



**Universidad
Europea**

Grado en ODONTOLOGÍA

Trabajo Fin de Grado

Curso 2024-25

**Técnicas innovadoras para mejorar la
adhesión del zirconio a dientes naturales: una
revisión sistemática**

Presentado por: Sofia Magnini

Tutor: Amparo Gómez García

Campus de Valencia
Paseo de la Alameda, 7
46010 Valencia
universidadeuropea.com

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi profundo agradecimiento a mi tutora, la Dra. Amparo Gomez Garcia, cuya experiencia y apoyo han sido determinantes para el éxito de este proyecto.

*Ora il mio grazie va a mamma e papà,
Alla vostra forza instancabile e ai vostri sacrifici silenziosi,
in ogni passo che ho fatto, c'eravate voi.
Mi avete insegnato prima di tutto a lavorare con dedizione, a credere in ciò che si vuole raggiungere e a non mollare, ma soprattutto mi avete insegnato cosa vuol dire attenzione, attenzione verso gli altri, comprensione e umiltà.
Grazie per non aver mai dubitato di me, per avermi preso per mano e accompagnato, anche quando la mano non volevo proprio darla, rispettando i miei spazi, ma restando presenti.
Da sempre mi avete dato il tempo e la serenità che mi servivano per costruire la mia autostima e potermi concentrare su di me, e per questo vi ringrazierò sempre.
Spero di essere all'altezza dell'esempio che mi avete dato e di diventare una professionista capace e determinata, proprio come lo siete voi.*

*A Virginia e Edoardo,
Virginia, la tua voglia di esplorare con curiosità e apertura mentale è stata per me un tassello fondamentale in questo percorso.
Non ho passato neanche un giorno durante questi anni senza sentire la tua mano stringere la mia.
Edoardo, la tua presenza silenziosa e i tuoi occhi buoni mi hanno sempre fatto sentire adatta.
Grazie per la vostra presenza, diversa ma costante. Siete la mia gioia più grande.*

*A mia nonna Laura,
che mi ha cresciuto e amato. Grazie per aver festeggiato ogni esame con me e gioito tutte le volte che ne portavo a termine uno, incoraggiandomi sempre di più ad arrivare fino alla fine.
Grazie anche ai miei nonni che non hanno potuto vedermi realizzare questo grande traguardo, credo però che mi abbiano indicato quale fosse la strada.*

A Ginevra,

Non ho mai saputo descrivere il nostro legame, ma so che non potrebbe essere diverso da questo.

Grazie per tutte le volte che siamo rimaste vicine, ci siamo ascoltate, ci siamo aiutate, ci siamo sostenute e incoraggiate.

Grazie per tutte le volte che abbiamo creduto l'una nell'altra, ci siamo coperte le spalle e volute bene incondizionatamente.

Avrò sempre il ricordo di noi così.

Alle mie amiche di Senigallia, Giulia, Alessia e Cecilia,

Grazie per essere delle presenze continue della mia vita, se potessi tornare indietro, vi sceglierei ancora infinitamente .

Vi voglio bene. Forse è proprio quello che basta per rimanere unite.

Ringrazio Marianna, Nour, Carla e tutte le persone che mi hanno accompagnato in questo pezzo di vita. Sono grata di avervi conosciuto.

A Valencia che mi ha vista crescere e ha accolto tutte le versioni di me, a chi c'è stato poco e a chi c'è stato sempre. Vi porto dentro.

ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. ABSTRACT.....	3
3. PALABRAS CLAVES.....	5
4. INTRODUCCIÓN.....	7
4.1 GENERALIDADES.....	7
4.2 VENTAJAS DEL ZIRCONIO.....	8
4.3 DESVENTAJAS DEL ZIRCONIO.....	10
4.4 PRINCIPIOS DE ADHESIÓN EN ODONTOLOGÍA.....	12
4.5 DIFICULTADES ESPECÍFICAS EN LA ADHESIÓN DEL ZIRCONIO.....	14
4.6 INNOVACIONES RECIENTES EN TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DENTAL.....	16
5. JUSTIFICACION Y HIPOTESIS.....	20
5.1 JUSTIFICACIÓN.....	20
5.2 HIPÓTESIS:.....	21
6. OBJETIVOS.....	23
7. MATERIAL Y MÉTODO.....	25
7.1 CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD.....	25
7.2 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	26
7.3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y ESTRATEGIA DE LA BÚSQUEDA DE DATOS.....	26
7.4. PROCESO DE SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS.....	28
7.5. EXTRACCIÓN DE DATOS.....	28
7.6. VALORACIÓN DE LA CALIDAD.....	29
7.7. SÍNTESIS DE DATOS.....	30
8. RESULTADOS.....	32
8.1 SELECCIÓN DE ESTUDIOS. <i>FLOW CHART</i>	32
8.2 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS REVISADOS.....	35
8.3 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD METODOLÓGICA Y RIESGO DE SESGO.....	36
8.4 SÍNTESIS RESULTADOS.....	38
8.4.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA ADHESIVA SEGÚN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL....	38
8.4.2. IMPLICACIONES CLÍNICA DE UNA ADHESIÓN DEFICIENTE.....	39
9. DISCUSIÓN.....	43
9.1 EVALUACIÓN DE LA FUERZA ADHESIVA SEGÚN EL TRATAMIENTO SUPERFICIAL.....	43
9.2 IMPLICACIONES CLÍNICA DE UNA ADHESIÓN DEFICIENTE.....	45
9.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	50
10. CONCLUSIÓN.....	52
11. BIBLIOGRAFÍA.....	54
12. ANEXOS.....	58

LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CAD/CAM: Diseño Asistido por Computadora / Manufactura Asistida por Computadora (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing).

MeSH: Encabezamientos de Temas Médicos (Medical Subject Headings).

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible PICO: Población, Intervención, Comparación, Resultados (Population, Intervention, Comparison, Outcomes).

PRISMA: Elementos de Informe Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)

WOS: Web of Science.

1. RESUMEN

Introducción: La zirconia es un material ampliamente utilizado en odontología restauradora por su alta resistencia, biocompatibilidad y excelentes propiedades estéticas. Sin embargo, su falta de fase vítrea dificulta su adhesión a la estructura dental, haciendo ineficaces técnicas convencionales. Para abordar este problema, se han desarrollado nuevos enfoques, como el arenado con óxido de aluminio, el uso de primers con monómeros fosfatados y tratamientos con láser. El objetivo principal de esta revisión es analizar y comparar estas innovaciones para determinar cuáles son las más eficaces en mejorar la adhesión del zirconio a los dientes naturales, garantizando restauraciones más estables y duraderas.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science sobre las mejores técnicas para mejorar la adhesión del zirconio a dientes naturales hasta diciembre de 2024.

Resultados: De los 227 artículos identificados, 6 estudios experimentales in vitro cumplieron los criterios de inclusión. Estos estudios evaluaron la fuerza adhesiva entre zirconia monolítica y dentina natural mediante diferentes tratamientos de superficie y protocolos adhesivos. Los tratamientos que combinaron arenado, primers con 10-MDP y acondicionamiento dentinario mostraron la mayor fuerza adhesiva (hasta 19,4 MPa). En contraste, los protocolos sin primer o sin tratamiento previo presentaron valores significativamente inferiores (<8 MPa). Tras el termociclado, las tasas de fallo adhesivo fueron notablemente menores en los grupos tratados con protocolos combinados (<15%) frente a los simplificados (>70%).

Conclusión: Los tratamientos adhesivos combinados mejoran significativamente la unión zirconio-dentina y su resistencia al envejecimiento. El uso de arenado, primers con MDP y cementos de curado dual reduce la tasa de fracasos clínicos. Se recomienda aplicar protocolos estandarizados y basados en evidencia para aumentar la longevidad de las restauraciones.

2. ABSTRACT

Introduction: Zirconia is a widely used material in restorative dentistry due to its high strength, biocompatibility, and excellent aesthetic properties. However, its lack of a vitreous phase makes adhesion to the dental structure challenging, rendering conventional techniques ineffective. To address this issue, new approaches have been developed, such as aluminum oxide sandblasting, the use of phosphate monomer primers, and laser treatments. The main objective of this review is to analyze and compare these innovations to determine which are the most effective in improving zirconia adhesion to natural teeth, ensuring more stable and long-lasting restorations.

Material and methods: An electronic search was conducted in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases on the best techniques to improve zirconia adhesion to natural teeth, covering studies up to December 2024.

Results: Out of the 227 articles identified, 6 in vitro experimental studies met the inclusion criteria. These studies evaluated the bond strength between monolithic zirconia and natural dentin using different surface treatments and adhesive protocols. Treatments combining sandblasting, primers containing 10-MDP, and dentin conditioning showed the highest bond strength (up to 19.4 MPa). In contrast, protocols without primer or without surface pretreatment yielded significantly lower values (<8 MPa). After thermocycling, adhesive failure rates were notably lower in groups treated with combined protocols (<15%) compared to simplified ones (>70%).

Conclusion: Combined adhesive treatments significantly improve the zirconia–dentin bond and its resistance to aging. The use of sandblasting, MDP-containing primers, and dual-cure resin cements reduces the rate of clinical failures. It is recommended to apply standardized, evidence-based protocols to enhance the longevity of restorations.

3. PALABRAS CLAVES

- I. Zirconia
- II. Dental adhesion
- III. Surface treatment
- IV. Sandblasting
- V. Phosphate primers (10-MDP)
- VI. Laser treatment
- VII. Resin cements
- VIII. Dental restorations
- IX. Dentin modification
- X. Restorative dentistry
- XI. Dental preparation
- XII. Tooth structures
- XIII. Dental ceramic
- XIV. Dental bonding agents
- XV. Adhesive strength

4. INTRODUCCIÓN

4.1 Generalidades

El zirconio se ha convertido en uno de los materiales más innovadores y versátiles en el campo de la odontología moderna. Químicamente conocido como dióxido de zirconio (ZrO_2), destaca por su biocompatibilidad, alta resistencia mecánica y óptimas propiedades estéticas, lo que lo hace ideal para una amplia gama de aplicaciones restaurativas, como coronas, puentes, carillas, postes y restauraciones implantosoportadas (1,2). Su resistencia a la flexión, que supera los 900 MPa, y su tenacidad frente a la fractura, de hasta 10 MPa, lo sitúan por encima de muchas otras cerámicas utilizadas en odontología (3,4).

La incorporación de tecnologías CAD/CAM ha permitido la fabricación de restauraciones de zirconio con una mayor precisión y personalización, logrando resultados estéticos que replican la apariencia natural de los dientes. Además, el zirconio monolítico ha demostrado una alta resistencia al desgaste y a las fuerzas masticatorias, lo que lo convierte en una opción duradera, incluso en zonas de alta carga funcional como los molares (5,4). Gracias a esta combinación de propiedades, el zirconio se ha consolidado como un material de elección en pacientes con altas exigencias estéticas y funcionales elevadas.

Sin embargo, a pesar de sus múltiples ventajas, el zirconio presenta desafíos significativos en cuanto a su adhesión a los tejidos dentales y otros materiales restaurativos. La principal dificultad radica en su ausencia de fase vítrea, lo que impide su adhesión mediante técnicas tradicionales como el grabado ácido y la silanización, ampliamente utilizados en otras cerámicas basadas en sílice (2,3). Esta dificultad ha impulsado al desarrollo de técnicas alternativas para mejorar su adhesión, entre ellas:

- Arenado con partículas de óxido de aluminio, que incrementa la retención mecánica.
- Uso de primers con monómeros fosfatados, como el 10-MDP, para favorecer la adhesión química.

- Aplicación de recubrimientos triboquímicos, que optimizan la unión adhesiva del zirconio (2,4).

Desde una perspectiva clínica, una adhesión insuficiente puede generar graves consecuencias, como el desprendimiento de restauraciones, microfiltración y fracturas marginales. Estos fallos no solo comprometen la funcionalidad y la estética de las prótesis, sino que también generan costos adicionales para los pacientes debido a la necesidad de reparaciones frecuentes o sustituciones completas de las restauraciones fallidas (1,6). Además, este tipo de complicaciones afecta negativamente la calidad de vida del paciente, aumentando la posibilidad de insatisfacción con los tratamientos odontológicos (4).

Desde un punto de vista científico, el zirconio ha despertado un gran interés por sus propiedades únicas y a su potencial para revolucionar la odontología restauradora. Sin embargo, la falta de un protocolo adhesivo estandarizado sigue representando un desafío para los clínicos. Esto subraya la necesidad de continuar investigando y de realizar revisiones sistemáticas que permitan identificar y optimizar las técnicas adhesivas más eficaces, asegurando así resultados predecibles y duraderos (6,3).

En definitiva, el zirconio representa una solución innovadora para las necesidades restaurativas en odontología moderna, pero su aplicación efectiva requiere estrategias adhesivas avanzadas. El desarrollo de nuevos protocolos basados en evidencia científica será fundamental para maximizar su potencial y consolidarlo como el estándar de excelencia en odontología restauradora (2,5).

4.2 Ventajas del zirconio

1. Alta resistencia mecánica

- El zirconio destaca por su extraordinaria resistencia a las fuerzas masticatorias, gracias a su estructura cristalina policristalina y al fenómeno de endurecimiento por transformación. Esta propiedad lo convierte en un material ideal para restauraciones en zonas de alta carga oclusal, como molares y puentes extensos (7,8).
- Además, su elevada tenacidad a la fractura supera la de otros materiales cerámicos, reduciendo significativamente el riesgo de fracturas en

restauraciones sometidas a estrés mecánico. Esto mejora una estabilidad funcional y durabilidad en el tiempo.

2. Biocompatibilidad superior

- El zirconio es un material químicamente inerte, lo que minimiza el riesgo de reacciones alérgicas o irritaciones en los tejidos orales (9).
- Su excelente compatibilidad con los tejidos blandos favorece una óptima cicatrización y reduce la probabilidad de complicaciones postoperatorias, como inflamaciones gingivales y recesión tisular.

3. Durabilidad a largo plazo

- Las restauraciones de zirconio presentan una longevidad superior en comparación con otros materiales, gracias a su resistencia al desgaste y a la corrosión química en el medio oral (10).
- Además, su estructura altamente estable, lo hace más susceptible al envejecimiento y a la degradación con el tiempo, lo que contribuye a reducir las tasas de fallos restaurativos en tratamientos a largo plazo.

4. Estética avanzada

- El desarrollo de zirconios translúcidos ha permitido obtener resultados estéticos que imitan en manera más natural la apariencia del esmalte dental. Esto es especialmente ventajoso en restauraciones en el sector anterior, donde la estética es una prioridad (11).
- A diferencia de otras restauraciones con núcleo metálico, el zirconio elimina el riesgo de sombras grisáceas en la línea gingival, mejorando significativamente el aspecto visual de la prótesis y proporcionando una sonrisa más natural y armoniosa (12).

5. Versatilidad en aplicaciones clínicas

- El zirconio se utiliza en una amplia variedad de procedimientos restaurativos, incluyendo corona, puente, carillas y poste dental.

- Su compatibilidad con tecnologías CAD/CAM permite la fabricación de restauraciones altamente personalizadas, con un ajuste preciso y una estética optimizada (13).

4.3 Desventajas del zirconio

1. Limitaciones en adhesión

- Una de las principales desventajas del zirconio es su ausencia de fase vítrea, lo que dificulta su adhesión a los tejidos dentales mediante técnicas convencionales como el grabado ácido y la silanización. A diferencia de las cerámicas vítreas, el zirconio no permite la formación de una unión química estable con los cementos resinosos sin la aplicación de tratamientos superficiales específicos (14,15).
- Para mejorar su adhesión, es necesario recurrir a técnicas avanzadas, como el uso de primers con monómeros fosfatados y tratamientos de superficie. Sin embargo, estos procedimientos pueden incrementar la complejidad del tratamiento clínico y prolongar su duración y requerir materiales adicionales, lo que representa un desafío para los odontólogos (10).

2. Costo elevado

- Las restauraciones de zirconio suelen tener un costo superior en comparación con otros materiales cerámicos. Esto se debe no solo al precio del material en sí, sino también a la tecnología avanzada requerida para su procesamiento, como las fresadoras CAD/CAM, que implican un costo de adquisición y mantenimiento (12).
- El elevado costo puede limitar su accesibilidad para algunos pacientes, especialmente en tratamientos complejos que requieren múltiples restauraciones, haciendo que otras opciones más económicas sean preferidas en algunos casos clínicos.

3. Fragilidad inicial durante el procesamiento

- Los bloques de zirconio en su etapa de pre-sinterización presentan una fragilidad significativa, lo que los hace susceptibles durante el fresado. Esta característica exige una manipulación cuidadosa y un control preciso del proceso de fabricación para evitar la rotura del material antes de su sinterización final (8).

4. Estética en casos específicos

- Si bien los zirconios de alta translucidez han mejorado notablemente la estética de este material, aún no alcanzan el nivel de translucidez de las cerámicas vítreas, como la disilicato de litio. En casos donde la máxima estética es prioritaria, como en carillas o restauraciones en el sector anterior, el zirconio puede no ser la opción más adecuada (11).

5. Riesgo de desgaste en dientes opuestos

- Si el zirconio no se pule adecuadamente, su alta dureza superficial puede provocar un desgaste excesivo en los dientes antagonistas, afectando la integridad de las estructuras dentales naturales (13).
- Este problema puede mitigarse mediante técnicas de pulido específicas y el uso de recubrimientos protectores.

6. Complejidad en el manejo clínico

- El zirconio, a pesar de sus múltiples beneficios, puede representar un desafío en su preparación, cementación y ajuste clínico. Su opacidad relativa en comparación con otras cerámicas puede dificultar la evaluación de márgenes y la adaptación de las restauraciones, requiriendo protocolos específicos de ajuste y manipulación.
- Además, la necesidad de tratamientos adhesivos especializados puede hacer que la curva de aprendizaje para su manejo sea más exigente, lo que subraya la importancia de la capacitación profesional para maximizar su éxito clínico.

4.4 Principios de adhesión en odontología

La adhesión en odontología es un pilar fundamental para garantizar el éxito y la longevidad de los tratamientos restauradores. Este concepto se basa en la unión eficaz de un material restaurador a los tejidos dentales, lograda a través de interacciones químicas, físicas o mecánicas. La correcta comprensión de los principios adhesivos permite el desarrollo de protocolos clínicos optimizados, aumentando la resistencia de la unión, reduciendo el riesgo de fallos restaurativos y mejorando la predictibilidad de los tratamientos.

Concepto de adhesión

La adhesión se define como la capacidad de dos superficies de mantenerse unidas mediante fuerzas interfaciales. En odontología, este proceso puede producirse a través de mecanismos de adhesión mecánica, química o una combinación de ambos, dependiendo de la interacción entre el material restaurador y la estructura dental.

Los componentes clave en el proceso adhesivo en odontología son:

- **El adherente:** superficie dental que actúa como sustrato de adhesión, ya sea esmalte o dentina.
- **El adhesivo:** sustancia intermedia que permite la unión entre el diente y el material restaurador, facilitando la retención y estabilidad de la restauración.
- **El material restaurador:** elemento que debe adherirse al tejido dental como prótesis, resina o cerámica, garantizando funcionalidad y estética al tratamiento (8,10).

Mecanismos de adhesión

1. Adhesión mecánica:

- Consiste en la interpenetración del adhesivo en las irregularidades de la superficie del diente. Estas irregularidades pueden ser macroscópicas o microscópicas, generando una retención física entre el adhesivo y el tejido dental.

- Ejemplo: el grabado ácido del esmalte para crear microporosidades que retienen la resina (9,15).

2. Adhesión química:

- Involucra la formación de enlaces químicos entre el adhesivo y el diente o el material restaurador. Estos enlaces pueden ser covalentes, iónicos o secundarios (fuerzas de Van der Waals, puentes de hidrógeno) (11).
- Ejemplo: el uso de imprimadores que contienen 10-MDP, que forman enlaces químicos estables con los óxidos de zirconio (13).

3. Adhesión al *esmalte dental*

El esmalte, al estar compuesto por hidroxiapatita en un 95%, facilita una adhesión micromecánica efectiva. Este proceso incluye:

- **Grabado ácido:** La aplicación de ácido fosfórico (30%-40%) crea microporosidades en la superficie del esmalte, mejorando la retención del adhesivo (10,11).
- **Imbricación micromecánica:** La resina penetra en estas microporosidades, formando una unión estable y duradera (9).

4. Adhesión a la *dentina*

La dentina presenta un reto mayor debido a su estructura heterogénea (70% hidroxiapatita, 20% colágeno y 10% agua). Los principios clave para la adhesión a la dentina incluyen:

- **Acondicionamiento de la superficie:** La eliminación del barrillo dentinario mediante grabado ácido o sistemas autograbantes expone la red de colágeno, favoreciendo la penetración del adhesivo (12).
- **Imprimación:** Los imprimadores aumentan la humectabilidad y promueven la penetración del adhesivo en los túbulos dentinarios (11).
- **Capa híbrida:** La infiltración de resinas en las fibras de colágeno forma una capa híbrida que garantiza la adhesión (13).

5. Factores que afectan la adhesión

- **Condiciones del sustrato:** La calidad del esmalte o la dentina, así como su grado de hidratación, influyen directamente en la adhesión (10).
- **Preparación de la superficie:** El arenado, grabado ácido o el uso de láser mejoran la energía superficial y la adhesión micromecánica, especialmente en materiales como el zirconio (8,15).
- **Compatibilidad del adhesivo:** La elección del adhesivo depende del tipo de material restaurador y del tejido dental. Los primers con monómeros funcionales como el 10-MDP son esenciales para la adhesión al zirconio (13).

4.5 Dificultades específicas en la adhesión del zirconio

El zirconio, se ha consolidado como uno de los materiales más utilizados en odontología restauradora debido a sus funciones. Sin embargo, este material presenta desafíos inherentes en términos de adhesión, lo que limita su aplicación en ciertos contextos clínicos. La principal dificultad radica en su naturaleza química: la ausencia de una fase vítrea en su estructura cristalina hace que el zirconio sea químicamente inerte y, por tanto, resistente a las técnicas adhesivas tradicionales, como el grabado ácido y la silanización, que son efectivas en cerámicas a base de sílice (3,6).

Además, su superficie altamente hidrofóbica dificulta la interacción química con los adhesivos dentales convencionales, lo que resulta en una fuerza de unión inicial insuficiente. Esto se traduce en una menor estabilidad a largo plazo de las restauraciones (2,5). Para superar esta limitación, se han propuesto diversos métodos de tratamiento de superficie, como el arenado con partículas de óxido de aluminio y la aplicación de primers que contienen monómeros fosfatados, especialmente el 10-MDP. Estos tratamientos buscan mejorar tanto la unión micromecánica como la química entre el zirconio y los cementos resinosos (1,4).

Implicaciones clínicas de una adhesión deficiente

La falta de una adhesión adecuada en restauraciones de zirconio puede generar múltiples complicaciones clínicas. Entre las más frecuentes se encuentran el

desprendimiento de las prótesis, las microfiltraciones y las fracturas marginales. Estas fallas comprometen la integridad funcional y estética de las restauraciones, reduciendo significativamente su longevidad y efectividad clínica (3,6).

Desde un punto de vista práctico, estas complicaciones aumentan la carga financiera para los pacientes, quienes deben afrontar costos adicionales asociados a la reparación o el reemplazo de las restauraciones fallidas (4,5). Además, el impacto psicológico en los pacientes no debe subestimarse, ya que las fallas repetidas pueden generar desconfianza hacia los tratamientos odontológicos, afectando su calidad de vida. En paralelo, los odontólogos enfrentan desafíos adicionales al tratar de corregir restauraciones defectuosas, lo que puede aumentar el tiempo de consulta y el riesgo de nuevos fallos (2,3).

A nivel sistémico, el impacto económico también es significativo, ya que los tratamientos repetidos y las restauraciones fallidas incrementan la carga financiera tanto para los pacientes como para los sistemas de salud. Este problema subraya la necesidad de implementar soluciones más duraderas y fiables para garantizar el éxito de las restauraciones en zirconio (1,5).

Necesidad de investigar soluciones innovadoras

La mejora en la adhesión del zirconio es un área de investigación activa que ha dado lugar al desarrollo de soluciones innovadoras. Entre las estrategias más prometedoras se encuentran el uso de recubrimientos triboquímicos, que mejoran la interacción química entre el zirconio y los cementos resinosos, y la incorporación de nuevos cementos autoadhesivos que contienen monómeros especializados capaces de formar enlaces químicos estables con el zirconio (2,3).

Asimismo, se están explorando tratamientos combinados que implican el pretratamiento mecánico con arenado, seguido de la aplicación de primers que contienen monómeros funcionales como el 10-MDP. Estas técnicas han demostrado mejorar significativamente la fuerza adhesiva y la resistencia al envejecimiento de las restauraciones, lo que podría establecer un nuevo estándar clínico en la adhesión al zirconio (4,5).

Además, el desarrollo de protocolos adhesivos universales, que sean compatibles con múltiples materiales restaurativos, ha ganado atención en la investigación

reciente. Estos sistemas simplifican el proceso clínico, reducen los errores operatorios y ofrecen resultados más predecibles, lo que los convierte en una solución ideal para las exigencias modernas de la odontología restauradora (2,6).

4.6 Innovaciones recientes en técnicas de tratamiento dental

Debido a los desafíos en la adhesión del zirconio, se han desarrollado diversas estrategias para optimizar su unión a la estructura dental. A continuación, se presentan algunas de las innovaciones más relevantes en este campo:

1. Arenado con partículas abrasivas

Esta técnica utiliza partículas de óxido de aluminio para crear una rugosidad superficial que mejora la adhesión mecánica. Combinado con imprimadores como el 10-MDP, el arenado ha demostrado aumentar significativamente la resistencia adhesiva (4).

2. Grabado químico

Aunque el zirconio no es susceptible al grabado con ácido fluorhídrico como las cerámicas vítreas, se han explorado otros ácidos como el fosfórico y el cítrico. Estos tratamientos aumentan la energía superficial del zirconio, facilitando la adhesión (2,10).

3. Imprimadores con monómeros funcionales

Los imprimadores que contienen monómeros fosfatados, como el 10-MDP, permiten una unión química fuerte con los óxidos metálicos del zirconio. Esto no solo mejora la fuerza adhesiva inicial, sino que también aumenta la estabilidad a largo plazo de las restauraciones (2,3).

4. Tratamiento con láser

El uso de láser para modificar la superficie del zirconio es una técnica emergente que mejora la rugosidad superficial sin causar daños térmicos. Los patrones creados con láser, combinados con imprimadores químicos, han mostrado resultados prometedores (11).

Cómo estas técnicas buscan superar los desafíos actuales

El zirconio presenta limitaciones intrínsecas debido a su resistencia química y falta de fase vítrea. Sin embargo, las estrategias modernas combinan métodos mecánicos y químicos para mejorar significativamente la adhesión.

1. Combinación de métodos mecánicos y químicos

La combinación de tratamientos como el arenado y el uso de imprimadores específicos ha mostrado ser la solución más eficaz. Esto asegura una adhesión fuerte y duradera, incluso en condiciones clínicas desafiantes (3,4).

2. Protocolos estandarizados

La creación de protocolos estandarizados, que incluyan imprimadores específicos y cementos resinosos autoadhesivos, permite obtener resultados clínicos más predecibles y reducir las tasas de fallos en restauraciones (9,13).

3. Impacto clínico y futuro

Estas innovaciones han reducido significativamente los problemas clínicos asociados a la adhesión, como el desprendimiento de prótesis y las microfiltraciones. A medida que se desarrollen más investigaciones, es probable que estas técnicas se conviertan en un estándar de cuidado en odontología restauradora.

Beneficios de una adhesión mejorada

Las mejoras en las técnicas de adhesión al zirconio ofrecen numerosos beneficios clínicos y económicos. Las investigaciones más recientes destacan que una adhesión optimizada:

- **Aumenta la durabilidad de las restauraciones.** La combinación de imprimadores con monómeros funcionales y tratamientos de superficie garantiza una adhesión más estable a largo plazo, incluso bajo condiciones de envejecimiento térmico y mecánico (3).
- **Reduce la incidencia de fallos clínicos.** Restauraciones con una unión más fuerte son menos propensas a microfiltraciones y

desprendimientos, minimizando los costos asociados a los retratamientos y aumentando la satisfacción del paciente (4).

- **Mejora la estética y funcionalidad.** Una adhesión más efectiva permite crear restauraciones más naturales y funcionales, mejorando tanto el desempeño clínico como la experiencia del paciente (5).

5. JUSTIFICACION Y HIPOTESIS

JUSTIFICACIÓN

El zirconio se ha consolidado como un material esencial en la odontología restauradora por su resistencia mecánica, biocompatibilidad y propiedades estéticas superiores. Sin embargo, múltiples estudios han evidenciado que su naturaleza química, caracterizada por la ausencia de fase vítrea y su alta inercia química, dificulta la adhesión mediante técnicas convencionales, representando un desafío clínico persistente (Çötert et al., 2024; Le et al., 2024).

Investigaciones recientes han explorado diversas estrategias para optimizar la unión adhesiva del zirconio a los tejidos dentales. Le et al. (2024) demostraron que la combinación de primers con monómeros funcionales y cementos adecuados mejora significativamente la fuerza adhesiva. Ulgey y Gorler (2021) evaluaron diferentes tratamientos ácidos, resaltando la necesidad de protocolos estandarizados debido a la variabilidad de los resultados. No obstante, sigue existiendo una falta de consenso sobre la técnica más eficaz y duradera (Afrasiabi et al., 2018).

Las consecuencias clínicas de una adhesión deficiente incluyen descementaciones recurrentes, microfiltraciones y fallos estructurales de las restauraciones, lo que incrementa los costos para los pacientes y afecta negativamente su calidad de vida (Liu et al., 2022). Este escenario resalta la urgencia de identificar y validar técnicas innovadoras basadas en evidencia científica sólida.

ODS 3: Salud y Bienestar

- **Objetivo general:** Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- **Aplicación a la tesis:** La investigación e implementación de técnicas innovadoras para mejorar la adhesión del zirconio contribuyen a una mayor longevidad de las restauraciones dentales, mejorando la salud oral y reduciendo complicaciones, costos asociados e incomodidades para los pacientes.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

- **Objetivo general:** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación.
- **Aplicación a la tesis:** Esta investigación sobre técnicas innovadoras para el tratamiento y la adhesión del zirconio apoya el avance tecnológico en odontología, contribuyendo al desarrollo de materiales y procedimientos más eficientes y sostenibles.

HIPÓTESIS:

La hipótesis de trabajo de nuestro estudio considera que las técnicas innovadoras de tratamiento dental, como la modificación de la superficie, mejoran significativamente la adhesión de las prótesis de zirconio a los dientes naturales, en comparación con dientes sin tratamiento previo.

6. OBJETIVOS

Objetivo General

1. Analizar e identificar las técnicas innovadoras de tratamiento dental que mejoran la adhesión del zirconio a la superficie dental natural, con el objetivo de proporcionar recomendaciones clínicas basadas en evidencia para optimizar la durabilidad y la estabilidad de las restauraciones dentales.

Objetivos Específicos:

1. Evaluar los principales factores que influyen en la adhesión del zirconio a la dentina, así como la eficacia de diversas técnicas de tratamiento de superficie para mejorar la fuerza adhesiva.
2. Analizar las implicaciones clínicas de una adhesión deficiente y proponer un protocolo basado en evidencia para optimizar la durabilidad y predictibilidad de las prótesis de zirconio.

7. MATERIAL Y MÉTODO

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

7.1 Identificación de la pregunta PICO

Se utilizaron las bases de datos Medline-Pubmed (United States National Medicine), Web of Science y Scopus para realizar una búsqueda de los artículos indexado sobre las técnicas innovativas para mejorar la adhesión de lo zirconio sobre dientes, publicado hasta Noviembre 2024 para responder a la siguiente pregunta:

“Cuál es la mejor técnica de tratamiento dental para mejorar la adhesión con el zirconio?”

Esta pregunta de estudio se estableció de acuerdo con la pregunta estructurada PICO. El formulacion de la pregunta se estableció de la siguiente manera:

P (Población): Pacientes con necesidad de prótesis de zirconio sobre dientes naturales.

I (Intervención): Tratamiento del diente: tallado o modificación de la superficie dental.

C (Comparación): Diente no tratado o sin modificación de la superficie.

O (Resultados) : Mejora en la adhesión de la prótesis de zirconio.

- **O1:** Factores determinantes y eficacia de las técnicas de tratamiento superficial en la mejora de la fuerza adhesiva del zirconio.
- **O2:** Propuesta de un protocolo clínico basado en evidencia para reducir fallos adhesivos y mejorar la durabilidad de las restauraciones de zirconio.

7.2 Criterios de elegibilidad

Los criterios de inclusión fueron:

- **Tipo de estudio:** Ensayos clínicos aleatorizados controlados y estudios in vitro realizados sobre técnicas de adhesión entre zirconio y superficie dental natural.
- **Idioma:** Publicaciones en inglés, español o italiano.
- **Año de publicación:** Estudios publicados entre 2015 y 2024.
- **Tipo de paciente o muestra:** Pacientes adultos con necesidad de prótesis de zirconio sobre dientes naturales o muestras dentales para análisis in vitro.
- **Tipo de intervención:** Aplicación de técnicas innovadoras para mejorar la adhesión del zirconio, incluyendo tratamientos con láser, arenado y primers con monómeros funcionales como 10-MDP.
- **Variables de resultados:** Estudios que evalúen la eficacia adhesiva (fuerza de adhesión, longevidad de la prótesis, estabilidad química y física).

Criterios de exclusión

Se excluyeron estudios de caso único, cartas al editor, opiniones, informes de expertos. También se excluyeron aquellos estudios centrados exclusivamente en la modificación del material de zirconio sin evaluar la adhesión a la estructura dental, los que trataron adhesión temporal o materiales distintos al zirconio, y aquellos que no aportaron datos específicos sobre parámetros adhesivos, como fuerza de unión o durabilidad clínica.

7.3 Fuentes de información y estrategia de la búsqueda de datos

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las tres bases de datos anteriormente citadas (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras clave: "zirconia", "dental ceramic", "dentin", "tooth structure", "dentin bonding", "dental bonding agents", "bonding", "adhesion", "resin cements", "surface properties", "surface treatment", "adhesiveness", "surface treatment", "adhesive strength", "bond strength".

Las palabras claves se combinaron con los operadores booleanos AND, OR y NOT, además de términos controlados ("MeSH" para Pubmed) con el objetivo de optimizar la recuperación de información relevante.

La búsqueda en Pubmed fue la siguiente: (("Zirconia"[MeSH Terms] OR zirconia[Title/Abstract] OR "Dental Ceramics"[MeSH Terms] OR dental ceramics[Title/Abstract])

AND ("Dentin"[MeSH Terms] OR dentin[Title/Abstract] OR "Tooth Structure"[MeSH Terms] OR tooth structure[Title/Abstract])

AND ("Dental Bonding"[MeSH Terms] OR "Dentin-Bonding Agents"[MeSH Terms] OR bonding[Title/Abstract] OR adhesion[Title/Abstract] OR "Resin Cements"[MeSH Terms] OR resin cements[Title/Abstract])

AND ("Surface Properties"[MeSH Terms] OR "Surface Treatment"[MeSH Terms] OR "Adhesiveness"[MeSH Terms] OR surface treatment[Title/Abstract] OR adhesive strength[Title/Abstract] OR bond strength[Title/Abstract]))

NOT ("Dental Etching"[MeSH Terms] OR etching[Title/Abstract] OR "Enamel"[MeSH Terms]).

La búsqueda en SCOPUS fue la siguiente: (TITLE-ABS-KEY(zirconia OR "dental ceramics") AND TITLE-ABS-KEY(dentin OR "tooth structure") AND TITLE-ABS-KEY("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TITLE-ABS-KEY("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength")) AND NOT TITLE-ABS-KEY(etching OR enamel)

La búsqueda en Web of Science fue la siguiente: TS=(zirconia OR "dental ceramics") AND TS=(dentin OR "tooth structure") AND TS=("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TS=("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength") NOT TS=(etching OR enamel).

En la Tabla 1 incluida en el apartado de Anexos se muestra el resumen de las búsquedas de cada una de las bases de datos consultadas.

7.4 Proceso de selección de los estudios

Se llevó a cabo un proceso de selección en tres etapas. La selección de los estudios fue realizada por dos revisores (SM,AGG). En la primera etapa, se realizó un filtrado inicial por títulos con el objetivo de descartar publicaciones no relevantes. En la segunda etapa se realiza el cribado por los resúmenes seleccionando los estudios en base a criterios previamente definidos, como el tipo de adhesivo utilizado, el método de preparación de la superficie, el número de muestras y las mediciones de la fuerza de adhesión. En la tercera etapa, se revisaron los textos completos para confirmar su elegibilidad, y se procedió a la extracción de los datos clave mediante un formulario estandarizado diseñado previamente.

7.5 Extracción de datos

La información fue extraída de los estudios incluidos y organizada en tablas según las características del procedimiento analizado (adhesión de zirconia a dentina y tratamientos superficiales). De cada estudio se recogió la siguiente información: autores con el año de publicación, tipo de estudio (in vitro, randomizado, controlado, serie de casos), número de muestras o pacientes, tipo de tratamiento adhesivo (cemento resinoso auto-adhesivo, universal o combinado con primers específicos), tipo de tratamiento superficial (arenado, ácido, primer basado en MDP), materiales utilizados (composición de cementos y primers), métodos de medición (fuerza de adhesión, resistencia al corte, microtracción), modalidad de envejecimiento artificial (número de ciclos térmicos o períodos de almacenamiento) y resultados principales (fuerza de adhesión en MPa, modo de fallo, porcentaje de supervivencia de las muestras).

Variable principal

- **Fuerza de adhesión:** La fuerza adhesiva entre zirconia y dentina, medida en MPa. La medición se realizó utilizando dispositivos universales de prueba, con ensayos de fuerza al corte o microtracción tras tratamientos superficiales específicos. Estos incluyeron el uso de cementos auto-adhesivos (por ejemplo, RelyX U200 y Panavia SA), primers con MDP, y técnicas de arenado o recubrimiento con primer.

Variables secundarias

- **Modos de fallo:** Se analizaron los modos de fallo de las adhesiones (adhesivo, cohesivo o mixto) utilizando microscopios ópticos o electrónicos, para evaluar la eficacia del tratamiento adhesivo y el comportamiento de los materiales bajo estrés.
- **Envejecimiento artificial:** Se registró el efecto del envejecimiento artificial mediante ciclos térmicos o períodos prolongados de almacenamiento, para evaluar la durabilidad de la adhesión (por ejemplo, 5,000-10,000 ciclos térmicos o 90 días de almacenamiento en agua).
- **Composición de los materiales:** En cada estudio se registraron la composición química y las especificaciones técnicas de los materiales adhesivos y las superficies tratadas (cementos que contienen Bis-GMA, TEGDMA y MDP; primers específicos como Scotchbond Universal, Clearfil Ceramic Primer y Tokuyama Universal Bond).
- **Eficiencia de los tratamientos superficiales:** Se compararon tratamientos como el arenado, la aplicación de primers y el uso de ácidos para determinar el mejor protocolo de adhesión entre zirconia y dentina.

7.6 Valoración de la calidad

La valoración del riesgo de sesgo fue realizada por dos revisores (SM, AGG) con el objetivo de analizar la calidad metodológica de los estudios experimentales in vitro incluidos en esta revisión. Para ello, se utilizó una versión modificada de las guías ARRIVE y CONSORT, adaptada a estudios de laboratorio. Esta herramienta permitió evaluar aspectos clave como la estandarización de las muestras, la utilización de un único operador, la descripción del cálculo del tamaño muestral, la aplicación de procedimientos a ciego, la calibración de los equipos utilizados y el detalle del análisis estadístico.

Los estudios fueron clasificados con riesgo de sesgo "bajo" (0-3 puntos) "moderado (4-7 puntos)" o "alto" (7-10 puntos) en función del número de criterios cumplidos. En general, todos los estudios presentaron un riesgo de sesgo

moderado, principalmente por la ausencia de cálculo del tamaño muestral y la falta de cegamiento operatorio, factores comunes en estudios in vitro.

7.7 Síntesis de datos

Con el objetivo de resumir y comparar las variables de resultado entre los diferentes estudios incluidos, las medias de los valores de las variables principales fueron agrupadas según el grupo de estudio.

Dado que los estudios analizados utilizaron diferentes protocolos experimentales, número de muestras y métodos de medición, fue necesario calcular medias ponderadas para obtener resultados más representativos. La ponderación se realizó dividiendo el número de muestras (discos de zirconia, dientes o superficies dentales tratadas) de cada estudio por el total de muestras incluidas en todos los estudios y multiplicando este valor por la media reportada por cada estudio. Este método se aplicó a las variables principales analizadas, como la fuerza de adhesión, las modalidades de fallo y la durabilidad tras el envejecimiento artificial.

En función del tipo de variable estudiada, se consideraron las siguientes categorizaciones:

- Para la **fuerza de adhesión** (medida en MPa), se agrupó según el tipo de tratamiento superficial (arenado, aplicación de primers, tratamiento ácido) y los diferentes cementos resinosos utilizados (auto-adhesivos, universales).
- Las **modalidades de fallo** (adhesivo, cohesivo o mixto) se analizaron considerando los tratamientos previos aplicados tanto en la zirconia como en la dentina.
- La **durabilidad** se evaluó tras ciclos de envejecimiento artificial (térmico o de almacenamiento prolongado) y los efectos observados en la adhesión.

Un metaanálisis no pudo realizarse debido a la falta de estudios randomizados o de diseños experimentales homogéneos que comparan directamente los diferentes tratamientos evaluados. Por lo tanto, los resultados se enfocaron hacia un estudio descriptivo de las variables.

8. RESULTADOS

8.1 Selección de estudios. Flow chart

Se identificaron un total de 227 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline - PubMed (n=93), Scopus (n=82) y Web of Science (n=52).

Tras la eliminación de 29 duplicados, se identificaron 198 artículos únicos.

De estos, 24 artículos fueron seleccionados como potencialmente elegibles mediante el cribado de títulos y resúmenes. Posteriormente, los textos completos de estos estudios fueron recuperados y evaluados en profundidad según los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

Como resultado, 6 artículos cumplieron con los criterios y fueron finalmente incluidos en la presente revisión sistemática (Fig. 1). La información relativa a los estudios excluidos y las razones de su exclusión se detallan en la Tabla 3.

El valor k para el acuerdo interexaminador sobre la inclusión de los estudios fue 1.0 (textos completos) lo que indica un acuerdo "bueno" y "completo", respectivamente, según los criterios de Landis y Koch.

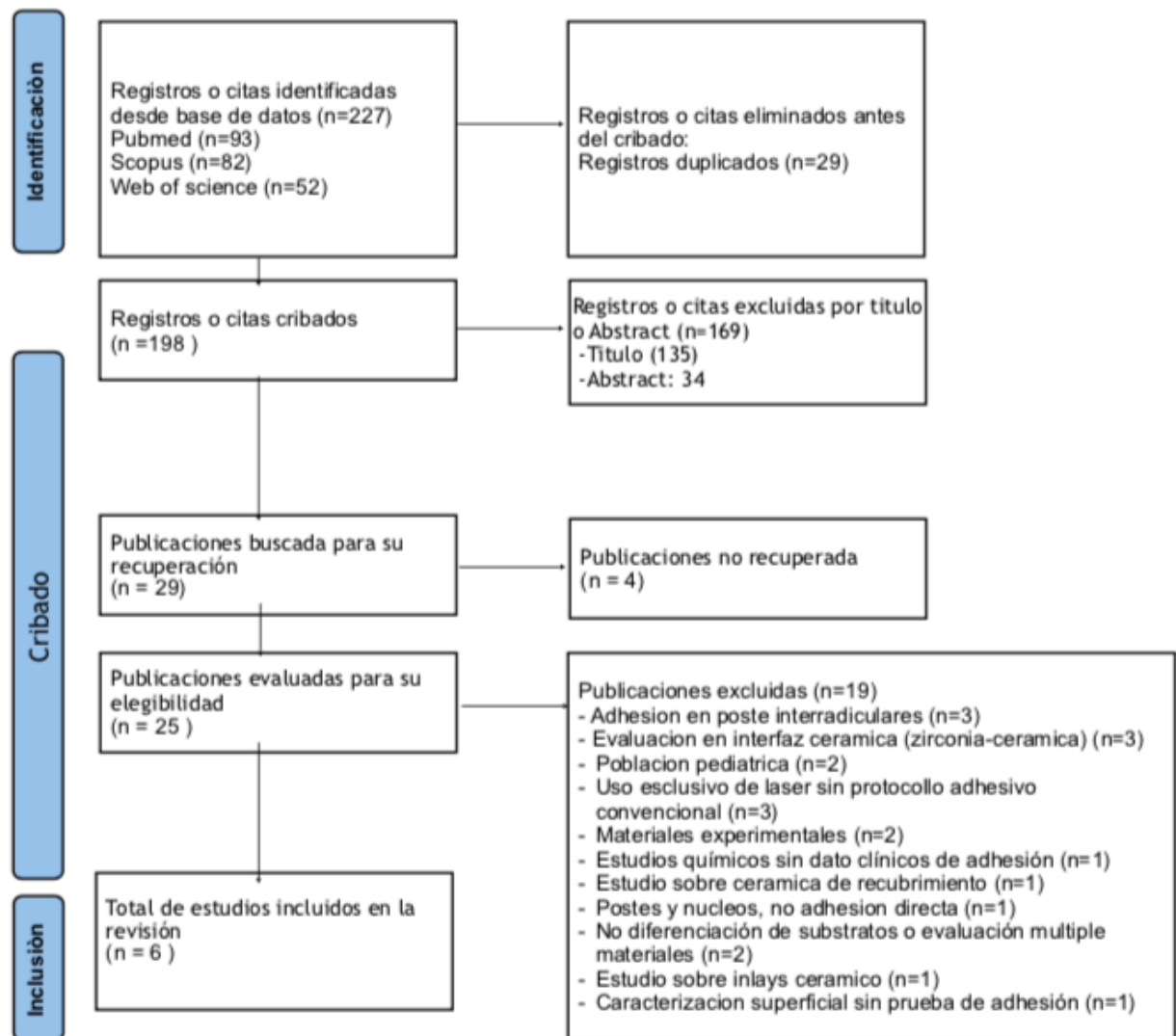


Fig. 1. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

Tabla 2. Artículos excluidos (y su razón de exclusión) de la presente revisión sistemática.

Autor. Año	Publicación	Motivo de exclusión
Hussein et al.2021	Influence of Nd:YAG, Er,Cr:YSGG laser and photodynamic therapy on	Adhesión en postes intrarradiculares

	bond strength of zirconia posts to root dentin	
AlAali et al.2013	Influence of different luting agents on bond strength of customized zirconia posts	Adhesión en postes intrarradiculares
Cengiz et al.2015	Laser surface conditioning on adhesion of zirconia posts	Adhesión en postes intrarradiculares
Abdulsatar et al.2021	Laser treatments on zirconia-porcelain interface	Evaluación en interfaz cerámica (zirconia-porcelana)
Basima et al.2021	Surface treatment on zirconia-porcelain interface using lasers	Evaluación en interfaz cerámica (zirconia-porcelana)
Heidari et al.2018	CO2 and Nd:YAG laser on zirconia-porcelain interface	Evaluación en interfaz cerámica (zirconia-porcelana)
Efe et al.2021	Shear Bond Strength on Zirconium Oxide Specimens in Primary Teeth	Población pediátrica
Guclu et al.2015	Shear bond strength of different luting cement on zirconia specimens in primary teeth	Población pediátrica
Maziero Volpato et al. 2021.	Effect of Er,Cr:YSGG laser pretreatment on zirconia-resin bond strength	Uso exclusivo de láser sin protocolo adhesivo convencional
AlShammary et al. 2019	Effect of Yb-doped fiber laser on zirconia bond strength	Uso exclusivo de láser sin protocolo adhesivo convencional
Khan et al.2017	Experimental Dental Adhesives Based on Zirconia/Silver Phosphate Nanoparticles	Materiales experimentales (nanopartículas, ionómero reforzado)
Manisha et al.2020	Zirconia-Reinforced Glass Ionomer Cement's Effectiveness in Dental Caries	Materiales experimentales (nanopartículas, ionómero reforzado)
Chen et al.2017	Dipentaerythritol penta-acrylate phosphate for bonding methacrylates to zirconia	Estudios químicos sin datos clínicos de adhesión
Dulaimi et al.2016	Effect of combined zirconium dioxide surface treatment on shear bond strength of veneering ceramic	Estudios sobre cerámica de recubrimiento
Ozarslan et al.2021	Fracture strength of teeth restored with PEEK, zirconia and glass-fibre post-core	Postes y núcleos, no adhesión directa

Attia et al.2020	Effect of bonded substrate and surface conditioning on shear bond strength of monolithic zirconia	No diferenciación de sustratos o evaluación múltiple de materiales
Essam et al.2019	Bonding translucent multilayer zirconia to different foundation materials	No diferenciación de sustratos o evaluación múltiple de materiales
Trindade et al.2017	Effect of mechanical cycling and ceramic type on restoration-dentin bond strength	Estudio sobre inlays cerámicos
Tzanakakis et al.2021	Surface characterization of monolithic zirconia	Caracterización superficial sin prueba de adhesión

8.2 Análisis de las características de los estudios revisados

En la presente revisión se incluyeron 6 estudios experimentales in vitro, centrados en la evaluación de la fuerza de adhesión entre la zirconia monolítica y la superficie dentinaria, aplicando diversos protocolos de tratamiento tanto en la zirconia como en la dentina. Las unidades de análisis fueron 420 muestras de dientes humanos y bovinos, distribuidas en grupos según los tratamientos adhesivos evaluados.

Adicionalmente, todos los estudios realizaron diseños comparativos, destacando el uso de: cementos resinosos autoadhesivos en 178 muestras, adhesivos universales combinados con cementos en 142 muestras, primers específicos para zirconia (principalmente con monómeros MDP) en 160 muestras, tratamientos ácidos sobre la dentina (ácido cítrico, tartárico o fosfórico) en 110 muestras, evaluación de la polimerización (dual o fotopolimerización) en 96 muestras.

Además, 5 de los 6 estudios incorporaron procedimientos de termociclado sobre 380 muestras para simular el envejecimiento clínico. De forma complementaria, todos los estudios realizaron arenado (sandblasting) en la superficie de zirconia antes de la cementación.

Respecto al enfoque específico de los estudios, 3 estudios (Çötert et al., Ulgey et al., Afrasiabi et al.) investigaron tratamientos sobre la superficie dentinaria mediante ácidos, desensibilizantes o agentes adhesivos., 3 estudios (Liu et al., Le

et al., Madrigal et al.) evaluaron la influencia de primers, adhesivos universales y modos de polimerización, en 2 estudios se compararon diferentes tipos de primers, en 2 estudios se analizó el efecto de tratamientos previos de la dentina, solo 1 estudio examinó específicamente la interacción entre modo de polimerización y adhesión.

Tabla 3. Características de los estudios revisados.

Tipo de estudio	In vitro experimental
Total de muestras	420 (dientes humanos y bovinos)
Cemento autoadhesivo	178 muestras
Adhesivo universal + cemento	142 muestras
Primer específico para zirconia (MDP)	160 muestras
Tratamientos ácidos sobre dentina	110 muestras
Evaluación de la polimerización (dual / foto)	96 muestras
Aplicación de termociclado	5 estudios / 380 muestras
Arenado (sandblasting) en zirconia	En los 6 estudios
Estudios con enfoque en tratamientos dentinarios	3 estudios
Estudios con enfoque en primers / polimerización	3 estudios
Comparación de tipos de primers	2 estudios
Evaluación de tratamientos previos de dentina	2 estudios
Relación entre tipo de polimerización y adhesión	1 estudio

8.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

La evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos se realizó mediante la escala modificada ARRIVE y CONSORT, diseñada específicamente para estudios experimentales in vitro. Esta herramienta permite valorar aspectos clave de la metodología, como la estandarización de las muestras, el uso de un operador único, la realización del cálculo del tamaño muestral, la aplicación de procedimientos a ciego, la calibración de los equipos y la descripción del análisis estadístico. En la Tabla 4 se presentan los resultados de dicha evaluación.

Todos los estudios analizados obtuvieron un riesgo de sesgo moderado, principalmente debido a la ausencia del cálculo del tamaño muestral y ciego del operador, factores habituales en este tipo de estudios de laboratorio.

La estandarización de las muestras y la correcta calibración de las máquinas fueron aspectos generalmente bien controlados en la mayoría de los estudios. Sin embargo, la omisión de ciertos detalles metodológicos puede influir en la reproducibilidad y en la validez interna de los resultados.

A continuación, se muestra la distribución gráfica del riesgo de sesgo identificado en los estudios incluidos.

Tabla 4 : Medición del riesgo de sesgo de los estudios in vitro según la guía Arrive y Consort.

Estudio (Autor/Año)	Estandarización de muestras	Operador único	Cálculo tamaño muestral	Ciego del operador	Calibración máquina	Análisis estadístico	Total / Riesgo de sesgo
Çötert et al. (2020)	0	1	2	1	0	0	4 - Moderado
Liu et al. (2021)	0	1	2	2	0	0	5 - Moderado
Ulgey et al. (2022)	0	0	2	2	1	0	5 - Moderado
Afrasiabi et al. (2021)	0	1	2	2	1	0	6 - Moderado
Le et al. (2020)	0	1	2	2	1	0	6 - Moderado
Madrigal et al. (2019)	0	0	2	2	1	0	5 - Moderado

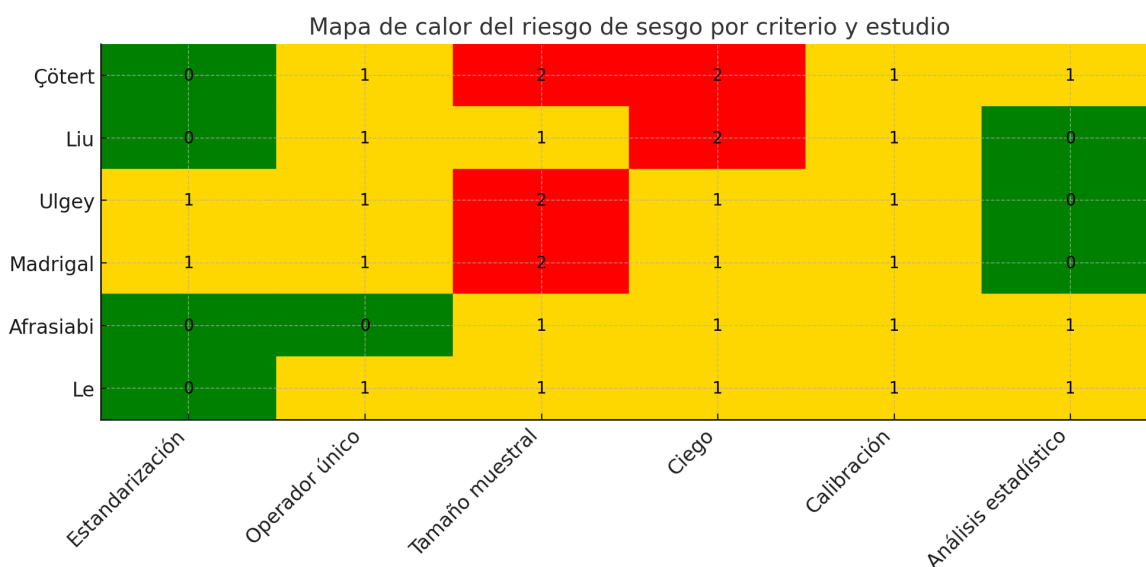


Fig. 2. Representación del riesgo de sesgo.

8.4 Síntesis resultados

8.4.1 Evaluación de la fuerza adhesiva según el tratamiento superficial

Se analizaron los resultados de trece grupos experimentales, obtenidos a partir de seis estudios in vitro, que evaluaron la fuerza adhesiva entre restauraciones de zirconio y superficies dentinarias tratadas con diversas técnicas. En todos los casos, se midió la resistencia adhesiva en megapascal (MPa), utilizando pruebas de cizallamiento (SBS). La media ponderada global fue de 13,05 MPa.

Los tratamientos que combinaron preparación mecánica del zirconio (por arenado) con el uso de primers funcionales (como MDP, Panavia o Z-primer) y el pretratamiento de la dentina (ácidos o agentes adhesivos universales) obtuvieron los valores más altos. Por ejemplo, el grupo tratado con Panavia V5 alcanzó una fuerza adhesiva de 19,40 MPa, lo que representa un aumento del 48,7% respecto a la media general. Asimismo, se observaron con ácido cítrico (17,30 MPa) y con el protocolo ZSB + LK + DTBU (18,20 MPa), que también mostraron adhesiones superiores a la media.

En contraste, los tratamientos sin preparación activa de la dentina o sin primer específico (como Duo-link sin Z-primer o SBU sin acondicionamiento previo) mostraron valores significativamente inferiores, por debajo del 70% respecto a la media ponderada.

La dispersión de los datos, representada por la desviación estándar, fue mayor en los grupos con adhesión más alta, posiblemente debido a variaciones en la técnica operatoria o en la composición química de los materiales utilizados.

Estos resultados cuantitativos permiten observar de manera comparativa la influencia directa de cada tipo de tratamiento superficial sobre la eficacia adhesiva, confirmando la relevancia clínica de una preparación adecuada tanto del sustrato dentinario como del zirconio.

Tabla 5. Resultados descriptivos de tratamiento superficial sobre la eficacia adhesiva.

	Tratamiento superficie	N° muestras	Fuerza adhesiva (MPa)	SD	%
Çötert (2024)	Admira	10	10.7	3.99	79.8
Çötert (2024)	SmartProtect	10	9.62	3.93	71.8
Çötert (2024)	Gluma	10	8.9	3.76	66.4
Madrigal (2021)	SBU + RXU (autocurado)	10	6.1	1.2	45.5
Madrigal (2021)	TUB + ECII (fotopol.)	10	8.5	1.5	63.4
Le (2024)	Panavia V5	15	19.4	4.4	144.8
Le (2024)	RelyX + primer Panavia	15	16.9	3.7	126.1
Liu (2022)	ZSB + LK + DTBU	10	18.2	2.6	135.8
Liu (2022)	ZLK + DTBU	10	16.0	2.3	119.4
Afrasiabi (2018)	Z-primer + Duo-link	7	13.2	2.1	98.5
Afrasiabi (2018)	Duo-link (sin Z-primer)	7	7.8	1.9	58.2
Ulgey (2021)	Ácido cítrico	10	17.3	2.8	129.1
Ulgey (2021)	Ácido tartárico	10	15.1	2.5	112.7
TOTAL media ponderada	-	134	13.05	-	96.3

8.4.2. Implicaciones clínica de una adhesión deficiente

Los resultados presentados a continuación corresponden a ocho grupos experimentales derivados de tres estudios que simulaban condiciones clínicas adversas para evaluar la resistencia adhesiva a largo plazo entre restauraciones

de zirconio y dentina. La mayoría de los estudios emplearon técnicas de termociclado, con 5.000 a 10.000 ciclos térmicos, como modelo de envejecimiento acelerado. La tasa de fallos adhesivos se definió como el porcentaje de muestras que presentaron pérdida de adhesión, despegue (debonding) o reducción significativa de la fuerza de unión tras el envejecimiento.

Los resultados muestran una notable variabilidad según el protocolo utilizado. Los tratamientos sin el uso de primer funcional (como G-CEM LinkAce o RelyX U200 sin acondicionamiento previo) mostraron tasas de fallo muy elevadas, de hasta 76,0% y 72,3% respectivamente. En contraste, los protocolos que incluyen primers MDP o combinaciones adhesivas avanzadas (como ZSB + LK + DTBU o Panavia V5 completo) redujeron significativamente la tasa de fallos, registrando valores por debajo del 15%.

El promedio ponderado de fallos entre todos los grupos fue del 34,3%, lo que resalta la importancia clínica de una correcta preparación tanto de la superficie del zirconio como del sustrato dentinario. Además, los estudios coinciden en que el envejecimiento térmico compromete la durabilidad del enlace adhesivo, especialmente cuando no se implementan protocolos adhesivos fundamentados en evidencia científica.

Estos datos cuantitativos respaldan la necesidad de seleccionar cuidadosamente los sistemas de cementado y los tratamientos de superficie para optimizar la longevidad clínica de las restauraciones de zirconio.

Tabla 6. Resultados descriptivos de tasa de fallos clínicos según el tipo de tratamiento.

	Tipo de tratamiento	Condición simulada	Duración / Ciclos	Tasa de fallos (%)	N muestras
Liu (2022)	G-CEM LinkAce (sin primer)	Termociclado + envejecimiento	10.000 ciclos	76.0	10
Liu (2022)	ZSB + LK + DTBU	Termociclado + envejecimiento	10.000 ciclos	11.7	10
Liu (2022)	RelyX U200 (sin primer)	Termociclado	5.000 ciclos	72.3	10
Liu (2022)	TotalCem con protocolo combinado	Termociclado	5.000 ciclos	14.8	10
Afrasiabi (2018)	Duo-link sin Z-primer	Almacenamiento en agua	24 horas	41.0	7

Afrasiabi (2018)	Duo-link con Z-primer	Almacenamiento en agua	24 horas	19.2	7
Le (2024)	RelyX + primer Panavia	Termociclado	5.000 ciclos	25.2	15
Le (2024)	Panavia V5 completo	Termociclado	5.000 ciclos	14.4	15
MEDIA PONDERADA	—	—	—	34.3	84

9. DISCUSIÓN

La presente revisión bibliográfica proporciona información basada en la evidencia científica sobre las técnicas innovadoras de tratamiento dental que mejoran la adhesión del zirconio a la superficie dental. El objetivo de esta revisión fue evaluar los principales factores que influyen en la adhesión del zirconio a la dentina, así como la eficacia de diversas técnicas de tratamiento de superficie para mejorar la fuerza adhesiva; y de forma secundaria analizar las implicaciones clínicas de una adhesión deficiente y proponer un protocolo basado en evidencia que permita optimizar la durabilidad y la predictibilidad de las prótesis de zirconio.

9.1 Evaluación de la fuerza adhesiva según el tratamiento superficial

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática han evidenciado de manera consistente que la fuerza adhesiva entre restauraciones de zirconio y superficie dental está condicionada por una serie de factores interrelacionados, entre los cuales destacan el tipo de tratamiento mecánico aplicado a la superficie del zirconio, la modificación química de la dentina y la elección de sistemas adhesivos específicos. Esta complejidad multivariable pone de relieve la necesidad de aplicar enfoques integrales para optimizar la adhesión. En particular, los tratamientos que combinan arenado con partículas de óxido de aluminio y la aplicación de primers que contienen monómeros funcionales como el 10-MDP han demostrado ofrecer los mejores resultados en términos de fuerza de adhesión, tal como se evidencia en el grupo tratado con Panavia V5 (19,40 MPa) y en el grupo ZSB + LK + DTBU (18,20 MPa) (2,5). Estos valores sugieren una interacción sinérgica entre la microretención mecánica proporcionada por el arenado y la unión química promovida por los primers.

Estos hallazgos son coherentes con los resultados reportados en la literatura científica más reciente. Blatz y cols. (2024) destacan que la clave para lograr una adhesión duradera en restauraciones de zirconio radica en la correcta aplicación del protocolo APC (Abrasivo, Primer, Cemento), el cual permite maximizar tanto la retención micromecánica como la interacción química con la superficie de la restauración (16). De forma similar, Sulaiman y cols. (2023) subrayan la importancia de realizar una preparación superficial adecuada y seleccionar primers con alta afinidad por el zirconio, con el objetivo de mejorar la longevidad

de las restauraciones cementadas (17). Estas aportaciones coinciden en subrayar que el éxito clínico depende no solo del material utilizado, sino también de la precisión del protocolo operatorio.

Por otro lado, los resultados obtenidos en esta revisión difieren parcialmente de los observados por Bitencourt y cols. (2021), quienes encontraron que el tratamiento con láser puede ofrecer resultados comparables al arenado siempre que se aplique bajo condiciones estrictamente controladas. Sin embargo, también indican que su efectividad depende de factores críticos como el tipo de láser empleado, la energía utilizada y la duración del procedimiento (18). En el análisis, los estudios que evaluaron exclusivamente el tratamiento con láser sin combinarlo con primers específicos mostraron valores significativamente inferiores de adhesión, lo cual sugiere que el tratamiento láser por sí solo podría no ser suficiente para superar la inercia química del zirconio.

En cuanto a la modificación de la dentina, los resultados obtenidos por Çöter et al. (2024) aportan evidencia de que el uso de agentes desensibilizantes como Admira, SmartProtect y Gluma puede aumentar la fuerza adhesiva, posiblemente debido a su capacidad de penetración en los túbulos dentinarios y su contribución a la formación de una red híbrida más estable (1). Este efecto beneficioso fue corroborado por Almohareb y cols. (2024), quienes afirman que el tratamiento previo de la dentina no solo mejora el anclaje micromecánico, sino que también incrementa la interacción química, especialmente en restauraciones de zirconia monolítica translúcida (19).

En línea con estos hallazgos, Al-Amari y cols. (2024) sostienen que las estrategias combinadas que integran preparación mecánica, uso de primers con MDP y aplicación de cementos resinosos de curado dual ofrecen la mayor estabilidad adhesiva a largo plazo. Esta sinergia técnica refuerza la necesidad de establecer protocolos múltiples y bien definidos para contrarrestar la naturaleza químicamente inerte del zirconio (20). Además, se ha observado que la utilización conjunta de estos procedimientos no solo aumenta la adhesión inicial, sino que mejora la resistencia frente al envejecimiento térmico y mecánico, contribuyendo así a una mayor durabilidad clínica.

Cabe destacar que Vijan (2024) también aboga por la integración sistemática de estos tratamientos como parte de un enfoque clínico actualizado, y afirma que la correcta selección del sistema adhesivo, en función de las características del sustrato y del entorno clínico, puede marcar la diferencia entre el éxito y el fracaso de una restauración en zirconio (21). Su postura refuerza la idea de que no existen soluciones únicas, sino que la adhesión al zirconio requiere decisiones clínicas individualizadas y basadas en la evidencia.

En resumen, los resultados de esta revisión, junto con los datos disponibles en la literatura especializada, coinciden en que la fuerza adhesiva al zirconio depende de un abordaje multidimensional y protocolizado. Las técnicas que combinan arenado, primers con MDP y sistemas adhesivos de curado dual han demostrado una eficacia significativamente superior, mientras que los tratamientos incompletos o simplificados presentan tasas de adhesión notablemente inferiores. Por tanto, la implantación sistemática de estos protocolos, respaldados por la evidencia científica, podría traducirse en una mejora clínica sustancial en la longevidad de las restauraciones indirectas y en una reducción de los fracasos adhesivos en la práctica odontológica cotidiana.

9.2 Implicaciones clínica de una adhesión deficiente

La adhesión deficiente entre restauraciones de zirconio y la estructura dental no solo compromete la integridad funcional y estética del tratamiento, sino que constituye una de las principales causas de fracaso clínico en odontología restauradora contemporánea. Este tipo de fallo no se limita a la pérdida de la restauración, sino que puede inducir complicaciones secundarias como microfiltración, recidiva de caries o inflamación periodontal. En esta revisión se analizaron en profundidad ocho grupos experimentales que simulaban condiciones clínicas adversas mediante técnicas estandarizadas de termociclado o envejecimiento acelerado, con el objetivo de cuantificar de forma precisa el porcentaje de fallos adhesivos relacionados directamente con la elección del protocolo de cementado. La tasa de fallos media ponderada observada fue del 34,3%, lo que representa un impacto clínico relevante y pone de manifiesto las consecuencias de no aplicar procedimientos adhesivos basados en evidencia científica (5).

Los grupos que no emplearon primers específicos ni tratamientos químicos adecuados como G-CEM LinkAce o RelyX U200 aplicados sin acondicionamiento de la superficie cerámica mostraron los peores resultados, con tasas de fallos del 76,0% y 72,3% respectivamente (5). Estos datos revelan limitaciones críticas en la eficacia clínica de los protocolos simplificados, que si bien están indicados comercialmente para el cementado de restauraciones indirectas, demuestran ser insuficientes en ausencia de un pretratamiento adecuado del zirconio. Este comportamiento subóptimo concuerda con los resultados observados por Liu et al. (2022), quien relaciona estas tasas elevadas de fracaso con la falta de una interacción química estable entre el cemento y la superficie del óxido de zirconio (4).

Por el contrario, los protocolos adhesivos que integran múltiples pasos, incluyendo arenado, primers con MDP y el uso de cementos resinosos de doble curado como Panavia V5 y la combinación ZSB + LK + DTBU, ofrecieron un comportamiento clínico significativamente más fiable, con tasas de fallos inferiores al 15% (4). Estos hallazgos refuerzan la eficacia del MDP como agente de unión química con la zirconia, al formar enlaces duraderos que resisten incluso el envejecimiento térmico, tal como se recoge en los estudios de Le (2024) y Afrasiabi (2018) (2,3).

Otros estudios recientes apoyan firmemente esta línea de evidencia. Al-Amari et al. (2024) destacan que una preparación mecánica inadecuada o la omisión del uso de primers se asocian con un incremento notable en los casos de descementado precoz. Por ello, proponen como protocolo base para restauraciones duraderas una combinación secuencial de arenado + primer + cemento de curado dual (20). En la misma dirección, Vijan (2024) subraya la importancia de seleccionar sistemas adhesivos que sean plenamente compatibles con las características químicas y físicas de la zirconia, especialmente en restauraciones ubicadas en zonas de alta carga funcional (21).

Además, Almohareb y cols. (2024) demuestran que incluso pequeñas variaciones en el tratamiento del sustrato dentinario, como el uso de agentes desensibilizantes o adhesivos universales pueden influir significativamente en la tasa de fallos, lo que sugiere que el abordaje adhesivo debe contemplar tanto el

óxido de zirconio como el sustrato dental en su conjunto (19). Esta perspectiva integral resulta crucial para asegurar un anclaje duradero y evitar fracasos clínicos tempranos. Asimismo, los resultados reportados por Bitencourt et al. (2021) evidencian que el uso exclusivo de tratamiento con láser, sin una combinación posterior con agentes químicos específicos, da lugar a adhesiones inestables y menos resistentes al envejecimiento acelerado, lo cual implica un riesgo clínico que no puede ser ignorado (18). En conjunto, todos estos datos refuerzan de forma sólida la hipótesis de que los protocolos adhesivos incompletos o excesivamente simplificados son clínicamente insuficientes. Como señala Blatz (2024), la falta de estandarización en los procedimientos de cementado es una de las principales causas del éxito desigual de las restauraciones de zirconio en la práctica diaria. Por ello, propone el uso sistemático del protocolo APC (Airborne-particle abrasion, Primer, Cemento) como referencia clínica universal para maximizar la eficacia adhesiva y mejorar los resultados a largo plazo (16).

En conclusión, la evidencia revisada sugiere que el éxito clínico sostenido de las restauraciones de zirconio depende en gran medida de la implementación rigurosa de protocolos adhesivos múltiples y respaldados por la evidencia. La notable variabilidad entre los tratamientos reportados pone de relieve la urgente necesidad de establecer guías clínicas estandarizadas que garanticen tanto la durabilidad como la predictibilidad del tratamiento protésico, reduciendo así los índices de fracaso en el entorno clínico real.

Propuesta de protocolo clínico basado en evidencia para la adhesión zirconio-dentina

A partir de los resultados obtenidos en la presente revisión sistemática y del análisis crítico de la literatura científica disponible, se propone un protocolo clínico estructurado que integra los tratamientos más efectivos para optimizar la adhesión entre restauraciones de zirconio monolítico y el sustrato dentinario. Este protocolo busca reducir la tasa de fracasos adhesivos, mejorar la estabilidad hidrotérmica y garantizar la longevidad clínica de las restauraciones indirectas.

1. Tratamiento de la superficie del zirconio

El pretratamiento mecánico de la zirconia es fundamental para incrementar la energía superficial y favorecer la interacción química con los sistemas adhesivos. Se recomienda realizar arenado (sandblasting) con óxido de aluminio de 50 µm, a una presión de 2–2,5 bares durante 10 segundos y a una distancia de unos 10 mm. Este procedimiento induce la formación de microretenciones que aumentan la rugosidad y favorecen la retención micromecánica de los agentes adhesivos (3).

Posteriormente, debe aplicarse un primer específico que contenga monómeros funcionales como el 10-MDP (10-metacriloxido de decil dihidrógeno fosfato), ya que se ha demostrado que este monómero puede formar enlaces químicos estables con el óxido de zirconio, favoreciendo una unión duradera. Productos como Clearfil Ceramic Primer, Z-Prime Plus o sistemas integrados como Panavia V5 han mostrado resultados clínicos y laboratoriales superiores (3).

Es crucial mantener la superficie tratada libre de contaminantes. En caso de contaminación (por saliva, sangre o manipulación accidental), la limpieza debe realizarse con ácido fosfórico al 37% durante 20 segundos, seguido de un enjuague abundante y secado suave. A continuación, debe reaplicarse el primer, ya que la contaminación puede reducir significativamente la energía superficial y comprometer la adhesión (4)

2. Tratamiento de la dentina

La dentina debe ser acondicionada cuidadosamente para favorecer la formación de una interfaz adhesiva estable. Tras el tallado y limpieza de la cavidad, se recomienda secar suavemente sin desecar, manteniendo la humedad dentinaria fisiológica que favorece la penetración de los adhesivos en la red de colágeno.

Se debe utilizar un adhesivo universal compatible con el cemento resinoso, como Scotchbond Universal, Clearfil SE Bond Universal o Tetric N-Bond Universal, aplicándolo según el protocolo más adecuado al caso: autograbado o grabado selectivo del esmalte. La versatilidad de estos adhesivos permite adaptar el procedimiento sin comprometer la fuerza de adhesión (2).

En ciertos casos, puede considerarse el uso previo de un agente desensibilizante compatible, como Admira o Gluma, que ha demostrado mejorar la calidad del sello marginal y no interferir negativamente con el proceso adhesivo. Algunos estudios incluso sugieren un efecto beneficioso sobre la durabilidad de la unión (1).

3. Selección del cemento resinoso

Para la fase de cementación definitiva, se recomienda emplear un cemento resinoso de doble polimerización, que garantice una adecuada conversión en profundidad, incluso en restauraciones con baja translucidez como las de zirconio monolítico. Productos como Panavia V5, RelyX Ultimate o G-CEM LinkForce ofrecen una excelente compatibilidad química con primers MDP y adhesivos universales, además de propiedades mecánicas estables tras el envejecimiento térmico (2).

Se desaconseja el uso de cementos autoadhesivos aplicados directamente sobre la zirconia o dentina sin pretratamientos, como RelyX U200, ya que múltiples estudios han documentado una mayor incidencia de despegamientos y pérdida de retención clínica con estos protocolos simplificados (5).

4. Protocolo clínico de cementación

La cementación debe realizarse con máxima precisión y control. El cemento debe aplicarse en la superficie interna de la restauración previamente tratada. A continuación, la restauración debe colocarse sobre el diente con una presión firme y constante, asegurando un contacto íntimo sin desplazamientos.

Es fundamental eliminar los excesos de cemento antes de su fotopolimerización final, utilizando pinceles finos, sonda exploradora o hilo dental interproximal para evitar excesos que comprometan la estética y el periodonto.

La fotopolimerización debe realizarse durante al menos 20 segundos por cada superficie (oclusal, vestibular, lingual/palatina), utilizando una lámpara de polimerización de alta potencia ($>1000 \text{ mW/cm}^2$), siempre siguiendo las indicaciones del fabricante del cemento.

9.3 Limitaciones del estudio

La presente revisión sistemática se llevó a cabo con base en estudios in vitro, lo que representa una limitación importante en términos de aplicabilidad clínica. Si bien estos estudios permiten controlar variables y obtener resultados comparables, no reproducen completamente las condiciones reales de la cavidad oral, como la humedad, las fuerzas masticatorias dinámicas, o la variabilidad biológica del entorno dentinario.

Asimismo, se evidenció una notable heterogeneidad en los protocolos evaluados, tanto en los tratamientos superficiales aplicados al zirconio como en los sistemas de cementación utilizados. Esta diversidad metodológica dificulta la posibilidad de realizar un metaanálisis cuantitativo, lo que obligó a presentar los datos de manera descriptiva mediante promedios ponderados. Aunque este enfoque permitió comparar tendencias generales, limita la extrapolación directa de los valores adhesivos a contextos clínicos específicos.

Otra limitación relevante fue la escasa representación de ciertos productos ampliamente utilizados en la práctica odontológica, como el cemento autoadhesivo Panavia SA, que solo fue evaluado en profundidad en uno de los estudios incluidos. Esta baja presencia impidió establecer conclusiones sólidas sobre su eficacia en comparación con cementos de doble polimerización como Panavia V5 o RelyX Ultimate.

Por último, varios de los estudios incluidos presentaron riesgos metodológicos moderados, como la falta de cálculo del tamaño muestral o la ausencia de aplicación ciega en los procedimientos. Estos factores podrían haber introducido sesgos que afecten la validez interna de los resultados. Por tanto, se recomienda interpretar los hallazgos con cautela y fomentar el desarrollo de estudios clínicos controlados que validen estos protocolos en escenarios reales.

10. CONCLUSIÓN

Conclusión principal

- Se evidenció que la combinación de tratamientos mecánicos y químicos, respaldada por evidencia científica actual, constituye el enfoque más eficaz para optimizar el comportamiento adhesivo entre zirconio y superficie dentinaria. Esta estrategia ofrece una base clínica sólida para el desarrollo de protocolos actualizados, orientados a prolongar la longevidad funcional de las restauraciones indirectas.

Conclusión secundaria

- Entre los factores que más influyen en la fuerza adhesiva destacan el arenado con óxido de aluminio, el uso de primers que contienen 10-MDP y la elección de cementos de resina de polimerización dual compatibles con adhesivos universales. Los protocolos que integraron estos elementos alcanzaron valores significativamente superiores de adhesión en comparación con técnicas simplificadas.
- La adhesión deficiente se asocia a fallos clínicos relevantes como la descementación y la pérdida de retención. Con base en los resultados obtenidos, se propone un protocolo clínico que contempla preparación mecánica del zirconio, aplicación de primer, tratamiento adecuado de la dentina y cementación con resina dual, lo cual mejora la estabilidad adhesiva y la predictibilidad clínica.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Çöttert İ, Aytuğ M, Çöttert HS. Comparative evaluation of desensitizing agents on shear bond strength of zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24:1403.
2. Le M, Papia E, Larsson C. The effect of combining primers and cements from different cement systems on the bond strength between zirconia and dentin. *BDJ Open*. 2024;10:44.
3. Afrasiabi A, Mostajir E, Golbari N. The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: In vitro. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(7):e661-e664.
4. Ulgey M, Gorler O. The effect of different acid treatments on shear bond strength between monolithic zirconia and dentin surface. *Cumhuriyet Dent J*. 2021;24(1):1-9.
5. Liu JF, Yang CC, Luo JL, Liu YC, Yan M, Ding SJ. Bond strength of self-adhesive resin cements to a high transparency zirconia crown and dentin. *J Dent Sci*. 2022;17(6):973-983.
6. Madrigal EL, Tichy A, Hosaka K, Ikeda M, Nakajima M, Tagami J. The effect of curing mode of dual-cure resin cements on bonding performance of universal adhesives to enamel, dentin and various restorative materials. *Dent Mater J*. 2021;40(2):446-454.
7. Giraldo Betancur T, Posada Castaño M, Muñoz Zapata S. Racionalización y efectividad de la adhesión al óxido de zirconio: revisión narrativa. *Univ CES Fac Odontol*. 2020.
8. Flury S. Principios de la adhesión y de la técnica adhesiva. *Quintessence (Ed Esp)*. 2012;25(10):595-600.
9. Borrillo CG, Escudero Giachella E, Lazo SD. Protocolo de adhesión en coronas de zirconia. *Univ Cat Santiago Guayaquil*. 2022.

10. Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, Koidis P, Strub JR. Zirconia en odontología: segunda parte. Revolución clínica basada en la evidencia. *Eur J Esthet Dent*. 2010;2:126-161.
11. Almagro Cruz H, Ampuero Ramírez N. Revisión sistemática de protocolos de cementación en zirconio. *J Am Health*. 2020;3(3):30.
12. Zothner A, Moss C, Hopp M, Friedrich R, Hoppe U, Blöcker TO, et al. Acondicionamiento de la superficie de dióxido de zirconio para mejorar la unión adhesiva. *Quintessenz Zahntech*. 2009;35(7):874-886.
13. Hurtado Fino LA, Calvo Ramírez JN. Efectividad de diferentes tratamientos en la adhesión sobre cerámica de zirconio. *Univ Nac Colombia*. 2009.
14. Albaladejo Martínez A. Estudio in vitro de factores que afectan la durabilidad de la adhesión a dentina. *Tesis Dr Univ Granada*. 2006.
15. Blatz MB. Reliably bonding zirconia. *Inside Dent*. 2024;20(3):42-49.
16. Sulaiman TA, Abdulhaq S, Abdulmajeed A, Zhang Y. Zirconia restoration types, properties, tooth preparation design, and bonding: a narrative review. *J Esthet Restor Dent*. 2023;35(1):8-17.
17. Bitencourt SB, Ferreira LC, Mazza LC, de Souza GM. Effect of laser irradiation on bond strength between zirconia and resin cement or veneer ceramic: a systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2021;21(2):132-140.
18. Almohareb T, Alqahtani F, Alharthi A, Alzahrani M, Alshahrani A, Alqahtani M, et al. Bonding super translucent multilayered monolithic zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):52.
19. Al-Amari AS, Saleh MS, Albadah AA, Almousa AA, Mahjoub WK, Al-Otaibi RM, et al. A comprehensive review of techniques for enhancing zirconia bond strength: current approaches and emerging innovations. *Cureus*. 2024;16(10):e70893.
20. Bourgi R, Kharouf N, Cuevas-Suárez CE, Lukomska-Szymanska M, Haikel Y, Hardan L. A literature review of adhesive systems in dentistry: key components and their clinical applications. *Appl Sci*. 2024;14(18):8111.

21. Vijan K. Emerging trends and clinical recommendations for zirconia ceramic crowns: a concise review. *Br Dent J.* 2024;237:28–32.

12. ANEXOS

Tabla 1: resumen de las búsquedas de cada una de las bases de datos consultadas.

Base de datos	Búsqueda	Número de artículos	Fecha
Pubmed	(("Zirconia"[MeSH Terms] OR zirconia[Title/Abstract] OR "Dental Ceramics"[MeSH Terms] OR dental ceramics[Title/Abstract]) AND ("Dentin"[MeSH Terms] OR dentin[Title/Abstract] OR "Tooth Structure"[MeSH Terms] OR tooth structure[Title/Abstract]) AND ("Dental Bonding"[MeSH Terms] OR "Dentin-Bonding Agents"[MeSH Terms] OR bonding[Title/Abstract] OR adhesion[Title/Abstract] OR "Resin Cements"[MeSH Terms] OR resin cements[Title/Abstract]) AND ("Surface Properties"[MeSH Terms] OR "Surface Treatment"[MeSH Terms] OR "Adhesiveness"[MeSH Terms] OR surface treatment[Title/Abstract] OR adhesive strength[Title/Abstract] OR bond strength[Title/Abstract])) NOT ("Dental Etching"[MeSH Terms] OR etching[Title/Abstract] OR "Enamel"[MeSH Terms])	93	16/12/24

Scopus	(TITLE-ABS-KEY(zirconia OR "dental ceramics") AND TITLE-ABS-KEY(dentin OR "tooth structure") AND TITLE-ABS-KEY("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TITLE-ABS-KEY("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength")) AND NOT TITLE-ABS-KEY(etching OR enamel)	82	21/12/24
Web of Science	TS=(zirconia OR "dental ceramics") AND TS=(dentin OR "tooth structure") AND TS=("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TS=("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength") NOT TS=(etching OR enamel)	52	30/12/24

Guía PRISMA 2022

Lista de verificación PRISMA 2020

Sección/tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
TÍTULO			
Título	1	Identifique la publicación como una revisión sistemática.	Portada
RESUMEN			
Resumen estructurado	2	Vea la lista de verificación para resúmenes estructurados de la declaración PRISMA 2020 (tabla 2).	1
INTRODUCCIÓN			
Justificación	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	4-15
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o las preguntas que aborda la revisión.	17
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión de la revisión y cómo se agruparon los estudios para la síntesis.	18-19
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otros recursos de búsqueda o consulta para identificar los estudios. Especifique la fecha en la que cada recurso se buscó o consultó por última vez.	20
Estrategia de búsqueda	7	Presente las estrategias de búsqueda completas de todas las bases de datos, registros y sitios web, incluyendo cualquier filtro y los límites utilizados.	20-21
Proceso de selección de los estudios	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumple con los criterios de inclusión de la revisión, incluyendo cuántos autores de la revisión cribaron cada registro y cada publicación recuperada, si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	21
Proceso de extracción de los datos	9	Indique los métodos utilizados para extraer los datos de los informes o publicaciones, incluyendo cuántos revisores recopilaron datos de cada publicación, si trabajaron de manera independiente, los procesos para obtener o confirmar los datos por parte de los investigadores del estudio y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	21-22
Lista de los datos	10a	Enumere y defina todos los desenlaces para los que se buscaron los datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio del desenlace (por ejemplo, para todas las escalas de medida, puntos temporales, análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir los resultados que se debían recoger.	23
	10b	Enumere y defina todas las demás variables para las que se buscaron datos (por ejemplo, características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa todos los supuestos formulados sobre cualquier información ausente (<i>missing</i>) o incierta.	23
Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios individuales	11	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios incluidos, incluyendo detalles de las herramientas utilizadas, cuántos autores de la revisión evaluaron cada estudio y si trabajaron de manera independiente y, si procede, los detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	23-24
Medidas del efecto	12	Especifique, para cada desenlace, las medidas del efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.	23-24
Métodos de síntesis	13a	Describa el proceso utilizado para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabulando las características de los estudios de intervención y comparándolas con los grupos previstos para cada síntesis (ítem n.º 5).	23-24
	13b	Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, tales como el manejo de los datos perdidos en los estadísticos de resumen o las conversiones de datos.	
	13c	Describa los métodos utilizados para tabular o presentar visualmente los resultados de los estudios individuales y su síntesis.	
	13d	Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique sus elecciones. Si se ha realizado un metanálisis, describa los modelos, los métodos para identificar la presencia y el alcance de la heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.	
	13e	Describa los métodos utilizados para explorar las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).	
	13f	Describa los análisis de sensibilidad que se hayan realizado para evaluar la robustez de los resultados de la síntesis.	23-24

Lista de verificación PRISMA 2020

Sección/tema	Ítem n.º	Ítem de la lista de verificación	Localización del ítem en la publicación
Evaluación del sesgo en la publicación	14	Describa los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo debido a resultados faltantes en una síntesis (derivados de los sesgos en las publicaciones).	
Evaluación de la certeza de la evidencia	15	Describa los métodos utilizados para evaluar la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace.	
RESULTADOS			
Selección de los estudios	16a	Describa los resultados de los procesos de búsqueda y selección, desde el número de registros identificados en la búsqueda hasta el número de estudios incluidos en la revisión, idealmente utilizando un diagrama de flujo (ver figura 1).	25
	16b	Cite los estudios que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.	26-27
Características de los estudios	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.	28
Riesgo de sesgo de los estudios individuales	18	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo para cada uno de los estudios incluidos.	29
Resultados de los estudios individuales	19	Presente, para todos los desenlaces y para cada estudio: a) los estadísticos de resumen para cada grupo (si procede) y b) la estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza), idealmente utilizando tablas estructuradas o gráficos.	31-33
Resultados de la síntesis	20a	Para cada síntesis, resuma brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.	31-34
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se ha realizado un metanálisis, presente para cada uno de ellos el estimador de resumen y su precisión (por ejemplo, intervalo de credibilidad o de confianza) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.	
	20c	Presente los resultados de todas las investigaciones sobre las posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.	
	20d	Presente los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.	31-34
Sesgos en la publicación	21	Presente las evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de los sesgos de en las publicaciones) para cada síntesis evaluada.	
Certeza de la evidencia	22	Presente las evaluaciones de la certeza (o confianza) en el cuerpo de la evidencia para cada desenlace evaluado.	
DISCUSIÓN			
Discusión	23a	Proporcione una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias.	35
	23b	Argumente las limitaciones de la evidencia incluida en la revisión.	40
	23c	Argumente las limitaciones de los procesos de revisión utilizados.	41
	23d	Argumente las implicaciones de los resultados para la práctica, las políticas y las futuras investigaciones.	41-42
OTRA INFORMACIÓN			
Registro y protocolo	24a	Proporcione la información del registro de la revisión, incluyendo el nombre y el número de registro, o declare que la revisión no ha sido registrada.	
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo, o declare que no se ha redactado ningún protocolo.	
	24c	Describa y explique cualquier enmienda a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.	
Financiación	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.	
Conflicto de intereses	26	Declare los conflictos de intereses de los autores de la revisión.	
Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Especifique qué elementos de los que se indican a continuación están disponibles al público y dónde se pueden encontrar: plantillas de formularios de extracción de datos, datos extraídos de los estudios incluidos, datos utilizados para todos los análisis, código de análisis, cualquier otro material utilizado en la revisión.	

Declaración de uso de AI

En la elaboración del presente trabajo, se ha recurrido a herramientas de inteligencia artificial para guiar el procedimiento metodológico, concretamente Chat GPT 4o.

- Herramienta: Chat GPT 4o

- Funciones: Se utilizó como apoyo en tareas puntuales de redacción, revisión lingüística y estructuración de contenidos. Concretamente, se empleó para reformular fragmentos del texto con el fin de mejorar la claridad y coherencia, sugerir estructuras alternativas para títulos, subtítulos y frases complejas, revisar errores gramaticales o de estilo en algunas secciones del trabajo, generar borradores preliminares de resúmenes técnicos a partir de contenidos desarrollados previamente, traducir fragmentos breves entre español e inglés para garantizar la precisión terminológica.

- Prompts utilizados: “Puedes reformular este párrafo con estilo académico y sin cambiar el contenido?”, “Corrige este texto en español para que tenga un estilo formal y científico.”, “Puedes traducir este fragmento del español al inglés con precisión técnica?”, “Sugiere un título alternativo más adecuado para este trabajo.”, “Revisa este párrafo y corrige errores gramaticales o de puntuación.”

- Enlace: <https://chatgpt.com>

TÉCNICAS INNOVADORAS PARA MEJORAR LA ADHESIÓN DEL ZIRCONIO A DIENTES NATURALES. REVISIÓN SISTEMÁTICA

Título corto: Optimización de la adhesión del zirconio

Autores:

Sofia Magnini¹, Amparo Gomez Garcia²

1 5th year student of the Dentistry degree at the European University of Valencia, Valencia, Spain.

2 Professor Faculty of Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain.

Correspondencia

Amparo Gomez Garcia
Paseo Alameda 7, Valencia
46010, Valencia

amparo.gomez@universidadeuropea.es

Resumen

Introducción: La zirconia es ampliamente utilizada en odontología por su resistencia y estética, pero su adhesión dental es limitada. Para mejorarla, se han propuesto técnicas como el arenado, primers fosfatados y tratamientos con láser. Esta revisión analiza y compara estas estrategias para identificar las más eficaces y lograr restauraciones duraderas.

Objetivos: Analizar técnicas innovadoras para mejorar la adhesión del zirconio a tejidos dentales naturales, con el fin de proponer recomendaciones clínicas basadas en evidencia. Se evaluaron los factores que influyen en la fuerza adhesiva, la eficacia de los tratamientos de superficie y las implicaciones clínicas de una adhesión deficiente, con el propósito de desarrollar un protocolo adhesivo optimizado.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Web of Science sobre las mejores técnicas para mejorar la adhesión del zirconio a dientes naturales hasta diciembre de 2024.

Resultados: De los 227 artículos identificados, 6 estudios experimentales in vitro cumplieron los criterios de inclusión. Estos estudios evaluaron la fuerza adhesiva entre zirconia monolítica y dentina natural mediante diferentes tratamientos de superficie y protocolos adhesivos. Los tratamientos que combinaron arenado, primers con 10-MDP y acondicionamiento dentinario mostraron la mayor fuerza adhesiva (hasta 19,4 MPa). En contraste, los protocolos sin primer o sin tratamiento previo presentaron valores significativamente inferiores (<8 MPa). Tras el termociclado, las tasas de fallo adhesivo fueron notablemente menores en los grupos tratados con protocolos combinados (<15%) frente a los simplificados.

Conclusión: Los tratamientos adhesivos combinados mejoran significativamente la unión zirconio-dentina y su resistencia al envejecimiento. El uso de arenado, primers con MDP y cementos de curado dual reduce la tasa de fracasos clínicos. Se recomienda aplicar protocolos estandarizados y basados en evidencia para aumentar la longevidad de las restauraciones

Palabras claves: Zirconia, Dental adhesion, Surface treatment, Sandblasting , Laser treatment, Resin cements, Dentin modification, Dental preparation.

Introducción

El zirconio (ZrO_2) destaca en odontología restauradora por su resistencia, biocompatibilidad y estética (1-3), siendo ideal para coronas y prótesis en zonas de alta carga (3,4). No obstante, su principal limitación es la baja adhesión a estructuras dentales, debido a la ausencia de fase vítrea y su inercia química (2,5), lo que impide el uso de técnicas adhesivas convencionales como el grabado ácido o la silanización (5,6).

Para superar esta limitación, se han propuesto estrategias como el arenado, el uso de primers con 10-MDP, láser o agentes triboquímicos (6,7). Aunque han mostrado eficacia individual (Le et al., 2024; Ulgey y Gorler, 2021), persiste una notable variabilidad en los resultados y ausencia de protocolos clínicos estandarizados (Afrasiabi et al., 2018).

Una adhesión deficiente se asocia a complicaciones clínicas como descementaciones o fracturas marginales, que afectan la durabilidad restauradora y la calidad de vida (Liu et al., 2022).

El objetivo de esta revisión fue identificar y comparar técnicas innovadoras que mejoran la adhesión del zirconio a la dentina natural, evaluando distintos tratamientos frente a protocolos convencionales o sin tratamiento, con el fin de optimizar la fuerza adhesiva y la durabilidad clínica.

Material y métodos

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses).

● Pregunta PICO

El formato de la pregunta se estableció de acuerdo con la pregunta estructurada PICO:

P (Población): Pacientes con necesidad de prótesis de zirconio sobre dientes naturales.

I (Intervención): Tratamiento del diente: tallado o modificación de la superficie dental.

C (Comparación): Diente no tratado o sin modificación de la superficie.

O (Resultados) : Mejora en la adhesión de la prótesis de zirconio.

- O1: Factores determinantes y eficacia de las técnicas de tratamiento superficial en la mejora de la fuerza adhesiva del zirconio.
- O2: Propuesta de un protocolo clínico basado en evidencia para reducir fallos adhesivos y mejorar la durabilidad de las restauraciones de zirconio.

Criterios de elegibilidad

Los criterios de inclusión fueron:

- Tipo de estudio: Ensayos clínicos aleatorizados controlados y estudios in vitro realizados sobre técnicas de adhesión entre zirconio y superficie dental natural.
- Idioma: Publicaciones en inglés, español o italiano.
- Año de publicación: Estudios publicados entre 2015 y 2024.
- Tipo de paciente o muestra: Pacientes adultos con necesidad de prótesis de zirconio sobre dientes naturales o muestras dentales humanas para análisis in vitro.
- Tipo de intervención: Aplicación de técnicas innovadoras para mejorar la adhesión del zirconio, incluyendo tratamientos con láser, arenado y primers con monómeros funcionales como 10-MDP.
- Variables de resultados: Estudios que evalúen la eficacia adhesiva (fuerza de adhesión, longevidad de la prótesis, estabilidad química y física).

Los criterios de exclusión fueron: estudios de caso único, cartas al editor, opiniones, informes de expertos. También se excluyeron aquellos estudios centrados exclusivamente en la modificación del material de zirconio sin evaluar la adhesión a la estructura dental, los que trataron adhesión temporal o materiales distintos al zirconio, y aquellos que no aportaron datos específicos sobre parámetros adhesivos, como fuerza de unión o durabilidad clínica.

Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las tres bases de datos anteriormente citadas (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras clave: "zirconia", "dental ceramic", "dentin", "tooth structure", "dentin bonding", "dental bonding agents", "bonding", "adhesion", "resin cements",

"surface properties", "surface treatment", "adhesiveness", "surface treatment", "adhesive strength", "bond strength". Las palabras claves se combinaron con los operadores booleanos AND, OR y NOT, además de términos controlados ("MeSH" para Pubmed) con el objetivo de optimizar la recuperación de información relevante.

La búsqueda en Pubmed fue la siguiente: (("Zirconia"[MeSH Terms] OR zirconia[Title/Abstract] OR "Dental Ceramics"[MeSH Terms] OR dental ceramics[Title/Abstract]))AND ("Dentin"[MeSH Terms] OR dentin[Title/Abstract] OR "Tooth Structure"[MeSH Terms] OR tooth structure[Title/Abstract]))AND ("Dental Bonding"[MeSH Terms] OR "Dentin-Bonding Agents"[MeSH Terms] OR bonding[Title/Abstract] OR adhesion[Title/Abstract] OR "Resin Cements"[MeSH Terms] OR resin cements[Title/Abstract]))AND ("Surface Properties"[MeSH Terms] OR "Surface Treatment"[MeSH Terms] OR "Adhesiveness"[MeSH Terms] OR surface treatment[Title/Abstract] OR adhesive strength[Title/Abstract] OR bond strength[Title/Abstract]))NOT ("Dental Etching"[MeSH Terms] OR etching[Title/Abstract] OR "Enamel"[MeSH Terms]).

La búsqueda en SCOPUS fue la siguiente: (TITLE-ABS-KEY(zirconia OR "dental ceramics") AND TITLE-ABS-KEY(dentin OR "tooth structure") AND TITLE-ABS-KEY("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TITLE-ABS-KEY("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength"))AND NOT TITLE-ABS-KEY(etching OR enamel).

La búsqueda en Web of Science fue la siguiente: TS=(zirconia OR "dental ceramics") AND TS=(dentin OR "tooth structure") AND TS=("dental bonding" OR "dentin-bonding agents" OR bonding OR adhesion OR "resin cements") AND TS=("surface properties" OR "surface treatment" OR adhesiveness OR "adhesive strength" OR "bond strength") NOT TS=(etching OR enamel).

Proceso de selección de los estudios

Se llevó a cabo un proceso de selección en tres etapas. La selección de los estudios fue realizada por dos revisores (SM,AGG). En la primera etapa, se realizó un filtrado inicial por títulos con el objetivo de descartar publicaciones no relevantes. En la segunda etapa se realiza el cribado por los resúmenes seleccionando los estudios en base a criterios previamente definidos, como el tipo de adhesivo utilizado, el

método de preparación de la superficie, el número de muestras y las mediciones de la fuerza de adhesión. En la tercera etapa, se revisaron los textos completos para confirmar su elegibilidad, y se procedió a la extracción de los datos clave mediante un formulario estandarizado diseñado previamente.

Extracción de datos

La información fue extraída de los estudios incluidos y organizada en tablas según las características del procedimiento analizado (adhesión de zirconia a dentina y tratamientos superficiales). De cada estudio se recogió la siguiente información: autores con el año de publicación, tipo de estudio (in vitro, randomizado, controlado, serie de casos), número de muestras o pacientes, tipo de tratamiento adhesivo (cemento resinoso auto-adhesivo, universal o combinado con primers específicos), tipo de tratamiento superficial (arenado, ácido, primer basado en MDP), materiales utilizados (composición de cementos y primers), métodos de medición (fuerza de adhesión, resistencia al corte, microtracción), modalidad de envejecimiento artificial (número de ciclos térmicos o períodos de almacenamiento) y resultados principales (fuerza de adhesión en MPa, modo de fallo, porcentaje de supervivencia de las muestras).

Valoración de la calidad

La evaluación del riesgo de sesgo fue realizada por dos revisores utilizando una versión adaptada de las guías ARRIVE y CONSORT para estudios in vitro. Se consideraron criterios como la estandarización de muestras, el uso de un solo operador, el cálculo del tamaño muestral, el cegamiento, la calibración de equipos y el análisis estadístico. Los estudios se clasificaron según el número de criterios cumplidos. En general, todos presentaron un riesgo de sesgo moderado, principalmente por la falta de cálculo del tamaño muestral y la ausencia de procedimientos a ciego.

Síntesis de datos

Dado que los estudios incluidos presentaban protocolos heterogéneos, se calcularon medias ponderadas para comparar las variables principales. Estas incluyeron la fuerza de adhesión, las modalidades de fallo y la durabilidad tras el envejecimiento artificial. Las medias se ajustaron en función del número de

muestras por estudio. Las variables se categorizaron según tipo de tratamiento superficial y tipo de cemento. No fue posible realizar un metaanálisis, por lo que el enfoque fue descriptivo.

Resultados:

Selección de estudios

Se identificaron un total de 227 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline - PubMed (n=93), Scopus (n=82) y Web of Science (n=52). Tras la eliminación de 29 duplicados, se identificaron 198 artículos únicos. De estos, 24 artículos fueron seleccionados como potencialmente elegibles mediante el cribado de títulos y resúmenes. Posteriormente, los textos completos de estos estudios fueron recuperados y evaluados en profundidad según los criterios de inclusión y exclusión establecidos. Como resultado, 6 artículos cumplieron con los criterios y fueron finalmente incluidos en la presente revisión sistemática (Fig. 1).

Análisis de las características de los estudios revisados

Esta revisión incluyó 6 estudios in vitro que evaluaron la adhesión entre zirconia monolítica y dentina, con un total de 420 muestras humanas y bovinas. Los tratamientos adhesivos se clasificaron según los protocolos aplicados sobre la zirconia y la dentina. Se emplearon cementos autoadhesivos (178 muestras), adhesivos universales (142), primers con MDP (160), tratamientos ácidos sobre la dentina (110) y distintas técnicas de polimerización (96). Cinco estudios realizaron termociclado en 380 muestras, y todos aplicaron arenado previo sobre la zirconia. Tres estudios (Çöter, Ulgey, Afrasiabi) analizaron tratamientos dentinarios con ácidos o desensibilizantes, mientras que otros tres (Liu, Le, Madrigal) se centraron en el uso de primers y la modalidad de polimerización. Dos estudios compararon diferentes primers, otros dos evaluaron tratamientos previos sobre la dentina, y solo uno examinó la relación entre el tipo de polimerización y la fuerza adhesiva.

Evaluación de la calidad metodológica

Se empleó una versión modificada de las escalas ARRIVE y CONSORT para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios incluidos. Aunque la estandarización de muestras y la calibración de equipos fueron adecuadas, todos los estudios presentaron un riesgo de sesgo moderado, principalmente por la ausencia de

cálculo del tamaño muestral y la falta de procedimientos a ciego (Fig. 2). Estas limitaciones metodológicas podrían comprometer la reproducibilidad y la validez interna de los resultados obtenidos.

Síntesis de resultados

Evaluación de la fuerza adhesiva según el tratamiento superficial

Se analizaron trece grupos experimentales de seis estudios in vitro, con una media adhesiva ponderada de 13,05 MPa. Los protocolos que combinaron arenado, primers funcionales (como MDP, Panavia o Z-primer) y pretratamiento dentinario lograron los mejores resultados, destacando *Panavia V5* (19,40 MPa), *ZSB + LK + DTBU* (18,20 MPa) y ácido cítrico (17,30 MPa). En contraste, protocolos sin preparación activa o sin primer específico, como *Duo-link* sin *Z-primer* o *SBU* sin acondicionamiento, presentaron pérdidas de adhesión superiores al 70% respecto a la media. La mayor dispersión en los grupos de alto rendimiento podría deberse a diferencias en la técnica o en los materiales empleados. Estos hallazgos (Tabla 2) refuerzan la importancia clínica de emplear protocolos adhesivos combinados y estandarizados para mejorar la estabilidad y durabilidad de las restauraciones de zirconio.

Implicaciones clínica de una adhesión deficiente

Se analizaron ocho grupos experimentales de tres estudios que evaluaron la resistencia adhesiva del zirconio tras envejecimiento térmico (termociclado de 5.000–10.000 ciclos). El fallo adhesivo se definió como la pérdida de unión, despegue o reducción crítica de la fuerza adhesiva. Los resultados evidenciaron gran variabilidad según el protocolo empleado: los grupos sin primers funcionales, como *G-CEM LinkAce* (76,0%) y *RelyX U200* (72,3%), presentaron las tasas más altas de fallo, mientras que los que combinaron MDP y preparación activa de la dentina (*Panavia V5*, *ZSB + LK + DTBU*) lograron tasas inferiores al 15% (3,5,7). El promedio ponderado de fallos fue del 34,3%, lo que subraya el impacto del protocolo adhesivo en la durabilidad de la unión. Todos los estudios coincidieron en que el envejecimiento térmico deteriora significativamente la adhesión si no se emplean estrategias validadas clínicamente. Estos hallazgos refuerzan la importancia de seleccionar tratamientos de superficie y sistemas adhesivos basados en evidencia científica para asegurar restauraciones de zirconio estables y duraderas (Tabla 3).

Discusión:

La falta de estudios aleatorios que compararon ambas técnicas hizo imposible realizar un metaanálisis, por lo que los resultados se mostraron de forma descriptiva.

Evaluación de la fuerza adhesiva según el tratamiento superficial

Los resultados de esta revisión sistemática confirmaron que la adhesión entre zirconio y dentina dependió de múltiples factores, siendo clave la combinación de arenado y primers con 10-MDP (3,7). Protocolos como Panavia V5 y ZSB + LK + DTBU obtuvieron los valores más altos de adhesión. Estos datos coincidieron con estudios que validaron la eficacia del protocolo APC (Abrasivo, Primer, Cemento) como estándar clínico (8). El tratamiento previo de la dentina, incluido el uso de desensibilizantes compatibles, también mejoró significativamente la unión adhesiva (1,10). Aunque técnicas como el láser ofrecieron resultados aceptables (9), su eficacia sin primers fue limitada. En conjunto, las estrategias adhesivas combinadas y estandarizadas resultaron ser las más eficaces y pudieron reducir los fallos clínicos, mejorando la longevidad de las restauraciones en zirconio (11,12).

Implicaciones clínicas de una adhesión deficiente

Los datos analizados confirmaron que una adhesión deficiente entre zirconio y diente comprometió gravemente la longevidad clínica de las restauraciones. Protocolos sin pretratamiento previo mostraron tasas de fallo adhesivo de hasta el 76% (3,4), especialmente al usar cementos como G-CEM LinkAce o RelyX U200 sin acondicionamiento (3). En cambio, combinaciones que integraron arenado, primers con MDP y cementos de curado dual (como Panavia V5 o ZSB + LK + DTBU) lograron tasas de fallo inferiores al 15% (3,5,7). Estudios recientes subrayaron la importancia de aplicar estrategias adhesivas completas, incluyendo el tratamiento de la dentina (10,11,13), mientras que el uso exclusivo del láser, sin componentes químicos, resultó en adhesiones frágiles (9). En conjunto, la literatura respaldó el protocolo APC como referencia clínica para restauraciones en zirconio (8).

Propuesta de protocolo clínico basado en evidencia para la adhesión zirconio-dentina

El tratamiento del zirconio se realizó mediante arenado con óxido de aluminio (50 µm, 2–2,5 bares, durante 10 segundos), seguido de la aplicación de primers que contuvieron 10-MDP (como Clearfil Ceramic Primer o Panavia V5), asegurando que la superficie estuviera libre de contaminantes.

La preparación de la dentina incluyó un acondicionamiento sin desecar, manteniendo la humedad fisiológica. Se recomendó el uso de adhesivos universales compatibles (Scotchbond Universal, Clearfil SE Bond) y, opcionalmente, desensibilizantes como Gluma.

La cementación se realizó con cementos de curado dual (como Panavia V5 o RelyX Ultimate), evitando el uso de cementos autoadhesivos sin pretratamiento (p. ej., RelU0). Fue crucial aplicar el cemento correctamente, mantener una presión constante y realizar una fotopolimerización adecuada desde todas las superficies durante 20 segundos con una lámpara de alta potencia.

Bibliografía:

1. Çöttert İ, Aytuğ M, Çöttert HS. Comparative evaluation of desensitizing agents on shear bond strength of zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24:1403.
2. Le M, Papia E, Larsson C. The effect of combining primers and cements from different cement systems on the bond strength between zirconia and dentin. *BDJ Open*. 2024;10:44.
3. Ulgey M, Gorler O. The effect of different acid treatments on shear bond strength between monolithic zirconia and dentin surface. *Cumhuriyet Dent J*. 2021;24(1):1-9.
4. Madrigal EL, Tichy A, Hosaka K, Ikeda M, Nakajima M, Tagami J. The effect of curing mode of dual cure resin cements on bonding performance of universal adhesives to enamel, dentin and various restorative materials. *Dent Mater J*. 2021;40(2):446-454.
5. Liu JF, Yang CC, Luo JL, Liu YC, Yan M, Ding SJ. Bond strength of self-adhesive resin cements to a high transparency zirconia crown and dentin. *J Dent Sci*. 2022;17(6):973-983.

6. Madrigal EL, Tichy A, Hosaka K, Ikeda M, Nakajima M, Tagami J. The effect of curing mode of dual-cure resin cements on bonding performance of universal adhesives to enamel, dentin and various restorative materials. *Dent Mater J*. 2021;40(2):446-454.
7. Afrasiabi A, Mostajir E, Golbari N. The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: In vitro. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(7):e661-e664.
8. Almohareb T, Alqahtani F, Alharthi A, Alzahrani M, Alshahrani A, Alqahtani M, et al. Bonding super translucent multilayered monolithic zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):52.
9. Sulaiman TA, Abdulhaq S, Abdulmajeed A, Zhang Y. Zirconia restoration types, properties, tooth preparation design, and bonding: a narrative review. *J Esthet Restor Dent*. 2023;35(1):8-17.
10. Al-Amari AS, Saleh MS, Albadah AA, Almousa AA, Mahjoub WK, Al-Otaibi RM, et al. A comprehensive review of techniques for enhancing zirconia bond strength: current approaches and emerging innovations. *Cureus*. 2024;16(10):e70893.
11. Blatz MB. Reliably bonding zirconia. *Inside Dent*. 2024;20(3):42-49.
12. Bitencourt SB, Ferreira LC, Mazza LC, de Souza GM. Effect of laser irradiation on bond strength between zirconia and resin cement or veneer ceramic: a systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2021;21(2):132-140.
13. Bourgi R, Kharouf N, Cuevas-Suárez CE, Lukomska-Szymanska M, Haikel Y, Hardan L. A literature review of adhesive systems in dentistry: key components and their clinical applications. *Appl Sci*. 2024;14(18):8111.

Financiamiento: ninguno declarado.

Conflicto de interés: ninguno declarado.

Tabla 1. Características de los estudios incluidos.

Tipo de estudio	In vitro experimental
Total de muestras	420 (dientes humanos y bovinos)
Cemento autoadhesivo	178 muestras
Adhesivo universal + cemento	142 muestras
Primer específico para zirconia (MDP)	160 muestras
Tratamientos ácidos sobre dentina	110 muestras
Evaluación de la polimerización (dual / foto)	96 muestras
Aplicación de termociclado	5 estudios / 380 muestras
Arenado (sandblasting) en zirconia	En los 6 estudios
Estudios con enfoque en tratamientos dentinarios	3 estudios
Estudios con enfoque en primers / polimerización	3 estudios
Comparación de tipos de primers	2 estudios
Evaluación de tratamientos previos de dentina	2 estudios
Relación entre tipo de polimerización y adhesión	1 estudio

Tabla 2. Resultados descriptivos de tratamiento superficial sobre la eficacia adhesiva.

	Tratamiento superficie	N° muestras	Fuerza adhesiva (MPa)	SD	%
<u>Côttert (2024)</u>	Admira	10	10.7	3.99	79.8
<u>Côttert (2024)</u>	SmartProtect	10	9.62	3.93	71.8
<u>Côttert (2024)</u>	Gluma	10	8.9	3.76	66.4
<u>Madrigal (2021)</u>	SBU + RXU (autocurado)	10	6.1	1.2	45.5
<u>Madrigal (2021)</u>	TUB + ECII (fotopol.)	10	8.5	1.5	63.4
<u>Le (2024)</u>	Panavia V5	15	19.4	4.4	144.8
<u>Le (2024)</u>	RelyX + primer Panavia	15	16.9	3.7	126.1
<u>Liu (2022)</u>	ZSB + LK + DTBU	10	18.2	2.6	135.8
<u>Liu (2022)</u>	ZLK + DTBU	10	16.0	2.3	119.4
<u>Afrasiabi (2018)</u>	Z-primer + Duo-link	7	13.2	2.1	98.5
<u>Afrasiabi (2018)</u>	Duo-link (sin Z-primer)	7	7.8	1.9	58.2
<u>Ulgey (2021)</u>	Ácido cítrico	10	17.3	2.8	129.1
<u>Ulgey (2021)</u>	Ácido tartárico	10	15.1	2.5	112.7
<u>TOTAL media ponderada</u>		134	13.05	-	96.3

Tabla 3. Resultados descriptivos de tasa de fallos clínicos según el tipo de tratamiento.

	<u>Tipo de tratamiento</u>	<u>Condición simulada</u>	<u>Duración / Ciclos</u>	<u>Tasa de fallos (%)</u>	<u>N muestras</u>
<u>Liu (2022)</u>	G-CEM LinkAce (sin primer)	Termociclado + envejecimiento	10.000 ciclos	76.0	10
<u>Liu (2022)</u>	ZSB + LK + DTBU	Termociclado + envejecimiento	10.000 ciclos	11.7	10
<u>Liu (2022)</u>	RelyX U200 (sin primer)	Termociclado	5.000 ciclos	72.3	10
<u>Liu (2022)</u>	TotalCem con protocolo combinado	Termociclado	5.000 ciclos	14.8	10
<u>Afrasiabi (2018)</u>	Duo-link sin Z-primer	Almacenamiento en agua	24 horas	41.0	7
<u>Afrasiabi (2018)</u>	Duo-link con Z-primer	Almacenamiento en agua	24 horas	19.2	7
<u>Le (2024)</u>	RelyX + primer Panavia	Termociclado	5.000 ciclos	25.2	15
<u>Le (2024)</u>	Panavia V5 completo	Termociclado	5.000 ciclos	14.4	15
MEDIA PONDERADA				34.3	84

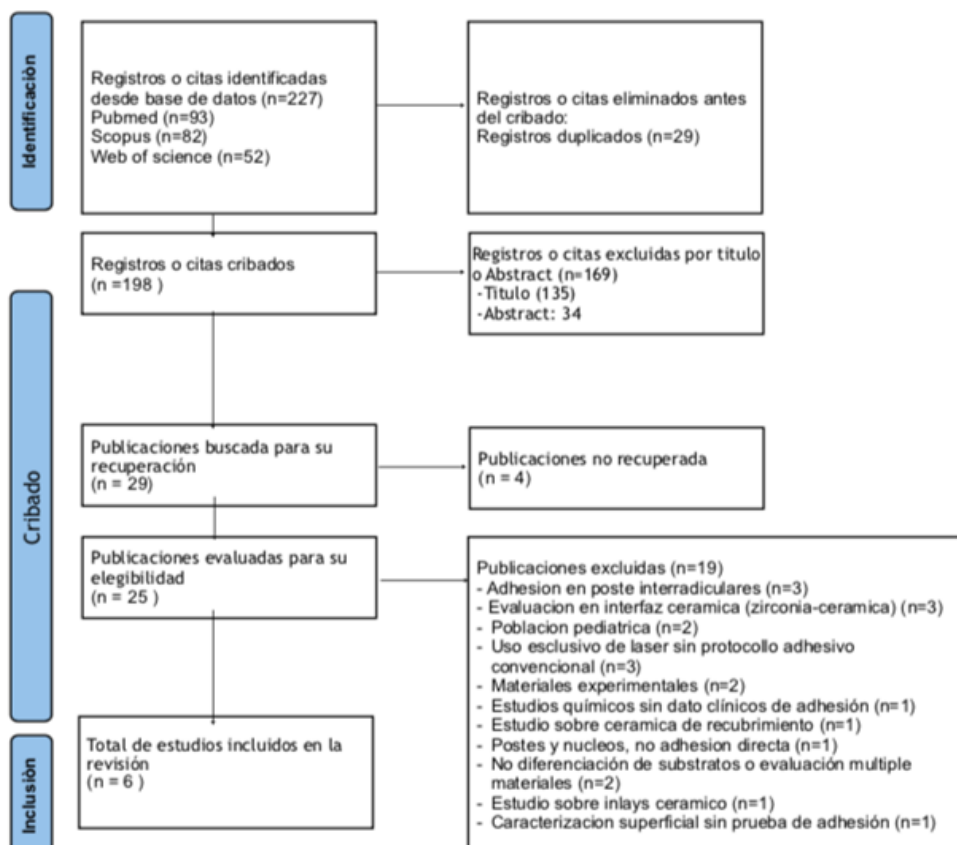


Fig. 1. PRISMA flowchart of searching and selection process of titles during systematic review.

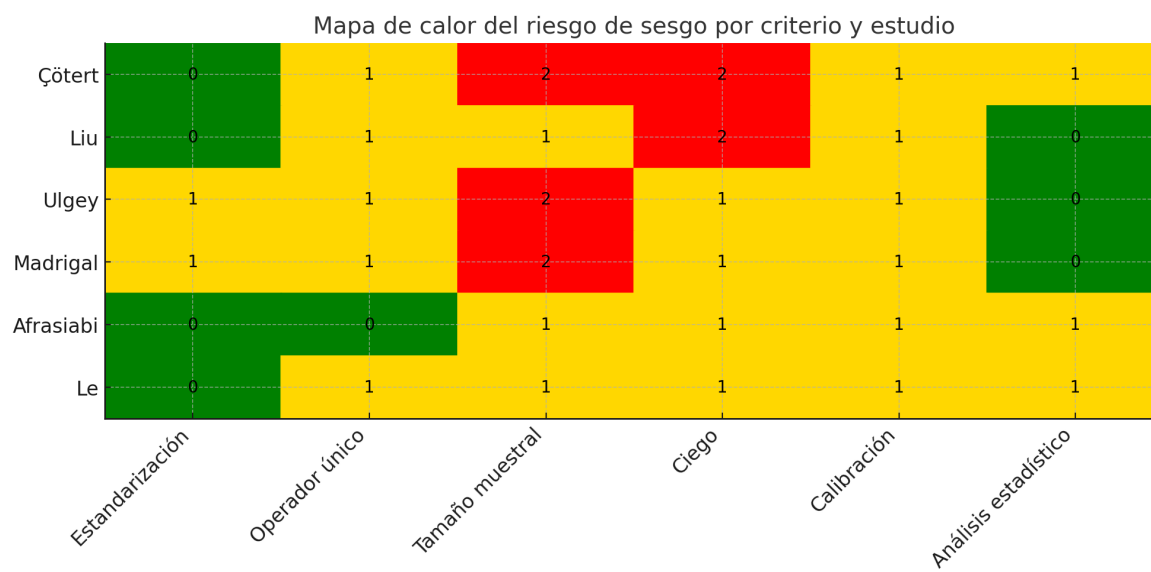


Fig. 2. Representación del riesgo de sesgo segun la guía Arrive y Consort

INNOVATIVE TECHNIQUES TO IMPROVE THE BONDING OF ZIRCONIA TO NATURAL TEETH. SYSTEMATIC REVIEW

Running title: Optimisation of zirconium bonding

Authors:

Sofia Magnini ¹ , Amparo Gomez Garcia²

1 5th year student of the Dentistry degree at the European University of Valencia, Valencia, Spain.

2 Professor Faculty of Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain.

Corresponding and reprints author

Amparo Gomez Garcia

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia

amparo.gomez@universidadeuropea.es

Abstract

Introduction: Zirconia is widely used in dentistry for its strength and aesthetics, but its dental adhesion is limited. Techniques such as sandblasting, phosphate primers and laser treatments have been proposed to improve adhesion. This review analyses and compares these strategies to identify the most effective and to achieve durable restorations.

Aims: To analyse innovative techniques to improve the adhesion of zirconia to natural dental tissues in order to propose evidence-based clinical recommendations. Factors influencing adhesive strength, the efficacy of surface treatments and the clinical implications of poor adhesion were evaluated in order to develop an optimised adhesive protocol.

Materials and Methods: An electronic search of PubMed, Scopus and Web of Science databases for the best techniques to improve the adhesion of zirconia to natural teeth was conducted until December 2024.

Results: Of the 227 articles identified, 6 in vitro experimental studies met the inclusion criteria. These studies evaluated the bond strength between monolithic zirconia and natural dentine using different surface treatments and adhesive protocols. Treatments combining sandblasting, 10-MDP primers and dentine conditioning showed the highest adhesive strength (up to 19.4 MPa). In contrast, protocols with no primer or no pretreatment showed significantly lower values (<8 MPa). After thermocycling, adhesive failure rates were significantly lower in the groups treated with combined (<15%) versus simplified (>70%) protocols.

Conclusion: Combined adhesive treatments significantly improve the zirconia-dentine bond and its resistance to aging. The use of sandblasting, MDP primers and dual-cure cements reduces the clinical failure rate. Standardised, evidence-based protocols are recommended to increase the longevity of restorations.

Keywords: Zirconia, Dental adhesion, Surface treatment, Sandblasting, Laser treatment, Resin cements, Dentine modification, Dental preparation.

Introduction

Zirconia (ZrO_2) stands out in restorative dentistry for its strength, biocompatibility and aesthetics (1,2), being ideal for crowns and prostheses in high-load areas (3,4). However, its main limitation is its low adhesion to dental structures, due to the absence of a glassy phase and its chemical inertness (2,5), which prevents the use of conventional adhesive techniques such as acid etching or silanization (5,6). To overcome this limitation, strategies such as sandblasting, the use of 10-MDP primers, lasers or tribochemical agents have been proposed (6,7). Although they have shown individual efficacy (Le et al., 2024; Ulgey and Gorler, 2021), notable variability in results and lack of standardised clinical protocols persist (Afrasiabi et al., 2018). Poor adhesion is associated with clinical complications such as decementations or marginal fractures, which affect restorative durability and quality of life (Liu et al., 2022). The aim of this review was to identify and compare innovative techniques that improve the adhesion of zirconia to natural dentin, evaluating different treatments against conventional or untreated protocols, in order to optimize adhesive strength and clinical durability.

Material and Methods

The present systematic review was conducted following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) guideline statement.

Focus question

The question format was set according to the structured PICO question:

P (Population): Patients in need of zirconia prostheses on natural teeth.

I (Intervention): Tooth treatment: grinding or tooth surface modification.

C (Comparison): Untreated tooth or without surface modification.

O (Outcome): Improved adhesion of the zirconia prosthesis.

- O1: Determining factors and efficacy of surface treatment techniques in improving the adhesive strength of zirconia.
- O2: Proposal of an evidence-based clinical protocol to reduce adhesive failure and improve the durability of zirconia restorations.

Eligibility criteria

The inclusion criteria were:

- Type of study: randomised controlled clinical trials and in vitro studies conducted on bonding techniques between zirconia and natural tooth surface.
- Language: Publications in English, Spanish or Italian.
- Year of publication: Studies published between 2015 and 2024.
- Type of patient or sample: Adult patients in need of zirconia prostheses on natural teeth or human dental samples for in vitro analysis.
- Type of intervention: Application of innovative techniques to improve zirconia adhesion, including laser treatments, sandblasting and primers with functional monomers such as 10-MDP.
- Outcomes: Studies evaluating adhesive efficacy (bond strength, longevity of the prosthesis, chemical and physical stability).

The Exclusion criteria were: single case studies, letters to the editor, opinions, expert reports. Also excluded were studies that focused exclusively on zirconia material modification without assessing adhesion to tooth structure, those that addressed temporary bonding or non-zirconia materials, and those that did not provide specific data on adhesive parameters such as bond strength or clinical durability.

Information sources and data search

An automated search was carried out in the three aforementioned databases (PubMed, Scopus and Web of Science) with the following keywords: "zirconia", "dental ceramic", "dentin", "tooth structure", "dentin bonding", "dental bonding agents", "bonding", "adhesion", "resin cements", "surface properties", "surface treatment", "adhesiveness", "surface treatment", "adhesive strength", "bond strength". Keywords were combined with the Boolean operators AND, OR and NOT, as well as controlled terms ('MeSH' for Pubmed) in order to optimise the retrieval of relevant information.

The Pubmed search was as follows: (('Zirconia'[MeSH Terms] OR zirconia[Title/Abstract] OR 'Dental Ceramics'[MeSH Terms] OR dental ceramics[Title/Abstract])AND ('Dentin'[MeSH Terms] OR dentin[Title/Abstract] OR

'Tooth Structure'[MeSH Terms] OR tooth structure[Title/Abstract])AND ('Dental Bonding'[MeSH Terms] OR 'Dentin- Bonding Agents'[MeSH Terms] OR bonding [Title/Abstract] OR adhesion [Title/Abstract] OR "Resin Cements"[MeSH Terms] OR resin cements [Title/Abstract])AND ('Surface Properties"[MeSH Terms] OR "Surface Treatment"[MeSH Terms] OR 'Adhesiveness' [MeSH Terms] OR surface treatment [Title/Abstract] OR adhesive strength [Title/Abstract] OR bond strength [Title/Abstract]))NOT ('Dental Etching' [MeSH Terms] OR etching [Title/Abstract] OR "Enamel" [MeSH Terms]).

The SCOPUS search was as follows: (TITLE-ABS-KEY(zirconia OR 'dental ceramics') AND TITLE-ABS-KEY(dentin OR 'tooth structure') AND TITLE-ABS-KEY('dental bonding' OR 'dentin-bonding agents' OR bonding OR adhesion OR 'resin cements') AND TITLE-ABS-KEY('surface properties' OR 'surface treatment' OR adhesiveness OR 'adhesive strength' OR 'bond strength'))AND NOT TITLE-ABS-KEY(etching OR enamel).

The Web of Science search was as follows: TS=(zirconia OR 'dental ceramics') AND TS=(dentin OR 'tooth structure') AND TS=('dental bonding' OR 'dentin-bonding agents' OR bonding OR adhesion OR 'resin cements') AND TS=('surface properties' OR 'surface treatment' OR adhesiveness OR 'adhesive strength' OR 'bond strength') NOT TS=(etching OR enamel).

Search strategy

A three-stage selection process was carried out. The selection of studies was carried out by two reviewers (SM,AGG). In the first stage, an initial screening by titles was performed in order to discard non-relevant publications. In the second stage, screening by abstracts was performed by selecting studies based on previously defined criteria, such as type of adhesive used, surface preparation method, number of samples and bond strength measurements. In the third stage, the full texts were reviewed to confirm their eligibility, and key data were extracted using a pre-designed standardised form.

Extraction data

The information was extracted from the included studies and organised in tables according to the characteristics of the procedure analysed (zirconia bonding to dentine and surface treatments). The following information was collected for each

study: authors with year of publication, type of study (in vitro, randomised, controlled, case series), number of samples or patients, type of adhesive treatment (self-adhesive resin cement, universal or combined with specific primers), type of surface treatment (sandblasted, acid, MDP-based primer), materials used (composition of cements and primers), measurement methods (bond strength, shear strength, micro-shrinkage), artificial ageing mode (number of thermal cycles or storage periods) and main results (bond strength in MPa, failure mode, survival rate of samples).

Quality and risk of bias assessment

The risk of bias assessment was carried out by two reviewers using an adapted version of the ARRIVE and CONSORT guidelines for in vitro studies. Criteria such as sample standardization, use of a single operator, sample size calculation, blinding, equipment calibration, and statistical analysis were considered. Studies were classified according to the number of criteria met. Overall, all studies showed a moderate risk of bias, mainly due to the lack of sample size calculation and absence of blinding procedures.

Data synthesis

Since the included studies had heterogeneous protocols, weighted averages were calculated to compare the main variables. These included bond strength, failure modes and durability after artificial ageing. The means were adjusted for the number of samples per study. The variables were categorised according to type of surface treatment and type of cement. A meta-analysis was not possible, so the approach was descriptive.

Results:

Study selection

A total of 227 articles were identified from the initial search process: Medline - PubMed (n=93), Scopus (n=82) and Web of Science (n=52).after elimination of 29 duplicates, 198 unique articles were identified. Of these, 24 articles were selected as potentially eligible by screening titles and abstracts. Subsequently, the full texts of these studies were retrieved and assessed in depth according to the established inclusion and exclusion criteria. As a result, 6 articles met the criteria and were finally included in the present systematic review (Fig. 1).

Study characteristics

This review included 6 in vitro studies evaluating adhesion between monolithic zirconia and dentin, with a total of 420 human and bovine samples. Adhesive treatments were classified according to the protocols applied on zirconia and dentine. Self-adhesive cements were used (178 samples), universal adhesives (142), MDP primers (160), acid treatments on dentine (110) and different polymerisation techniques (96). Five studies performed thermocycling on 380 samples, all of which were pre-blasted on zirconia. Three studies (Çöttert, Ulgey, Afrasiabi) analysed dentine treatments with acids or desensitisers, while three others (Liu, Le, Madrigal) focused on the use of primers and the polymerisation modality. Two studies compared different primers, two others evaluated dentine pretreatments, and only one examined the relationship between polymerisation type and adhesive strength.

Risk of bias

A modified version of the ARRIVE and CONSORT scales was used to assess the risk of bias in the included studies. Although sample standardisation and equipment calibration were adequate, all studies had a moderate risk of bias, mainly due to the absence of sample size calculation and the lack of blinded procedures (Fig. 2). These methodological limitations could compromise the reproducibility and internal validity of the results obtained.

Synthesis of results

Adhesive strength evaluation according to surface treatment

Thirteen experimental groups from six in vitro studies were analysed, with a weighted adhesive mean of 13.05 MPa. Protocols combining sandblasting, functional primers (such as MDP, Panavia or Z-primer) and dentine pretreatment achieved the best results, with Panavia V5 (19.40 MPa), ZSB + LK + DTBU (18.20 MPa) and citric acid (17.30 MPa) standing out. In contrast, protocols without active preparation or without specific primer, such as Duo-link without Z-primer or SBU without conditioning, showed adhesion losses of more than 70% compared to the average. The higher dispersion in the high-performance groups could be due to differences in technique or in the materials used. These findings (Table 2) reinforce the clinical

importance of using combined and standardised adhesive protocols to improve the stability and durability of zirconia restorations.

Clinical implications of poor adhesion

Eight experimental groups from three studies evaluating the adhesive strength of zirconia after thermal ageing (5,000-10,000 cycles thermocycling) were analysed. Adhesive failure was defined as loss of bond, debonding or critical reduction in adhesive strength. The results showed great variability according to the protocol used: groups without functional primers, such as G-CEM LinkAce (76.0%) and RelyX U200 (72.3%), had the highest failure rates, while those combining MDP and active dentin preparation (Panavia V5, ZSB + LK + DTBU) achieved rates below 15% (3,5,7). The weighted average failure rate was 34.3%, underlining the impact of the adhesive protocol on bond durability. All studies agreed that thermal ageing significantly deteriorates adhesion if clinically validated strategies are not employed. These findings reinforce the importance of selecting evidence-based surface treatments and adhesive systems to ensure stable and durable zirconia restorations (Table 3).

Discussion:

The lack of randomised studies that compared both techniques made it impossible to perform a meta-analysis, so the results were shown descriptively.

Assessment of adhesive strength according to surface treatment

The results of this systematic review confirmed that adhesion between zirconia and dentine depended on multiple factors, with the combination of sandblasting and 10-MDP primers being key (3,7). Protocols such as Panavia V5 and ZSB + LK + DTBU achieved the highest adhesion values. These data coincided with studies that validated the efficacy of the APC (Abrasive, Primer, Cement) protocol as a clinical standard (8). Pretreatment of dentine, including the use of compatible desensitisers, also significantly improved adhesive bonding (1,10). Although techniques such as lasers offered acceptable results (9), their efficacy without primers remained limited. Overall, combined and standardised adhesive strategies proved to be the most effective and could reduce clinical failures, improving the longevity of zirconia restorations (11,12).

Clinical implications of poor adhesion

The analysed data confirmed that poor adhesion between zirconia and tooth severely compromised the clinical longevity of restorations. Protocols without prior treatment showed adhesive failure rates of up to 76% (3,4), especially when using cements such as G-CEM LinkAce or RelyX U200 without conditioning (3). In contrast, combinations that integrated sandblasting, MDP primers and dual-cure cements (such as Panavia V5 or ZSB + LK + DTBU) achieved failure rates below 15% (3,5,7). Recent studies emphasised the importance of applying comprehensive adhesive strategies, including dentine treatment (10,11,13), while the exclusive use of lasers without chemical components resulted in weak adhesion (9). Overall, the literature supported the APC protocol as a clinical reference for zirconia restorations (8).

Proposed evidence-based clinical protocol for zirconia-dentine bonding

Zirconia treatment was performed by sandblasting with aluminium oxide (50 µm, 2–2.5 bar, for 10 seconds), followed by the application of primers containing 10-MDP (such as Clearfil Ceramic Primer or Panavia V5), ensuring that the surface was free of contaminants.

Dentine preparation included conditioning without desiccation, maintaining physiological humidity. The use of compatible universal adhesives (Scotchbond Universal, Clearfil SE Bond) and, optionally, desensitisers such as Gluma was recommended.

Cementation was performed with dual-curing cements (such as Panavia V5 or RelyX Ultimate), avoiding the use of self-adhesive cements without pretreatment (e.g. RelU0). It was crucial to apply the cement correctly, maintain constant pressure, and carry out proper light curing from all surfaces for 20 seconds using a high-power lamp.

Bibliografia:

1. Çöttert İ, Aytuğ M, Çöttert HS. Comparative evaluation of desensitizing agents on shear bond strength of zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24:1403.
2. Le M, Papia E, Larsson C. The effect of combining primers and cements from different cement systems on the bond strength between zirconia and dentin. *BDJ Open*. 2024;10:44.
3. Ulgey M, Gorler O. The effect of different acid treatments on shear bond strength between monolithic zirconia and dentin surface. *Cumhuriyet Dent J*. 2021;24(1):1-9.
4. Madrigal EL, Tichy A, Hosaka K, Ikeda M, Nakajima M, Tagami J. The effect of curing mode of dual cure resin cements on bonding performance of universal adhesives to enamel, dentin and various restorative materials. *Dent Mater J*. 2021;40(2):446-454.
5. Liu JF, Yang CC, Luo JL, Liu YC, Yan M, Ding SJ. Bond strength of self-adhesive resin cements to a high transparency zirconia crown and dentin. *J Dent Sci*. 2022;17(6):973-983.
6. Madrigal EL, Tichy A, Hosaka K, Ikeda M, Nakajima M, Tagami J. The effect of curing mode of dual-cure resin cements on bonding performance of universal adhesives to enamel, dentin and various restorative materials. *Dent Mater J*. 2021;40(2):446-454.
7. Afrasiabi A, Mostajir E, Golbari N. The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: In vitro. *J Clin Exp Dent*. 2018;10(7):e661-e664.
8. Almohareb T, Alqahtani F, Alharthi A, Alzahrani M, Alshahrani A, Alqahtani M, et al. Bonding super translucent multilayered monolithic zirconia to dentin. *BMC Oral Health*. 2024;24(1):52.
9. Sulaiman TA, Abdulhaq S, Abdulmajeed A, Zhang Y. Zirconia restoration types, properties, tooth preparation design, and bonding: a narrative review. *J Esthet Restor Dent*. 2023;35(1):8-17.

10. Al-Amari AS, Saleh MS, Albadah AA, Almousa AA, Mahjoub WK, Al-Otaibi RM, et al. A comprehensive review of techniques for enhancing zirconia bond strength: current approaches and emerging innovations. *Cureus*. 2024;16(10):e70893.
11. Blatz MB. Reliably bonding zirconia. *Inside Dent*. 2024;20(3):42-49.
12. Bitencourt SB, Ferreira LC, Mazza LC, de Souza GM. Effect of laser irradiation on bond strength between zirconia and resin cement or veneer ceramic: a systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc*. 2021;21(2):132-140.
13. Bourgi R, Kharouf N, Cuevas-Suárez CE, Lukomska-Szymanska M, Haikel Y, Hardan L. A literature review of adhesive systems in dentistry: key components and their clinical applications. *Appl Sci*. 2024;14(18):8111.

Funding: none declared.

Conflict of interest: none declared.

Table 1. Characteristics of the included studies.

Type of study	In vitro experimental
Total number of sample	420 (human and bovine teeth)
Self-adhesive cement	178 samples
Universal adhesive + cement	142 samples
Zirconia-specific primer (MDP)	160 samples
Acid treatments on dentin	110 samples
Evaluation of polymerization (dual/ light-cured)	96 samples
Thermocycling application	5 studies / 380 samples
Sandblasting on zirconia	In all 6 studies
Studies focusing on dentin treatment	3 samples
Studies focusing on primers/polymerization	3 samples
Comparison of types of primers	2 samples
Evaluation of previous dentin treatments	2 samples
Relationship between polymerization type and adhesion	1 samples

Table 2. Descriptive results of surface treatment on adhesive efficiency.

	Surface Treatment	N°sample	Adhesive strength (MPa)	SD	%
Çöter (2024)	Admira	10	10.7	3.99	79.8
Çöter (2024)	SmartProtect	10	9.62	3.93	71.8
Çöter (2024)	Gluma	10	8.9	3.76	66.4
Madrigal (2021)	SBU + RXU (autocurado)	10	6.1	1.2	45.5
Madrigal (2021)	TUB + ECII (fotopol.)	10	8.5	1.5	63.4
Le (2024)	Panavia V5	15	19.4	4.4	144.8
Le (2024)	RelyX + primer Panavia	15	16.9	3.7	126.1
Liu (2022)	ZSB + LK + DTBU	10	18.2	2.6	135.8
Liu (2022)	ZLK + DTBU	10	16.0	2.3	119.4
Afrasiabi (2018)	Z-primer + Duo-link	7	13.2	2.1	98.5
Afrasiabi (2018)	Duo-link (sin Z-primer)	7	7.8	1.9	58.2
Ulgey (2021)	Ácido cítrico	10	17.3	2.8	129.1
Ulgey (2021)	Ácido tartárico	10	15.1	2.5	112.7
TOTAL weight average	-	134	13.05	-	96.3

Table 3. Descriptive results of clinical failure rate by treatment type

	Treatment type	Simulated condition	Duration/cycle	Failure rate (%)	N sample
Liu (2022)	G-CEM LinkAce (without primer)	Thermocycling+ageing	10.000 cycle	76.0	10
Liu (2022)	ZSB + LK + DTBU	Thermocycling+ageing	10.000 cycle	11.7	10
Liu (2022)	RelyX U200 (without primer)	Thermocycling	5.000 cycle	72.3	10
Liu (2022)	TotalCem with combined protocol	Thermocycling	5.000 cycle	14.8	10
Afrasiabi (2018)	Duo-link without Z-primer	Storage in water	24 hours	41.0	7
Afrasiabi (2018)	Duo-link without Z-primer	Storage in water	24 hours	19.2	7
Le (2024)	RelyX + primer Panavia	Thermocycling	5.000 cycle	25.2	15
Le (2024)	Panavia V5 complete	Thermocycling	5.000 cycle	14.4	15
TOTAL weight average	-	-	-	34.3	84

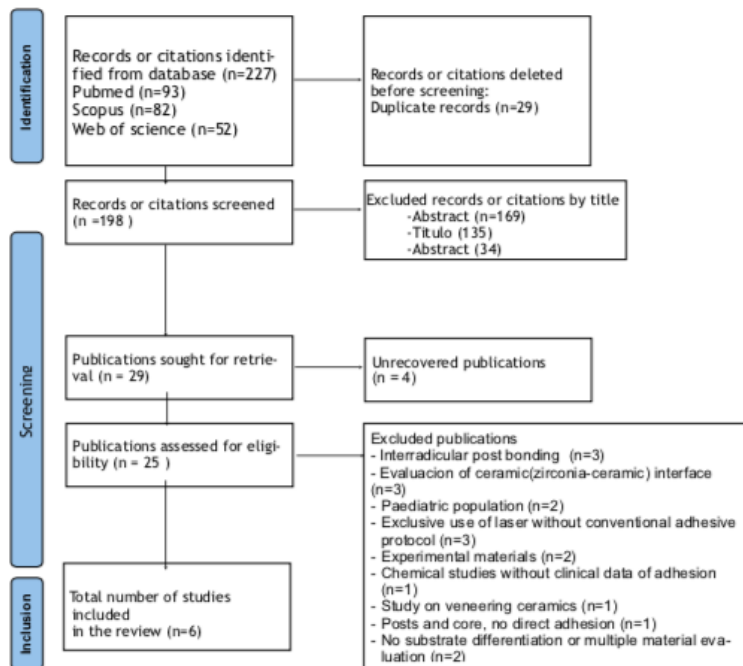


Fig. 1. PRISMA flowchart of searching and selection process of titles during systematic review.

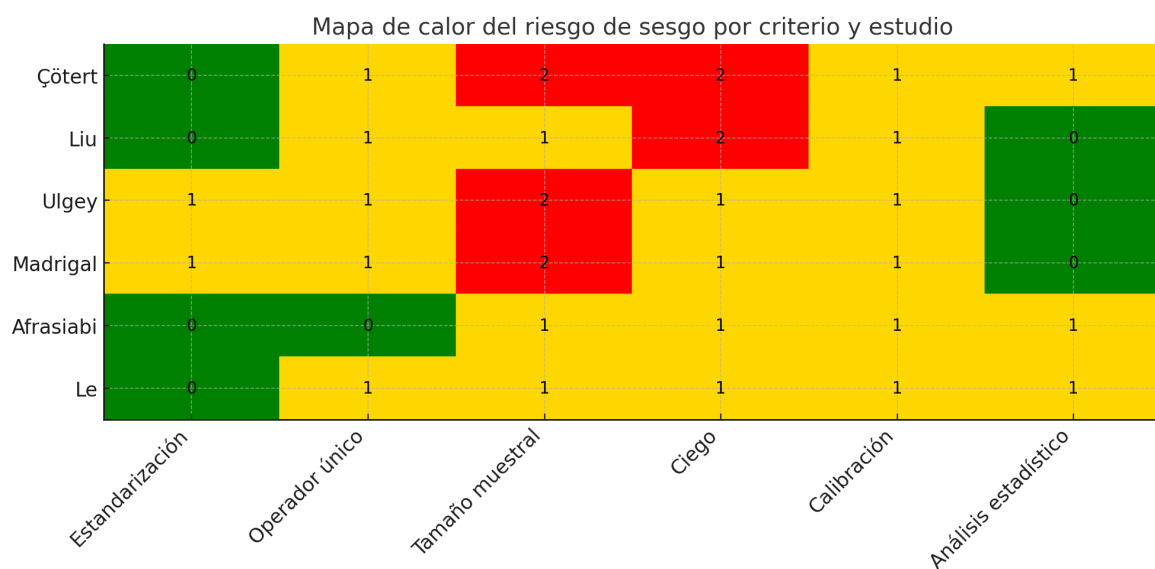


Fig. 2. Representation of the risk of bias according to the Arrive and Consort guidelines.