado (Al_2O_3 50 μ m, 2 bar)	No (Evalúa envejecimie nto térmico/fue go)	Resisten cias a la flexión biaxial	180	No reporta en MPa	El arenado aumenta la resistencia mecánica en 3Y-TZP, pero este efecto es casi nulo en 5Y- TZP debido a la baja capacidad de transformaci ón de fase
Kim et al (2022)	4Y- TZP	Panavi a V5 / MDP Primer	Arenado (50 μ m Al_2O_3) / Recubrim iento Etilcelulo sa	Sí (5,000 ciclos)	Resisten cia de unión al cizallam iento	120	12.3 – 45.4	Evalúa contaminaci ón por saliva. El uso de recubrimient o de etilcelulosa mantuvo alta la resistencia adhesiva tras termociclado .

Autor/ Año	Tipo zirconi a	Cemen to 10- MDP	Tratamie nto superfici e	Termocicla do	Tipo prueba	Mues tra total	Resisten cia adhesiva (MPa)	Conclusione s
Cantelli et al (2025)	3Y-TZP / 5Y-PSZ	Cemento con MDP (Referencia técnica)	Ninguno / Silica coating / Arenado Al_2O_3	No	Resistencia a la fatiga	120	No reporta SBS en MPa (reporta supervivencia)	El silica coating redujo significativamente la supervivencia en 5Y-PSZ. El arenado con Al_2O_3 mostró buen desempeño en ambas zirconias. El tipo de zirconia no influyó
Hansson & Ågren (2024)	3Y-PSZ / 4Y-PSZ / 5Y-PSZ / Multilayer	Panavia V5 (MDP)	Arenado (50 μm Al_2O_3 , 0.1 MPa, 10s) + Primer	Sí (5,000 ciclos)	Resistencia de unión al cizallamiento	131	18.0 – 26.6 (inicial) / 12.1 – 21.0 (envejecido)	– significativa mente en la resistencia inicial, pero el envejecimiento redujo la unión en todos los grupos.

5.4 Evaluación de la calidad de reporte de la evidencia identificada

La calidad de reporte de los estudios fue evaluada mediante la lista CRIS, destinada para este tipo de ejercicios en estudios in vitro. De los nueve artículos incluidos, tres presentaron alta calidad y seis calidades moderadas, lo que evidencia un cumplimiento generalizado a nivel metodológico.

Tabla 3. *Clasificación del nivel de calidad*

Nivel de calidad	Número de estudio	Porcentaje
<i>Alta calidad</i>	3	33,3%
<i>Calidad moderada</i>	6	66,7%
<i>Baja calidad</i>	0	0%

Las limitaciones más comunes fueron la ausencia del cálculo del tamaño de muestra, la falta de reporte del tamaño del efecto o intervalos de confianza y el hecho de que muchos artículos no manifestaron en su título que se trataba de un estudio *in-vitro* (ver tabla2).

Tabla 4. *Evaluación de la calidad de reporte para estudios in vitro según criterios CRIS*

Criterio evaluado	Sí (n)	No (n)	% Cumplimiento
<i>Identifica estudio in vitro en el título</i>	3	6	33,3%
<i>El resumen muestra diseño, método y resultados</i>	9	0	100%
<i>Introducción específica problema e hipótesis</i>	9	0	100%
<i>Explica en detalle los grupos experimentales</i>	9	0	100%
<i>Define desenlaces y momento de medición</i>	9	0	100%
<i>Describe cálculo del tamaño de muestra</i>	0	9	0%
<i>Métodos estadísticos adecuados</i>	9	0	100%
<i>Número de experimentos por grupo</i>	9	0	100%
<i>Reporta tamaño del efecto / IC</i>	2	7	22,2%
<i>Discusión de sesgos y aplicabilidad</i>	9	0	100%
<i>Interpretación consistente de resultados</i>	9	0	100%
<i>Reporte de financiación / conflictos</i>	7	2	77,8%

6. Discusión

Con el propósito de identificar la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP y determinar cómo esta adhesión se ve afectada por el tratamiento de superficie y los procesos de envejecimiento artificial, se analizaron nueve estudios in vitro. Los hallazgos de esta revisión indican que el zirconio tipo IV presenta una resistencia adhesiva adecuada cuando es cementado con materiales que contienen 10-MDP. Asimismo, diferentes tratamientos de superficie, especialmente el arenado con óxido de aluminio

de 50 μm y el uso de primers con 10-MDP, demostraron mejorar significativamente la resistencia adhesiva.

En relación con estos hallazgos, de Carvalho et al. publicaron una revisión sistemática con metaanálisis en la que evaluaron si los cementos de resina modificados con 10-MDP presentan una adhesión superior a la de los cementos de resina convencionales. Los autores concluyeron que tanto el análisis cualitativo como cuantitativo de los estudios in vitro incluidos evidenció una adhesión significativamente superior de los cementos modificados con 10-MDP frente a los cementos tradicionales. Estos resultados concuerdan con la presente revisión sistemática, donde la evidencia analizada sugiere que la presencia del monómero funcional 10-MDP favorece la adhesión química al zirconio y mejora la estabilidad de la unión adhesiva (de Carvalho, et al., 2026).

Estos hallazgos pueden explicarse por la capacidad del monómero funcional 10-MDP de establecer una unión química estable con los óxidos presentes en la superficie del zirconio. Nagaoka et al. demostraron mediante análisis espectroscópicos que el 10-MDP puede formar enlaces tipo P-O-Zr con el zirconio, favoreciendo una interacción química resistente incluso después de procesos de envejecimiento y lavado químico. Además, los autores señalaron que la adhesión obtenida únicamente mediante retención micromecánica no es suficiente para mantener una unión duradera, razón por la cual la combinación de arenado y monómeros funcionales con 10-MDP proporciona mejores resultados adhesivos (Nagaoka, et al., 2017).

Si bien dentro de la metodología del estudio no se incluyó el silano, autores como Yang y colaboradores reportaron que la interacción entre silano y 10-MDP modifica favorablemente la química superficial del zirconio, aumentando la hidroxilación de la superficie y favoreciendo la adsorción del monómero funcional. No obstante, estos hallazgos también respaldan los resultados

encontrados en la presente revisión sistemática, donde se resalta la importancia de manejar protocolos que combinen tratamiento mecánico y químicos, ya que mostraron mayor resistencia adhesiva y mejor estabilidad tras el termociclado (Yang, et al., 2024).

Ayedi y colaboradores también realizaron una revisión sistemática donde compararon varios protocolos de adhesión y tratamientos de superficie de zirconia para identificar el método más eficaz para lograr una adhesión fuerte y duradera con cementos de resina después de protocolos de envejecimiento y determinaron que la abrasión con partículas de aire representa la estrategia de pretratamiento más efectiva, particularmente cuando se combina con la aplicación de un imprimador de 10-metacriloxildecil dihidrógeno fosfato (10-MDP) y un cemento de resina autoadhesivo, resultando en una unión duradera y confiable a la zirconia (Ayedi, et al., 2026). Si bien la revisión sistemática no incluyó el tratamiento de superficie con partículas de aire, los hallazgos determinaron que el arenado con óxido de aluminio de 50 μm mejoraron significativamente la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV y coincide con lo reportado por Al-Amari et al., quienes en una revisión narrativa concluyeron que el arenado continúa siendo uno de los métodos más confiables y predecibles para mejorar la adhesión al zirconio, debido a que incrementa la rugosidad superficial, la energía de superficie y la retención micromecánica. Además, los autores resaltan que el efecto adhesivo es significativamente mayor cuando el arenado se combina con primers o cementos que contienen 10-MDP, favoreciendo la formación de enlaces químicos estables y una mayor durabilidad de la unión adhesiva. No obstante, también señalan que protocolos agresivos de arenado podrían inducir microfracturas o transformaciones de fase en la zirconia, por lo que recomiendan controlar parámetros como el tamaño de partícula y la presión utilizada (Al-Amari, et al., 2024).

En relación con los tratamientos químicos de superficie, recientemente se publicó una revisión sistemática con metaanálisis en la que se evaluó el efecto de diferentes protocolos de grabado ácido sobre la adhesión entre zirconio y cementos de resina. Los autores analizaron variables como la composición del agente grabador, tiempo de aplicación, temperatura, envejecimiento artificial y tipo de zirconia, concluyendo que los protocolos de grabado químico incrementan significativamente la resistencia adhesiva tanto en condiciones iniciales como después del envejecimiento térmico. Asimismo, reportaron que los sistemas adhesivos y primers que contienen 10-MDP desempeñan un papel fundamental en la estabilidad de la unión adhesiva, especialmente cuando se combinan con tratamientos químicos específicos para zirconia. Aunque el arenado continúa siendo uno de los métodos más utilizados, el estudio señala que los nuevos sistemas de grabado ácido para zirconia podrían generar una activación química superficial y disolución controlada de los límites de grano, permitiendo obtener valores adhesivos comparables a los alcanzados mediante recubrimiento triboquímico con sílice. Estos hallazgos complementan los resultados observados en la presente revisión sistemática, donde la combinación de tratamiento de superficie y monómeros funcionales con 10-MDP mostró una mejora significativa de la resistencia adhesiva y de la estabilidad después del termociclado (Sieber, et al., 2026).

Dentro de las fortalezas de la presente revisión sistemática se destaca el hecho de evaluar el zirconio tipo IV, un material que actualmente presenta creciente aplicación clínica debido a sus propiedades ópticas y mecánicas, pero sobre el cual aún existe limitada evidencia relacionada con los protocolos adhesivos. Asimismo, la revisión incluyó el análisis de múltiples variables que influyen directamente en la adhesión, como los tratamientos de superficies, el termociclado y el uso de cementos autoadhesivos con 10-MDP, los cuales se usan ampliamente en la práctica clínica y que requieren de evidencia científica que los respande. De igual forma, la evaluación

metodológica mediante criterios CRIS fortaleció el análisis crítico de la calidad de reporte de los estudios incluidos.

Las limitaciones que se podrían mencionar del estudio corresponden a la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos, evidenciada en las diferentes pruebas de resistencias que se evaluaron como desenlace, no obstante, la más común fue la prueba de resistencia al cizallamiento. Adicionalmente, la mayoría de los estudios correspondieron a investigaciones *in vitro*, por lo que los resultados deben interpretarse con precaución al extrapolarlos al comportamiento clínico. Finalmente, algunos estudios presentaron deficiencias en el reporte metodológico, especialmente relacionadas con el cálculo del tamaño de muestra y el reporte del tamaño del efecto, lo que puede influir en la solidez de la evidencia disponible.

6.1 Conclusiones

El zirconio tipo IV cementado con materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP presenta una resistencia adhesiva adecuada, los cuales dependen principalmente del tratamiento de superficie y del envejecimiento térmico.

El zirconio tipo IV muestra valores de adhesión inicial similares al zirconio 3Y-TZP y mayor estabilidad adhesiva que la zirconia 5Y-PSZ, evidenciando un mejor comportamiento frente a la degradación y mayor durabilidad de la unión con cementos que contienen 10-MDP.

El arenado con óxido de aluminio de 50 μm y el uso de primers con 10-MDP, mejora significativamente la resistencia adhesiva del zirconio tipo IV, mientras que el termociclado produce una disminución de la adhesión entre un 20% y 50%.

Los estudios incluidos presentaron una calidad de reporte entre moderada y alta; sin embargo, se identificaron limitaciones frecuentes como la ausencia del cálculo del tamaño de

muestra, la falta de reporte del tamaño del efecto o intervalos de confianza y el hecho de que muchos artículos no manifestaron en su título que se trataba de un estudio *in-vitro*. lo que sugiere la necesidad de mejorar estos aspectos en la calidad metodológica en futuras investigaciones.

6.2 Recomendaciones

Desarrollar estudios clínicos y ensayos *in vivo* que permitan evaluar el comportamiento adhesivo del zirconio tipo IV en condiciones orales reales, debido a que la mayoría de la evidencia disponible corresponde a estudios *in vitro*.

Continuar investigando la interacción química entre el zirconio tipo IV y los materiales autoadhesivos que contienen 10-MDP, especialmente en combinación con nuevos tratamientos de superficie y sistemas de grabado químico específicos para zirconia. También resulta relevante evaluar el comportamiento adhesivo a largo plazo frente a cargas cíclicas y envejecimiento artificial prolongado.

Mejorar la calidad metodológica de futuras investigaciones siguiendo guías como CRIS para estudios *in vitro*, incluyendo el cálculo del tamaño de muestra, el reporte del tamaño del efecto y la descripción detallada de los protocolos experimentales, con el propósito de aumentar la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados.

Se recomienda desarrollar estudios *in vitro* que evalúen el efecto de diferentes protocolos de arenado (tamaño de partícula, presión, tiempo y distancia de aplicación) sobre la integridad estructural del zirconio tipo IV, con el fin de determinar si este tratamiento superficial favorece la aparición de microfracturas o alteraciones microestructurales que puedan comprometer su resistencia mecánica y el desempeño clínico a largo plazo.

Referencias

- Al-Amari, A. S., Saleh, M. S., Albadah, A. A., Almousa, A. A., Mahjoub, W. K., Al-Otaibi, R. M., Alanazi, E. M., Alshammari, A. K., Malki, A. T., Alghelaiqah, K. F., & Akbar, L. F. (2024). A comprehensive review of techniques for enhancing zirconia bond strength: Current approaches and emerging innovations. *Cureus*, 16(10), e70893. <https://doi.org/10.7759/cureus.70893>
- Andrade Ponce, M., y Carrión Bustamante, I. (2020). Cementación Adhesiva De Restauraciones Cerámicas. *Revista Científica Especialidades Odontológicas UG*, 3(1). <https://doi.org/10.53591/eoug.v3i1.309>
- Arellano Moncayo, A. M., Peñate, L., Arregui, M., Giner-Tarrida, L., y Cedeño, R. (2023). State of the Art of Different Zirconia Materials and Their Indications According to Evidence-Based Clinical Performance: A Narrative Review. *Dentistry Journal*, 11(1), 18. <https://doi.org/10.3390/dj11010018>
- Ayedi, L., Riahi, Z., Kalghoum, I., Mejri, O., y Hadyaoui, D. (2026). Which Bonding Protocol Provides the Most Durable Zirconia Adhesion after In Vitro Artificial Aging: A Systematic Review. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 26(12), 1215–1227. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3979>

- de Carvalho, S. B., Uehara, L. M., Carvalho-Silva, J. M., y dos Reis, A. C. (2026). Bonding effectiveness of 10-MDP containing resin composite cements: a systematic review with meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 146, 104260. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104260>
- Díaz, B., Pablo, J., López, E., y Veny, T. (2009). Cementado adhesivo de restauraciones totalmente cerámicas. *Revista Científica de Formación Continuada*, 6(2), 61–75.
- Gautam, C., Joyner, J., Gautam, A., Rao, J., y Vajtai, R. (2016). Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. *Dalton Transactions*, 45(48), 19194–19215. <https://doi.org/10.1039/C6DT03484E>
- Giraldo, T. (2023). *Racionalización y efectividad de la adhesión al óxido de zirconio: revisión narrativa*. Universidad CES.
- Kelly, J. R. (1997). Ceramics In Restorative And Prosthetic Dentistry. *Annual Review of Materials Science*, 27(1), 443–468. <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.27.1.443>
- Koutayas, S. O., Vagkopoulou, T., Pelekanos, S., Koidis, P., y Strub, J. R. (2009). Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough. *The European Journal of Esthetic Dentistry : Official Journal of the European Academy of Esthetic Dentistry*, 4(4), 348–380.
- Kyung, K.-Y., Park, J.-M., Heo, S.-J., Koak, J.-Y., Kim, S.-K., Ahn, J.-S., y Yi, Y. (2024). Comparative analysis of flexural strength of 3D printed and milled 4Y-TZP and 3Y-TZP zirconia. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 131(3), 529.e1-529.e9. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.12.020>
- Lima, R. B. W., Barreto, S. C., Hajhamid, B., de Souza, G. M., y de Goes, M. F. (2019). Effect of cleaning protocol on silica deposition and silica-mediated bonding to Y-TZP. *Dental Materials*, 35(11), 1603–1613. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2019.08.099>

- Mattiello, R. D. L., Coelho, T. M. K., Insaurralde, E., Coelho, A. A. K., Terra, G. P., Kasuya, A. V. B., Favarão, I. N., Gonçalves, L. de S., y Fonseca, R. B. (2013). A Review of Surface Treatment Methods to Improve the Adhesive Cementation of Zirconia-Based Ceramics. *ISRN Biomaterials*, 2013, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2013/185376>
- Montagna, F., & Barbesi, M. (2013). Cerámicas, zirconio y CAD/CAM. Amolca.
- Nagaoka, N., Yoshihara, K., Feitosa, V. P., Tamada, Y., Irie, M., Yoshida, Y., Van Meerbeek, B., y Hayakawa, S. (2017). Chemical interaction mechanism of 10-MDP with zirconia. *Scientific Reports*, 7(1), 45563. <https://doi.org/10.1038/srep45563>
- Nistor, L., Grădinaru, M., Rîcă, R., Mărășescu, P., Stan, M., Manolea, H., Ionescu, A., y Moraru, I. (2019). Zirconia Use in Dentistry - Manufacturing and Properties. *Current Health Sciences Journal*, 45(1), 28–35. <https://doi.org/10.12865/CHSJ.45.01.03>
- Piconi, C., Rimondini, L., y Cerroni, L. (2011). *El zirconio en odontología*. Amolca .
- Preis, V., Behr, M., Hahnel, S., & Rosentritt, M. (2015). Influence of cementation on in vitro performance, marginal adaptation and fracture resistance of CAD/CAM-fabricated ZLS molar crowns. *Dental Materials*, 31(11), 1363–1369. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.08.154>
- Sakaguchi, R. L., Ferracane, J. L., Powers, J. M., & Brantley, W. A. (2019). *Craig's restorative dental materials* (14th ed.). Elsevier
- Santos, R. L. P., Buciumeanu, M., Silva, F. S., Souza, J. C. M., Nascimento, R. M., Motta, F. V., Carvalho, O., y Henriques, B. (2016). Tribological behaviour of glass-ceramics reinforced by Yttria Stabilized Zirconia. *Tribology International*, 102, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.05.047>

- Sieber, A., Souza, L. F. B., Eyüboğlu, T. F., y Özcan, M. (2026). Etchability of zirconia ceramics and its effect on adhesion: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 148, 104303. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2026.104303>
- Śmielak, B., y Klimek, L. (2018). Effect of Air Abrasion on the Number of Particles Embedded in Zirconia. *Materials*, 11(2), 259. <https://doi.org/10.3390/ma11020259>
- Thompson, J. Y., Stoner, B. R., Piascik, J. R., y Smith, R. (2011). Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: Where are we now? *Dental Materials*, 27(1), 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.022>
- Valenzuela, V., y Romero, P. (2011). Efectos del Rocatec y Z-Prime Plus como Elementos de Unión en la Resistencia a la Tracción de Porcelanas de Oxido de Zirconio. *Revista Dental de Chile*, 102(1), 27–31.
- Yang, H., Sun, L., Yu, H., Nugraha, A. P., Vanegas Sáenz, J. R., y Hong, G. (2024). Current prospect of dental zirconia recycling: A scoping review. *Journal of Prosthodontic Research*, 68(4), JPR_D_23_00186. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00186
- Zhang, Y., y Lawn, B. R. (2019). Evaluating dental zirconia. *Dental Materials*, 35(1), 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.08.291>

Apéndices

Apéndice A. Cuadro de variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Naturaleza	Escala de medición	Valor
Año		Año de publicación del artículo	Cualitativa	Politómica	año
Zirconio		Tipo de zirconio evaluado	Cualitativa	Politómica	subtipo
Resistencia de Adhesión	Carga necesaria para producir una fractura en la interfaz en la unión de dos materiales al aplicar fuerzas paralelas en sentido contrario.	Cantidad de mega pascales que mide el equipo al momento de la falla	Cuantitativa	Razón	Mpa
Termociclado	procedimiento utilizado en un ambiente controlado para simular los efectos del cambio de temperatura en cavidad oral.	someter las muestras a 600 ciclos térmicos de 5 a 55°C	Cualitativa	Dicotómica	Si/no

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Naturaleza	Escala de medición	Valor
Año		Año de publicación del artículo	Cualitativa	Politómica	año
Zirconio		Tipo de zirconio evaluado	Cualitativa	Politómica	subtipo
Tratamiento			Cualitativa	Dicotómica	SSi/no

Apéndice B. Instrumento de recolección de datos

Título	CITA	link	Año publicación	MDP vs zirconia	Pre trat	Termoci	protoec	efecto	el título identifica estudio in vitro	El resumen muestra el diseño metodológico	La introducción especifica el problema y la hipótesis	Explica en detalle como se trataron los grupos	Define los desenlaces 1º y 2º y en que momento se midieron	Indica cómo se calculó el tamaño de la muestra	Indica métodos estadísticos y son adecuados	Indica para cada grupo cuantos experimentos se realizaron	reporta tamaño del efecto o intervalos de confianza	identifica en la discusión sesgos y aplicabilidad	hace una interpretación de resultados consistentes	evidencia una fuente de financiación de los productos
--------	------	------	-----------------	-----------------	----------	---------	---------	--------	---------------------------------------	---	---	--	--	--	---	---	---	---	--	---

Apéndice C. Análisis estadístico

Análisis univariado		
Variable independiente	Naturaleza categórica	Prueba estadística
Año de publicación	Cuantitativa	Número
Zirconio	Cuantitativa	Número
Adhesión	Cuantitativa	Promedios
Pre tratamiento	Cuantitativa	Numero
Termociclado	Cuantitativa	Número y porcentajes