



Grado en odontología
Trabajo de Fin de Grado
Curso 2024 - 2025

**Revisión sistemática sobre el
efecto de los quelantes en la
penetración de cementos
biocerámicos en endodoncia**

Autor: Sergio Mariconti
Tutor: Gracia María Galán Gil

Agradecimientos:

Esta etapa ha sido un recorrido lleno de aprendizajes, desafíos y momentos inolvidables. No habría sido posible sin el acompañamiento y el apoyo de quienes han estado cerca de mí, de distintas maneras. A todos ellos, gracias.

A mis padres, por haberme dado la oportunidad de vivir esta experiencia. Gracias por su apoyo incondicional, por confiar en mí y por estar siempre presentes, incluso en la distancia.

A mis hermanas, por estar a mi lado en cada paso del camino. Gracias por su apoyo constante en los momentos difíciles y por ser una fuente de motivación durante toda esta etapa. Su presencia ha sido importante, aunque nunca lo digo o lo demuestro.

A mis amigos, por compartir esta etapa conmigo, con sus risas, su compañía y su comprensión. En especial a Mauricio, Andrea, Victoire, Víctor y Carola: gracias por estar en los buenos y malos momentos, por acompañarme, por reír y llorar conmigo, y por ayudarme a alcanzar cada objetivo.

A mi tutora, por su disposición, su paciencia y sus consejos durante la realización de este trabajo. Su acompañamiento ha sido de gran ayuda para orientarme en el proceso.

Y a la universidad y a todos los profesores que me acompañaron durante estos años, gracias por ofrecerme las herramientas necesarias para crecer, aprender y mirar al futuro con mayor confianza.

Índice	
1. Resumen	1
2. Abstract	2
3. Palabras claves	3
4. Introducción	4
4.1 Quelación	5
4.2 Quelantes	6
4.2.1. Hipoclorito sódico	7
4.2.2. Clorhexidina	8
4.2.3. EDTA	9
4.2.4. Ácido cítrico	10
4.2.5. Ácido etidronico	10
4.2.6. Ácido maleico	11
4.2.7. Qmix	11
4.3 Bioceramicos	12
5. Justificación e hipótesis	14
6. Objetivos	15
7. Materiales y métodos	16
7.1 Pregunta PIO	16
7.2 Criterios de elegibilidad	17
7.3 Fuentes de información y estrategia de búsqueda	18
7.4 Selección de los artículos	21
7.5 Extracción de datos	21
7.6 Valoración de la calidad	23
7.7 Síntesis de datos	24
8. Resultados	24
8.1 Selección de artículos. Flow Chart	24
8.2 Análisis de las características de los estudios revisados	27
8.3 Evaluación de la metodológica y riesgo de sesgo	29
8.4 Síntesis resultados	31
8.4.1 Profundidad de penetración	31
8.4.2 Porcentaje de túbulos infiltrados	33
8.4.3 Distribución en zonas coronal, media y apical	33
8.4.4 Profundidad hacia cemento	34
8.4.5 Erosión de la dentina	35
9. Discusión	35

9.1 Interpretación general de los resultados	35
9.2 Profundidad de penetración: factores clave y diferencias entre irrigantes	36
9.3 Comparación por tercios radiculares	37
9.4 Influencia del tipo de irrigación (convencional, continua y activada	37
9.5 Erosión dentinaria y biocompatibilidad	39
9.6 Influencia del tipo de sellador biocerámico	40
9.7 Implicaciones clínicas y sugerencias de protocolo	40
9.8 Limitaciones de los estudios incluidos	42
9.9 Recomendaciones para futuras investigaciones	43
9.10 Relación con la hipótesis y objetivos	43
10. Conclusión	44
11. Bibliografía	45
12. Anexos	50

Revisión sistemática sobre los efecto de los quelantes en la penetración de cementos bioceramicos en endodoncia

1. Resumen

Introducción: La calidad del sellado tridimensional en endodoncia es un factor determinante para el éxito del tratamiento, siendo la penetración del sellador en los túbulos dentinarios un indicador clave de su eficacia. Esta penetración está influida por el protocolo de irrigación final, el cual puede optimizar la preparación de las paredes dentinarias y facilitar la adhesión del sellador. Ante la diversidad de irrigantes y técnicas disponibles, este trabajo plantea como objetivo analizar cómo distintos protocolos de irrigación afectan la capacidad de penetración intratubular de los selladores biocerámicos.

Material y métodos: Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica en bases de datos como PubMed, Scopus y Web Of Science. Se seleccionaron ocho estudios in vitro publicados entre 2018 y 2024 que evaluaron la profundidad de penetración de selladores biocerámicos bajo diferentes condiciones de irrigación. Los principales irrigantes analizados fueron EDTA, HEDP, Qmix, clorhexidina y agua destilada. La metodología de los estudios incluyó el uso de microscopia confocal para medir la penetración en los tercios coronal, medio y apical.

Resultados: Los estudios coinciden en que los irrigantes quelantes, especialmente HEDP, favorecen una mayor profundidad de penetración en comparación con el EDTA y los controles. La irrigación continua también mostró resultados superiores frente a la convencional. En todos los casos, la penetración fue mayor en el tercio coronal y menor en el apical, independientemente del irrigante o técnica utilizada.

Discusión: Los hallazgos respaldan la hipótesis de que el protocolo de irrigación influye directamente en la eficacia del sellado endodóntico. La combinación de hipoclorito sódico con quelantes menos agresivos, como HEDP o Qmix, no solo mejora la penetración del sellador, sino que reduce el riesgo de erosión dentinaria asociado al EDTA. Asimismo, la activación del irrigante potencia la limpieza y accesibilidad en zonas más profundas del conducto. La

heterogeneidad metodológica entre estudios y la falta de evidencia clínica directa son limitaciones para considerar.

Conclusión: Se concluye que la elección del irrigante y su modo de aplicación son factores decisivos para optimizar la penetración de los selladores biocerámicos. La evidencia actual sugiere la necesidad de actualizar los protocolos clásicos e integrar estrategias que maximicen la eficacia sin comprometer la biocompatibilidad ni la estructura dentinaria.

2. Abstract

Introduction: The quality of three-dimensional sealing in endodontics is a key factor for the success of the treatment, with the penetration of the sealer into dentinal tubules being a critical indicator of its effectiveness. This penetration is influenced by the final irrigation protocol, which can optimize the condition of dentinal walls and facilitate sealer adhesion. Given the variety of irrigants and techniques available, this study aims to analyze how different irrigation protocols affect the intratubular penetration capacity of bioceramic sealers.

Materials and Methods: A systematic review of scientific literature was conducted using databases such as PubMed, Scopus, and Web Of Science. Eight in vitro studies published between 2018 and 2024 were selected, evaluating the depth of bioceramic sealers under different irrigation conditions. The main irrigants analyzed were EDTA, HEDP, Qmix, chlorhexidine, and distilled water. Most methodologies involved confocal laser scanning microscopy to measure penetration across coronal, middle, and apical thirds of the root canal.

Results: The studies consistently show that chelating irrigants, particularly HEDP, promote greater penetration depth compared to EDTA and control groups. Continue irrigation also produced superior outcomes compared to conventional techniques. In all cases, penetration was greater in the coronal third and decreased toward the apical third, regardless of the irrigant or technique used.

Discussion: The findings support the hypothesis that the irrigation protocol directly influences the effectiveness of endodontic sealing. Combining sodium hypochlorite with less aggressive chelators such as HEDP or Qmix not only enhances sealer penetration but also reduces the dentin erosion risk associated with EDTA. Additionally, irrigant activation improves cleaning and access to

deeper areas of the canal system. Methodological heterogeneity among studies and the lack of clinical data are important limitations to consider.

Conclusion: It is concluded that both the choice of irrigant and its mode of application are decisive factors for optimizing the penetration of bioceramic sealers. Current evidence supports the need to update traditional protocols and adopt new strategies that maximize effectiveness without compromising dentin structure or biocompatibility.

3. Palabras claves

- Bioceramic cements
- Intratubular penetration
- Chelating agents
- Chelation
- Irrigants
- Irrigation
- Confocal laser scanning microscopy
- EDTA
- Maleic acid
- Citric acid
- HEDP
- Qmix
- BioRoot RCS
- MTA
- TotalFill BC Sealer
- GuttaFlow Bioseal

Siglas y acrónimos

- CLSM: microscopia confocal laser
- EDTA: ácido Etilen Diamino Tetraacético
- NaOCl: hipoclorito sódico
- HEDP: ácido etidronico
- CHX: clorhexidina
- MTA: agregado de trióxido mineral
- CBCT: tomografía computarizada de haz cónico

4. Introducción

El sistema de conductos radiculares, en su estado sano e intacto, está libre de infección. A diferencia de la cavidad oral, el sistema de conductos radiculares no tiene microbiota comensal, por lo que cualquier microorganismo detectado en esta zona puede considerarse un patógeno potencial. Una vez que los microorganismos ingresan al sistema de conductos radiculares, las consecuencias pueden variar desde una pulpitis reversible hasta la necrosis del tejido pulpar y, eventualmente, la formación de una lesión periapical: la periodontitis apical. La necrosis pulpar por sí sola, cuando no hay microorganismos involucrados, no necesariamente conduce a la periodontitis apical. Sin embargo, un tejido pulpar necrótico, como resultado de un trauma mecánico o térmico, difícilmente puede mantener su estado "estéril" debido a la falta de circulación sanguínea y mecanismos de defensa que eliminan microorganismos invasores. Un sistema de conductos radiculares infectado es un requisito previo para el desarrollo de infecciones apicales (1). Los microorganismos identificados en las infecciones endodónticas hacen parte de la microbiota comensal de la cavidad oral. En un ecosistema oral saludable, la microbiota vive en homeostasis con el huésped. Sin embargo, cuando las condiciones cambian, por ejemplo, debido a una dieta rica en carbohidratos, ciertos microorganismos pueden proliferar y causar enfermedad. La caries dental puede abrir acceso a un nuevo ambiente: el sistema de conductos radiculares. Dado que las condiciones ecológicas en este ambiente son diferentes a las de la cavidad oral, solo determinados microorganismos pueden establecerse en el nuevo hábitat y organizarse en una nueva comunidad microbiana (2).

Los tratamientos endodónticos modernos son altamente efectivos para salvar dientes que, de otro modo, necesitarían ser extraídos. Sin embargo, como cualquier procedimiento médico, siempre existe la posibilidad de fracaso. El tratamiento endodóntico, comúnmente conocido como tratamiento de conducto, es un procedimiento dental destinado a tratar infecciones o daños dentro de la pulpa del diente. Los resultados del tratamiento de conducto están predominantemente influenciados por la naturaleza de la interacción previa entre el huésped y la infección (factores preoperatorios del paciente), la eficacia activa del protocolo de tratamiento del conducto radicular aplicado por el operador para mantener un cambio ecológico microbiano y resolver la inflamación periapical

(factores intraoperatorios del tratamiento) y la capacidad pasiva del diente funcional y su margen restaurador para mantener su integridad y resistir una reinfección (factores restauradores postoperatorios) (1,2).

La evaluación de los resultados del tratamiento endodóntico no quirúrgico implica varios métodos, centrándose en evaluaciones clínicas y técnicas de imagen. Las modalidades de imagen más utilizadas son las radiografías periapicales digitales paralelas y la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Uno de los principales factores que pueden influir en los resultados del tratamiento endodóntico es la adecuada obturación y penetración de los conductos radiculares principales y accesorio con los materiales obturadores y los cementos adecuados. Una obturación deficiente puede comprometer el sellado del sistema de conductos, permitiendo la filtración bacteriana y reduciendo la posibilidad de una adecuada curación periapical (3).

En los últimos años el campo de la endodoncia evolucionó gracias a los avances en materiales y técnicas, aumentando la efectividad de los tratamientos endodónticos (4).

Uno de estos avances fue la introducción de los cementos biocerámicos que destacaron como una innovación significativa (2).

4.1 Quelación

En endodoncia la quelación es el proceso mediante el cual ciertos agentes quelantes, como el EDTA, eliminan el barrillo dentinario, facilitando la limpieza y ensanchamiento de los conductos radiculares. Esto es fundamental para mejorar la preparación biomecánica del conducto, ya que estos agentes reblandecen las paredes dentinarias y ayudan a eliminar la capa de barrillo dentinario (smear layer), lo que permite un mejor contacto del material obturador con las paredes del conducto radicular(4).

Entonces las funciones principales de los agentes quelantes son:

- Facilitar la instrumentación de conductos calcificados o atrésicos.
- Remover la capa de barrillo dentinario, permitiendo una mejor penetración del sellador en los túbulos dentinarios.
- Aumentar la eficacia de la irrigación en combinación con hipoclorito de sodio (NaOCl) u con un otro irrigante (p.ej. clorhexidina).

La combinación de hipoclorito de sodio y EDTA es una de las más efectivas en la remoción del tejido orgánico e inorgánico dentro del sistema de conductos radiculares, garantizando una mejor desinfección y adhesión del material de obturación (5).

4.2. Quelantes

Los **quelantes** son sustancias utilizadas durante la terapia endodóntica para disolver la dentina en conductos infectados, facilitando el paso de los instrumentos y mejorando la penetración de los selladores a la hora de obturar.

Propiedades ideales de un quelante:

- Ser solvente de tejidos y detritos
- Poseer baja toxicidad
- Tener baja tensión superficial
- Eliminar la capa de desecho dentinario
- Funcionar como lubricante
- Ser inodoro, incoloro y de sabor neutro
- Actuar rápidamente y ser de fácil manipulación
- Tener un mecanismo de dosificación simple
- Contar con un tiempo de vida útil adecuado

Acciones principales:

Los quelantes reaccionan químicamente con los iones metálicos (como calcio) de la dentina, formando complejos solubles que ablandan el tejido. Esto cambia la solubilidad y permeabilidad de la dentina, especialmente en áreas ricas en hidroxiapatita, incrementando el diámetro de los túbulos dentinales y facilitando la instrumentación de conductos calcificados o estrechos (4,5).

Los quelantes que han sido utilizados para realizar los experimentos estudiados en los trabajos elegidos para realizar esta revisión sistemática han sido los siguientes:

- EDTA
- Ácido cítrico
- Ácido etidronico (HEDP)

- Ácido maleico
- Qmix (mezcla de EDTA, clorhexidina y detergente)

Estos quelantes no solo eliminan el barrillo dentinario (smear layer), sino que también ayudan en la remoción de detritos orgánicos e inorgánicos, favoreciendo la penetración de los selladores (6).

Los quelantes deben ir acompañados de los irrigantes, que tienen la función de desinfectar, limpiar y preparar el sistema de conductos radiculares para garantizar el éxito del tratamiento endodóntico. La irrigación en endodoncia se define como la introducción de una o más soluciones en la cámara pulpar y los conductos radiculares, antes, durante y después de la preparación biomecánica. Su objetivo principal es eliminar restos de tejido, reducir la carga microbiana y lubricar los conductos radiculares. Los principales irrigantes utilizados en endodoncia son:

- Hipoclorito de Sodio (NaOCl)
- Clorhexidina (CHX)

Dado que ningún irrigante por sí solo cumple con todas las propiedades necesarias para el éxito del tratamiento endodóntico, se recomienda su uso combinado para maximizar la limpieza, desinfección y preservación de los tejidos dentales (7).

4.2.1. Hipoclorito sódico

El NaOCl es ampliamente utilizado en endodoncia como solución irrigadora debido a su eficacia en disolver el tejido pulpar y su acción antimicrobiana (6,8).

Acción antimicrobiana

- Inhibe el metabolismo celular de las bacterias mediante la formación de cloraminas, las cuales interfieren con las funciones enzimáticas esenciales de los microorganismos.
- El alto pH (>11) del NaOCl altera la integridad de la membrana citoplasmática bacteriana lo que lleva a la destrucción celular.

Capacidad de disolución de tejidos

- Degrada los ácidos grasos de la membrana celular reduciendo la tensión superficial y favoreciendo la eliminación del contenido necrótico.
- Reacciona con los aminoácidos para formar agua y sal, reduciendo el pH local y afectando la estructura celular.
- Libera cloro cuando entra en contacto con tejidos orgánicos, el cual reacciona con los grupos amino (NH_2) de las proteínas bacterianas, formando cloraminas.

Biocompatibilidad

- A concentraciones bajas (0.5%-1%), presenta biocompatibilidad aceptable, siendo menos agresivo para los tejidos periapicales.
- A concentraciones más altas (5%), puede disolver tejido pulpar en un tiempo que varía entre 20 minutos y 2 horas (8).

4.2.2. Clorhexidina

La CHX es un agente utilizado en endodoncia como solución irrigante complementaria al uso de otros quelantes.

Acción antimicrobiana

- Posee amplio espectro antimicrobiano.
- Su mecanismo de acción implica la ruptura de la membrana citoplasmática bacteriana, causando precipitación y coagulación del citoplasma, lo que lleva a la muerte celular.
- No disuelve materia orgánica, pero presenta un efecto residual debido a su capacidad de adsorción en tejidos duros y blandos, lo que prolonga su actividad antimicrobiana después del enjuague.

Capacidad de disolución de tejidos

- La clorhexidina no tiene capacidad de disolver tejido necrótico ni restos pulpares.

- Su uso se recomienda en combinación con un agente quelante para eliminar el barrillo dentinario.

Biocompatibilidad

- Poco irritante, lo que lo hace una opción viable en casos de perforaciones o comunicación con el periodonto.
- Tiene buena biocompatibilidad con los tejidos periapicales cuando se usa en bajas concentraciones.
- A altas concentraciones puede causar decoloración de los dientes (9).

4.2.3. EDTA

El EDTA es un agente quelante ampliamente utilizado en endodoncia como solución quelante para remover el barrillo dentinario, favorecer la limpieza del sistema de conductos radiculares y mejorar la penetración de otros irrigantes.

Acción antimicrobiana

- No posee un efecto antimicrobiano significativo, pero su uso potencia la acción antibacteriana de otros agentes.
- Su mecanismo de acción se basa en la quelación de iones de calcio, lo que debilita la estructura celular de algunas bacterias y contribuye indirectamente a su eliminación.

Capacidad de disolución de tejidos

- Su principal función es la remoción del barrillo dentinario (su uso en concentraciones del 17% durante 1-2 minutos es suficiente para eliminar el barrillo dentinario).
- No disuelve tejido orgánico, por lo que debe utilizarse en combinación con otros agentes.

Biocompatibilidad

- Generalmente bien tolerado por los tejidos periapicales si se utiliza dentro del conducto radicular.
- Puede ser irritante si sobresale del ápice (7).

4.2.4. Ácido cítrico

El ácido cítrico es un agente quelante utilizado en endodoncia para la eliminación del barrillo dentinario y la desmineralización de la dentina.

Acción antimicrobiana

- Tiene actividad antimicrobiana moderada.
- Su acción se debe a su pH ácido, que puede alterar la permeabilidad de la membrana bacteriana y dificultar la adhesión de microorganismos.

Capacidad de disolución de tejidos

- No disuelve tejido orgánico.
- Su principal función es remover el barrillo dentinario.

Biocompatibilidad

- Poco irritante, pero puede causar inflamación si se sobrepasa el ápice.
- Se recomienda su uso en concentraciones del 10-20% durante 1-2 minutos para evitar erosión excesiva(8,9).

4.2.5. Ácido etidronico

El HEDP es un agente quelante utilizado en endodoncia por su capacidad para remover el barrillo dentinario y mejorar la desinfección del sistema de conductos radiculares.

Acción antimicrobiana

- No tiene acción antimicrobiana directa, pero puede favorecer la eliminación de bacterias al debilitar la estructura de la biopelícula bacteriana y facilitar la acción de otros irrigantes.

Capacidad de disolución de tejidos

- No disuelve tejido orgánico.
- Su principal función es remover el barrillo dentinario.

- Su acción quelante es suave y progresiva, lo que minimiza la desmineralización excesiva.

Biocompatibilidad

- Presenta baja agresividad sobre la dentina, evitando la erosión excesiva.
- Es biocompatible con los tejidos periapicales y tiene poca toxicidad (10).

4.2.6. Acido maleico

El ácido maleico es un agente quelante utilizado en endodoncia para la remoción del barrillo dentinario y la mejora de la limpieza del sistema de conductos radiculares.

Acción antimicrobiana

- No parece tener una acción antimicrobiana directa.
- Su uso principal se centra en la eliminación del barrillo dentinario.

Capacidad de disolución de tejidos

- No disuelve tejido orgánico.
- Su principal función es la remoción del barrillo dentinario.
- Su acción quelante se considera rápida y eficiente.

Biocompatibilidad

- Poco citotóxico lo que lo hace seguro.
- Presenta baja agresividad sobre la dentina, evitando erosión excesiva (11).

4.2.7. Qmix

Qmix es un irrigante endodóntico que combina EDTA, CHX y un detergente surfactante, diseñado para la remoción del barrillo dentinario y la desinfección del sistema de conductos radiculares.

Acción antimicrobiana

- Su acción antimicrobiana proviene de la CHX.
- Su uso como irrigante final permite una acción antimicrobiana residual debido a la sustantividad de la CHX.

Capacidad de disolución de tejidos

- No disuelve tejido orgánico.
- Su función principal es la remoción del barrillo dentinario.

Biocompatibilidad

- No causa erosión dentinaria significativa.
- Es biocompatible con los tejidos periapicales, reduciendo el riesgo de inflamación (12).

4.3. Bioceramicos

Los bioceramicos son materiales cerámicos, inorgánicos, no metálicos y biocompatibles, diseñados para uso médico y odontológico. Están compuestos por alúmina, zirconio, vidrio bioactivo, cerámica de vidrio, silicato de calcio, hidroxiapatita y fosfatos de calcio reabsorbibles. Son biocompatibles, no tóxicos, estables en entornos biológicos, no se contraen, y presentan una ligera expansión tras la finalización de su proceso de fraguado. Además, tienen la capacidad de formar hidroxiapatita en presencia de agua, lo que los hace insensibles a la humedad (13). De acuerdo con su interacción con los tejidos biológicos, los bioceramicos se clasifican en tres categorías principales:

1) Bioinertes:

- No interactúan con los sistemas biológicos, generando una respuesta insignificante en los tejidos circundantes.

2) Bioactivos:

- Interactúan con el tejido circundante sin degradarse, promoviendo la integración o estimulación biológica.

3) Biodegradables:

- Son solubles o reabsorbibles en entornos biológicos.

En odontología, los biocerámicos fueron introducidos en la década de 1990 con el desarrollo del Agregado de Trióxido Mineral (MTA). Desde entonces, diversas investigaciones han demostrado su potencial en la biomineralización de la interfase biocerámico-dentina, su capacidad para inducir la proliferación de fibroblastos periodontales y su efectividad en la diferenciación celular, particularmente de células de la pulpa dental. También se ha estudiado su bioactividad y capacidad osteoinductiva, que les permite promover la reparación y regeneración de tejidos duros y blandos (11,12).

Propiedades relacionadas con su fraguado y unión con tejidos:

- Son materiales hidrofílicos que utilizan el agua presente en los túbulos dentinarios para su hidratación.
- Contienen silicato de calcio que, tras la hidratación, forma un gel de silicato de calcio o hidrogel e hidróxido de calcio (14).
- Posteriormente, los iones de fosfato reaccionan con el hidróxido de calcio, generando hidroxiapatita en la interfase dentina-material biocerámico. Esto crea una unión tanto física como química con los tejidos dentarios.
- Además, el agua generada durante el proceso de fraguado participa nuevamente en el ciclo de hidratación, asegurando un rendimiento continuo (11,12).

Estas propiedades, junto con su biocompatibilidad, bioactividad y capacidad de biomineralización, hacen los biocerámicos materiales esenciales para múltiples aplicaciones odontológicas, incluyendo la obturación radicular, reparación de perforaciones y revascularización pulpar (15).

Para este trabajo fueron revisados varios estudios que utilizaron los siguientes cementos biocerámicos clasificados según su composición:

1) Cementos a base de silicato de calcio

- *Bio-C Sealer*

- *TotalFill HiFlow*
- *BioRoot RCS*
- *Well-Root ST*
- *TotalFill BC Sealer*
- *EndoSequence BC Sealer*

2) Cementos con gutapercha integrada

- *GuttaFlow Bioseal*

3) Cementos basados en MTA

- *MTA Fillapex*
- *EndoSeal MTA*

Sin embargo, para lograr una penetración óptima en los túbulos dentinarios y una unión más fuerte con los tejidos, estos cementos requieren del uso de quelantes que facilitan la eliminación del barrillo dentinario e irrigantes utilizados en combinación con estos quelantes para garantizar una mejor infiltración de los cementos en un ambiente más estéril (11–13).

5. Justificación del estudio e hipótesis

Justificación

Se justifica la realización de este estudio sobre los cementos biocerámicos y los efectos de los quelantes en su penetración debido a la importancia de optimizar los tratamientos endodónticos. Los cementos biocerámicos poseen propiedades bioactivas y biocompatibles, lo que los hace ideales para el sellado y la regeneración de tejidos dentales. Sin embargo, su interacción con los quelantes, que eliminan la capa de barro dentinario y descalcifican la dentina, podría influir significativamente en su capacidad de penetración y adhesión en los conductos radiculares.

Actualmente, existe poca evidencia científica sobre cómo los quelantes afectan el desempeño de estos cementos. Comprender esta interacción es fundamental para garantizar un sellado hermético más eficiente, aumentar la longevidad de los tratamientos y desarrollar protocolos clínicos más efectivos.

Además, este conocimiento podría contribuir a mejorar los resultados clínicos y a reducir el riesgo de fallos endodónticos. Por estas razones, se considera que este estudio es necesario, ya que no solo aportará al avance científico en esta área, sino que también tendrá un impacto directo en la práctica odontológica, beneficiando tanto a los profesionales como a los pacientes (16).

Asimismo, este trabajo se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 3: Salud y Bienestar, específicamente con el objetivo de lograr la cobertura universal de salud, incluyendo el acceso a servicios de salud de calidad. Al mejorar las técnicas y materiales utilizados en endodoncia, se promueve la preservación de los dientes naturales, reduciendo la necesidad de tratamientos más invasivos o prótesis dentales, lo que impacta directamente en la calidad de vida de los pacientes y en la accesibilidad a una atención odontológica más efectiva y sostenible.

Hipótesis

El hipoclorito sódico utilizado en combinación con el EDTA sigue siendo la mejor opción irrigadora también para los cementos biocerámicos.

6. Objetivos

Objetivo general

Identificar cuál es el agente quelante o la combinación de agentes que proporciona la mejor penetración de los cementos biocerámicos en los túbulos dentinarios.

Objetivos específicos

- Evaluar la profundidad de penetración (μm o mm) de los cementos biocerámicos.
- Analizar el área de penetración: cuántos túbulos dentinales han sido infiltrados por el cemento.
- Comparar la distribución del cemento en las regiones dentinales (zonas coronal, media y apical)
- Medir la erosión de la dentina, observando la desmineralización tras la aplicación de los quelantes.

7. Materiales 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).

7.1. pregunta PIO

Para realizar este trabajo, se buscaron artículos en tres bases de datos diferentes: PubMed, Scopus y Web of Science, para encontrar artículos que evaluaron los varios quelantes y la penetración de los cementos biocerámicos. Inicialmente, se llevó a cabo una búsqueda exploratoria con el objetivo de comprender las tipologías de artículos disponibles y analizar las palabras claves más relevantes identificadas en los diferentes trabajos. Esto permitió optimizar la búsqueda y formular una estrategia final más precisa.

Posteriormente, tras estructurar una pregunta PIO correspondiente a este estudio, se diseñaron ecuaciones de búsqueda específicas para localizar los artículos más relevantes.

Pregunta PIO

¿Cuál es el quelante o la combinación de quelantes que proporciona la mejor penetración de los cementos biocerámicos en dientes tratados endodónticamente?

P: Dientes tratado endodónticamente con cementos biocerámicos.

I: uso de quelantes para mejorar la penetración de los cementos biocerámicos (EDTA, NaOCl, ácido maleico, ácido cítrico, ácido etidronico).

O:

- Ox: cual es el quelante o la combinación de quelantes que proporciona la mejor penetración de los cementos biocerámicos
- O1: Evaluar la profundidad de penetración (μm o mm) de los cementos biocerámicos

- O2: Analizar el área de penetración: cuantos túbulos dentinales que han sido infiltrados por el cemento.
- O3: Comparar la distribución del cemento en las regiones dentinales (zonas coronal, media y apical)
- O4: Medir la erosión de la dentina, observando la desmineralización tras la aplicación de los quelantes.

La comparación fue excluida porque, inicialmente, se trataba del no uso de quelantes (dientes tratados sin irrigación con quelantes). Sin embargo, pocos artículos implementaron este control sin quelantes, y los datos presentados en los que lo incluían no eran relevantes para esta revisión sistemática. Por esto se realizó el trabajo basándonos en una pregunta PIO (Sin la C: comparación).

7.2. Criterios de elegibilidad

Criterios de inclusión

- Estudios in vitro que investiguen la penetración de los cementos biocerámicos en dentina humana o modelos dentales humanos.
- Investigaciones que evalúen el uso de quelantes específicos: Hipoclorito sódico, Clorhexidina, EDTA, Ácido cítrico, Ácido etidronico, Acido maleico, Qmix, solos o en combinación.
- Estudios que analicen el impacto de los quelantes en la penetración de cementos biocerámicos, proporcionando datos cuantitativos o cualitativos.
- Estudios que utilicen como metodología de evaluación de la penetración de los cementos la microscopia confocal laser (CLSM) con marcador fluorescente
- Artículos que comparen diferentes quelantes o combinaciones para identificar los más efectivos en mejorar la penetración de los cementos biocerámicos.
- Publicaciones recientes (últimos 10 años) y disponibles en inglés o español.

Criterios de exclusión

- Estudios que se enfoquen exclusivamente en propiedades químicas o físicas de los cementos o quelantes, sin evaluar la penetración en dentina.
- Investigaciones que utilicen modelos experimentales irrelevantes, como materiales no relacionados con tejidos dentales (por ejemplo, plásticos o metales).
- Artículos que analicen agentes químicos diferentes a los quelantes específicos elegido para este estudio, sin contexto relevante para los cementos biocerámicos.
- Publicaciones no revisadas por pares o de calidad cuestionable (resúmenes de congresos, estudios con datos incompletos o poco detallados).
- Revisiones sistemáticas
- Estudios cuyo enfoque principal sea la comparación de técnicas endodónticas o protocolos de irrigación, sin incluir la evaluación de los quelantes u de los cementos biocerámicos.

7.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Ecuación utilizada en PubMed:

((((((((((((((("bioceramic based sealer"[Title/Abstract]) OR ("bioceramic based sealers"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic sealer"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic root canal sealer"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic root canal sealers"[Title/Abstract])) OR ("totalfill bc"[Title/Abstract])) OR ("totalfill bc sealer"[Title/Abstract])) OR ("hiflow"[Title/Abstract])) OR ("bio c"[Title/Abstract])) OR ("bioroot"[Title/Abstract])) OR ("hydraulic calcium silicate based sealers"[Title/Abstract])) OR ("calcium silicate cement"[Title/Abstract])) OR ("biodentine"[Title/Abstract])) OR ("ah plus"[Title/Abstract])) OR ("mta"[Title/Abstract]))

AND

((((((((((((((((((((((((((((((((((((((agents, chelating[MeSH Terms]) OR (acid, citric[MeSH Terms])) OR (citric acid[MeSH Terms])) OR (etidronic acid[MeSH Terms])) OR (acid, ethylenediaminetetraacetic[MeSH Terms])) OR (sodium hypochlorite[MeSH Terms])) OR (saline solution[MeSH Terms])) OR ("irrigation"[Title/Abstract])) OR ("irrigation solution"[Title/Abstract])) OR ("irrigation solutions"[Title/Abstract])) OR ("irrigating solution"[Title/Abstract])) OR ("irrigating solutions"[Title/Abstract])) OR ("irrigation regimens"[Title/Abstract])) OR ("irrigation protocols"[Title/Abstract])) OR ("irrigation activation technique"[Title/Abstract])) OR ("irrigation activation techniques"[Title/Abstract])) OR ("continuous chelation"[Title/Abstract])) OR ("sequential chelation"[Title/Abstract])) OR ("chelation solution"[Title/Abstract])) OR ("chelation solutions"[Title/Abstract])) OR ("chelating agents"[Title/Abstract])) OR ("maleic acid"[Title/Abstract])) OR ("hebp"[Title/Abstract])) OR ("edta"[Title/Abstract])) OR ("naocl"[Title/Abstract])) OR ("hypoclorite"[Title/Abstract])) OR ("modified naocl"[Title/Abstract])) OR ("paracetic acid"[Title/Abstract])) OR ("qmix"[Title/Abstract])) OR ("final irrigation"[Title/Abstract])) OR ("chitosan nanoparticle"[Title/Abstract])) OR ("saline solution"[Title/Abstract]))))

AND

((((((((((("dentine tubule penetration"[Title/Abstract]) OR ("dentinal tubule penetration"[Title/Abstract])) OR ("sealer penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("maximum sealer penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("root canal sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("deepest sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("penetration"[Title/Abstract])) OR ("penetration area"[Title/Abstract])) OR ("sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("sealer coating"[Title/Abstract])) OR ("penetrability"[Title/Abstract]))

Ecuación utilizada en web of science

("bioceramic based seale*" OR "bioceramic seale*" OR "bioceramic root canal seale*" OR "totalfill bc" OR "total bc sealer" OR "hiflow" OR "bio c" OR

"bioroot" OR "hydraulic calcium silicate based seale*" OR "calcium silicate cement" OR "biodentine" OR "mta")

AND

("Chelating agent*" OR "citric acid" OR "etidronic acid" OR "ethylenediaminetetraacetic acid" OR "sodium hypochlorite" OR "saline solution" OR "irrigation" OR "irrigation solution*" OR "irrigating solution*" OR "irrigating regime*" OR "irrigating protocol*" OR "irrigation activation technique*" OR "continuous chelation" OR "sequential chelation" OR "chelation solution*" OR "maleic acid" OR "hebp" OR "edta" OR "naocl" OR "hypochlorite" OR "modified naocl" OR "paracetic acid" OR "qmix" OR "final irrigation" OR "chitosan nanoparticle" OR "saline solution")

AND

("dentine tubule penetration" OR "dentinal tubule penetration" OR "sealer penetration depth" OR "penetration depth" OR "maximum sealer penetration depth" OR "root canal sealer penetration" OR "deepest sealer penetration" OR "penetration" OR "penetration area" OR "sealer penetration" OR "sealer coating" OR "penetrability")

Ecuación utilizada en Scopus

("bioceramic based seale*" OR "bioceramic seale*" OR "bioceramic root canal seale*" OR "totalfill bc" OR "total bc sealer" OR "hiflow" OR "bio c" OR "bioroot" OR "hydraulic calcium silicate based seale*" OR "calcium silicate cement" OR "biodentine" OR "mta")

AND

("Chelating agent*" OR "citric acid" OR "etidronic acid" OR "ethylenediaminetetraacetic acid" OR "sodium hypochlorite" OR "saline solution" OR "irrigation" OR "irrigation solution*" OR "irrigating solution*" OR "irrigating regime*" OR "irrigating protocol*" OR "irrigation activation

technique*" OR "continuous chelation" OR "sequential chelation" OR "chelation solution*" OR "maleic acid" OR "hebp" OR "edta" OR "naocl" OR "hypochlorite" OR "modified naocl" OR "paracetic acid" OR "qmix" OR "final irrigation" OR "chitosan nanoparticle" OR "saline solution")

AND

("dentine tubule penetration" OR "dentinal tubule penetration" OR "sealer penetration depth" OR "penetration depth" OR "maximum sealer penetration depth" OR "root canal sealer penetration" OR "deepest sealer penetration" OR "penetration" OR "penetration area" OR "sealer penetration" OR "sealer coating" OR "penetrability")

7.4. Selección de los artículos

A todas las ecuaciones se añadieron los filtros para que solo salieran: artículos científicos, estudios experimentales in Vitro, muestras de dientes humanos y publicados en los últimos 10 años.

Acabadas las búsquedas se encontraron 115 artículos (ya descartando los duplicados encontrados en las tres bases de datos). A partir de este punto, comenzamos el análisis de los artículos siguiendo un proceso sistemático para quedarnos con los artículos más relevantes y útiles para nuestro trabajo: primero se evaluaron los títulos, luego los resúmenes (abstracts), y finalmente los textos completos, aplicando los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Tras este proceso, de los 113 artículos iniciales se descartaron 72 artículos por el título, 23 artículos por el resumen, y 10 artículos por el texto completo debido al incumplimiento de los criterios de inclusión / exclusión, quedándonos así con 8 artículos.

La tabla de resumen de las búsquedas con el número de artículos encontrados en cada base de datos y la fecha de realización de la búsqueda se encuentra en el apartado anexo como tabla 1 (resumen de las búsquedas).

7.5. Extracción de datos

Se extrajeron los datos de estudios publicados en los últimos 10 años, con un diseño experimental in vitro y un tamaño muestral de al menos 20 dientes. La evaluación de los resultados se realizó mediante microscopía confocal láser (CLSM), siguiendo los criterios establecidos en cada estudio. Los datos fueron organizados en la tabla 2 en el apartado de anexos para facilitar la comparación de los resultados de los varios estudios.

Variable Principal

Quelante o combinación de quelantes que proporciona la mejor penetración de los cementos biocerámicos: se evaluó cuál de los agentes quelantes utilizados permitió una mayor penetración del cemento biocerámico en los túbulos dentinarios.

Variables Secundarias

Profundidad de penetración de los cementos biocerámicos

- Se midió en micrómetros (μm) mediante CLSM.
- Se comparó entre los distintos protocolos de irrigación con quelantes.

Área de penetración

- Se analizó la cantidad de túbulos dentinarios infiltrados por el cemento biocerámico.
- Se determinó la extensión del sellado intratubular en función del quelante utilizado en porcentaje.

Distribución del cemento en las regiones dentinales

- Se evaluó la penetración en las zonas coronal, media y apical del conducto radicular, medido en μm .
- Se compararon las diferencias en la distribución del cemento según el protocolo de irrigación.

Erosión de la dentina

- Se evaluó la desmineralización y alteración estructural de la dentina tras la aplicación del quelante.
- Se analizó el impacto de la erosión en la capacidad de adhesión del cemento biocerámico.

7.6. valoración de la calidad

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada de manera independiente mediante la aplicación de herramientas específicas para estudios experimentales in vitro, con el objetivo de determinar el riesgo de sesgo y la fiabilidad de los resultados.

Dado que todos los estudios analizados corresponden a diseños experimentales in vitro, se utilizaron las siguientes herramientas de evaluación de calidad:

- 1) Escala modificada de ARRIVE: Se utilizó para valorar la calidad de los estudios en función de la transparencia en el reporte del diseño experimental, considerando criterios como:
 - Definición clara de los objetivos y justificación del estudio.
 - Descripción detallada del tamaño muestral y su selección.
 - Especificación del procedimiento experimental.
 - Uso de controles adecuados.
 - Descripción de los métodos de análisis y resultados.
 - Repetibilidad y reproducibilidad del estudio.

Los estudios fueron clasificados como bajo riesgo de sesgo si cumplían con la mayoría de los criterios, alto riesgo de sesgo si presentaban deficiencias metodológicas significativas, y sesgo incierto cuando la información proporcionada era insuficiente para una evaluación clara.

- 2) Escala CONSORT (modificada para estudios in vitro): Se aplicó para evaluar la calidad en la presentación de los resultados experimentales, con énfasis en:

- Precisión en la aleatorización y ocultación de la asignación de grupos (si aplicaba).
- Transparencia en la presentación de los datos.
- Análisis estadístico adecuado.
- Reporte de resultados completos, evitando sesgos de publicación.

Los resultados detallados de la valoración de la calidad de los estudios incluidos se presentan en las Tablas 4 y 5 en el apartado de resultados.

7.7. Síntesis de datos

Para resumir y comparar las variables de resultado entre los diferentes estudios, los valores de las variables principales fueron agrupados según el grupo de estudio. Dado que los estudios analizados presentan tamaños muestrales distintos, se calculó la media ponderada con el objetivo de obtener resultados más representativos. En función del tipo de variable analizada, la ponderación se realizó dividiendo el número de muestras evaluadas en cada estudio por el total de muestras de todos los estudios y multiplicando este valor por la media reportada en cada estudio.

Para la variable principal (penetración de los cementos biocerámicos), la ponderación se realizó utilizando el número total de muestras dentales analizadas en cada estudio.

Para las variables secundarias (profundidad de penetración, área de infiltración, distribución en las zonas dentinales y erosión de la dentina), la ponderación se ajustó en función del número de muestras utilizadas en cada análisis específico.

Dado que los estudios incluidos son experimentales in vitro, sin comparación directa entre distintos tratamientos en ensayos clínicos controlados, no fue posible realizar un metaanálisis. En su lugar, se llevó a cabo un análisis descriptivo de las variables de resultado, permitiendo una comparación cualitativa y cuantitativa de los datos disponibles.

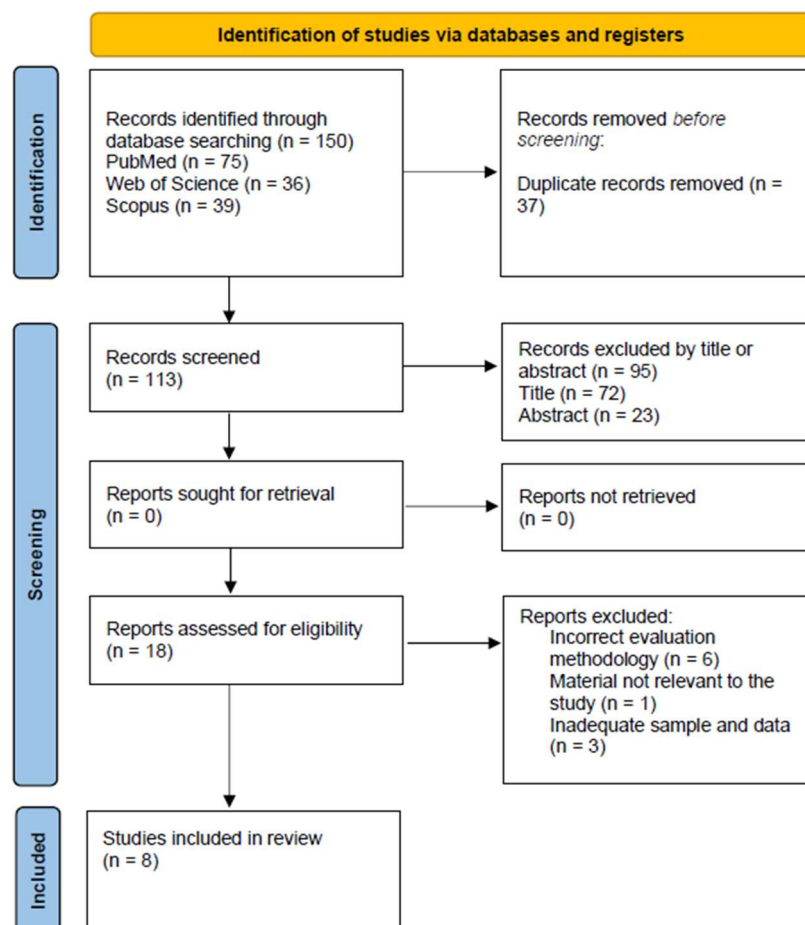
8. Resultados

8.1 Selección de artículos. Flow Chart

La búsqueda dio como resultado final 150 artículos sumando las tres bases de datos Pubmed (75), Web of science (36) y Scopus (39), de estos, había 37 artículos que se repetían en las 3 bases de datos. Entonces empezando de las 113 publicaciones se descartaron 72 por el título y 23 por el abstract, estos 95 artículos descartados fueron revisados dos veces, pero ninguno fue elegido para volver a hacer parte de los artículos válidos.

El último paso de la selección de los artículos fue descartar artículos por el texto completo basándonos en criterios de inclusión y exclusión. En esta etapa fueron descartados 9 artículos (6 por la metodología incorrecta que utilizaban los estudios para evaluar los parámetros que nos interesaban, 1 por la irrelevancia de los materiales presente en el artículo y 3 por los inadecuados datos). A través este cribado nos quedamos con 8 artículos válidos para nuestro trabajo (Fig. 1).

Fig. 1, Flow chart



Los artículos que fueron descartados para el análisis completo, aunque inicialmente parecían adecuados para el trabajo, no cumplían con los criterios establecidos en nuestro estudio. Las razones de su exclusión pueden consultarse en la tabla 3.

Tabla 3, Artículos descartados y razones de su exclusión

Autor y año	Revista / journal	Motivo de exclusión
Dayyoub y cols. (2024)(17)	Cureus	Metodología de evaluación incorrecta: microscopio estereoscópico
Bademela y cols (2024)(18)	Journal of Conservative Dentistry and Endodontics	Falta de datos específicos que impide una evaluación completa de su información
Kachari y cols. (2024)(19)	Journal of Conservative Dentistry and Endodontics	Evalúa principalmente el tipo de activación de los irrigantes más que los irrigantes
Kaplan y cols (2023)(20)	Journal of Esthetic and Restorative Dentistry	No están especificado ni el número de muestra ni los cementos empleados
Rifaat y cols (2022)(21)	European Journal of General Dentistry	Metodología de evaluación incorrecta: Prueba de fuerza de adhesión ("Push-Out Bond Strength")
Eskander y cols. (2021)(22)	Australian Endodontic Journal	Ácido fólico no es relevante para el trabajo
El Sayed y cols (2020)(23)	European Journal of General Dentistry	Metodología de evaluación incorrecta: microscopio estereoscópico
El Sayed y cols (2020)(24)	European Journal of General Dentistry	Metodología de evaluación incorrecta: microscopio estereoscópico
Singh y cols. (2016)(25)	Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects	Metodología de evaluación incorrecta: microscopio estereoscópico

Celik y cols (2013)(26)	Clinic Oral Investigations	Metodología de evaluación incorrecta: Prueba de fuerza de adhesión ("Push-Out Bond Strength")
-------------------------	----------------------------	---

8.2 Análisis de las características de los estudios revisados

De los 8 artículos utilizados en la presente revisión, 6 estudios evaluaron solo la penetración de los cementos biocerámicos en la dentina utilizando quelantes. Además, 4 estudios analizaron la influencia de irrigantes como NaOCl y CHX, siempre en combinación con algún quelante, lo que significa que todos los estudios evaluaron la penetración de los cementos. En total, se evaluaron 420 dientes, distribuidos en diferentes protocolos de irrigación y quelación.

Los cementos biocerámicos utilizados en los estudios fueron:

- EndoSequence BC Sealer, evaluado en 1 estudio.
- Bio-C Sealer, evaluado en 1 estudios.
- MTA Fillapex, evaluado en 1 estudios.
- TotalFill BC Sealer, evaluado en 1 estudios.
- GuttaFlow Bioseal, evaluado en 1 estudios.
- TotalFill HiFlow, evaluado en 2 estudios.
- BioRoot RCS, evaluado en 1 estudios.
- EndoSeal MTA, evaluado en 1 estudios.
- Well-Root ST, evaluado en 1 estudios.

En todos los estudios, los cementos biocerámicos fueron evaluados en función de su penetración en los túbulos dentinarios, área infiltrada, distribución en la dentina y compatibilidad con los protocolos de irrigación utilizando varios quelantes con varias combinaciones. Los quelantes evaluados fueron:

- EDTA, utilizado en 8 estudios.
- Ácido etidróico (HEDP), utilizado en 4 estudios.
- Qmix (mezcla de EDTA, clorhexidina y detergente), utilizado en 3 estudios.

- Ácido cítrico, utilizado en 2 estudios
- Ácido maleico, utilizado en 2 estudios.

Los irrigantes evaluados fueron:

- Hipoclorito de sodio (NaOCl), utilizado en 8 estudios.
- Clorhexidina (CHX), utilizada en 4 estudios.

Los protocolos de irrigación de los estudios analizaron la eficacia de diferentes combinaciones de quelantes e irrigantes, observando su impacto en la penetración de los cementos biocerámicos. Estos protocolos permitieron evaluar la influencia de cada combinación en la penetración de los cementos biocerámicos en los túbulos dentinarios, así como la erosión dentinaria generada por cada combinación.

En los estudios revisados, se evaluaron un total de 420 dientes, distribuidos en distintos protocolos de quelación e irrigación. Los estudios analizaron el efecto de los quelantes en combinaciones con irrigantes para determinar su influencia en la penetración de los cementos biocerámicos en la dentina. Se incluyeron dientes tratados con diferentes protocolos de quelación, como EDTA, ácido etidróico (HEDP), ácido cítrico, ácido maleico y Qmix. Asimismo, se analizaron combinaciones de estos quelantes con irrigantes como hipoclorito de sodio (NaOCl) y clorhexidina (CHX), con el objetivo de evaluar cómo estas combinaciones influían en la adhesión y difusión de los cementos biocerámicos dentro de los túbulos dentinarios. El número de dientes utilizados en cada protocolo varió según la metodología empleada en los estudios, lo que permitió obtener datos detallados sobre la profundidad de penetración del cemento, el área infiltrada, la distribución a lo largo del conducto radicular y los efectos sobre la estructura dentinaria.

Para la evaluación de los resultados se utilizó la microscopía confocal de barrido láser (CLSM), con el fin de determinar hasta qué punto los cementos lograban infiltrarse en la dentina. Asimismo, se examinó el área de penetración, es decir, la cantidad de túbulos dentinarios efectivamente infiltrados por el cemento en cada protocolo. También se estudió la distribución del cemento en las diferentes regiones dentinales (coronal, media y apical), identificando si la

penetración era homogénea a lo largo del conducto o variaba según el protocolo aplicado.

Por último, se evaluó la erosión dentinaria inducida por los quelantes, midiendo la desmineralización generada tras su aplicación. Estos análisis permitieron comparar la eficacia de cada combinación de quelantes e irrigantes, determinando cuáles optimizan la penetración sin comprometer la estructura dentinaria.

Todos los datos fueron recogidos en la tabla 2, presentada en el apartado de anexos.

8.3 Evaluación de la metodológica y riesgo de sesgo

Los estudios evaluados fueron todos experimentales in vitro. Para la evaluación de la calidad metodológica y el riesgo de sesgo, se utilizaron las escalas CONSORT y ARRIVE modificada. Para las dos escalas, los valores fueron categorizados de la siguiente manera:

- 5 puntos: Bajo riesgo de sesgo y alta calidad metodológica.
- 4 puntos: Riesgo moderado de sesgo y calidad metodológica media.
- ≤3 puntos: Alto riesgo de sesgo y baja calidad metodológica.

Los resultados obtenidos con la escala CONSORTE indicaron que 5 artículos presentaron bajo riesgo de sesgo y alta calidad metodológica, mientras 3 mostraron un riesgo moderado de sesgo y una calidad metodológica media. Estos datos se presentan detalladamente en la Tabla 4.

Tabla 4, evaluación de sesgo según la escala CONSORT

A r t í c u l o s	A l e a t o r i z a c i o n	P r e s e d e n t e a d c a l i t o o n s	e s t a a n d a l i s i t i c o s	R e c o m e n d a d o s	r i e s g o d e s e s g o	m e t o d o C o l o c a l i z a c i o n
Gupta y cols. (2024)	?	+	?	+	Bajo	Alta
Hassan y cols. (2023)	+	+	+	+	Bajo	Alta
Teoh y cols. (2023)	-	+	?	+	Moderado	Media
Shekhar y cols. (2023)	+	+	+	+	Bajo	Alta
Gawdat y cols. (2021)	?	+	?	+	Bajo	Alta
Aydin y cols. (2019)	-	?	-	?	Moderado	Media
Bhalla y cols. (2023)	?	+	?	+	Bajo	Alta
Kanwar y cols. (2021)	-	+	?	+	Moderado	Media

Para la escala ARRIVE, se empleó la misma categorización. Los resultados fueron 5 artículos clasificados con bajo riesgo de sesgo y 3 artículos con riesgo moderado de sesgo. La distribución completa de los resultados se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5, evaluación del sesgo según la escala de ARRIVE

A r t i c u l o s	C l a s i f i c a d o r	M u e s t r a	P e r x o p e r d i m e n t e s	c o n t r o l e s	M é t o d o l ó g i c o	R e p r o d u c i b i l i d a d	R i e s g o d e s e s g o
Gupta y cols. (2024)	+	?	+	?	+	+	Bajo
Hassan y cols. (2023)	+	+	+	+	+	+	Bajo
Teoh y cols. (2023)	?	?	+	?	+	?	Moderado
Shekhar y cols. (2023)	+	+	+	+	+	+	Bajo
Gawdat y cols. (2021)	+	?	+	?	+	+	Bajo
Aydin y cols. (2019)	?	-	?	-	?	?	Moderado
Bhalla y cols. (2023)	+	?	+	?	+	+	Bajo
Kanwar y cols. (2021)	?	?	+	?	+	?	Moderado

En cuanto a los principales sesgos identificados, el mayor riesgo de sesgo se observó en la aleatorización, afectando a 5 artículos, lo que indica una posible falta de asignación adecuada de los grupos experimentales. Además, se identificó otro sesgo menos significativo en el análisis estadístico, presente en 3 artículos, lo que podría influir en la interpretación de los resultados.

8.4 Síntesis de resultados

8.4.1 Profundidad de penetración

Los 8 artículos seleccionados de los estudios seleccionados evaluaron la profundidad de penetración del sellador biocerámico en función del irrigante utilizado, midiendo la infiltración en los tercios coronal, medio y apical de la dentina radicular mediante microscopía confocal.

El mayor valor de penetración se observó en el grupo tratado con ácido etidronato (HEDP) combinado con hipoclorito de sodio (NaOCl), con una media

de 920,75 μm en el tercio coronal, seguido por ácido maleico (795,07 μm), Qmix (696,20 μm), EDTA (684,96 μm) y ácido cítrico (617,49 μm) (16,27,28).

En el tercio medio, los valores de penetración oscilaron entre 329,67 μm (Qmix) y 585,20 μm (ácido maleico), siendo también destacable el comportamiento del ácido cítrico (524,70 μm) y del HEDP (536,70 μm) (29). El grupo con EDTA presentó una penetración media de 406,61 μm en esta región.

En el tercio apical, los valores fueron menores, como es habitual debido al menor diámetro y permeabilidad dentinaria. El grupo con HEDP logró la mayor profundidad (604,26 μm), seguido de ácido maleico (343,80 μm), ácido cítrico (343,02 μm), EDTA (228,81 μm) y, por último, Qmix, con tan solo 105,08 μm (30,31).

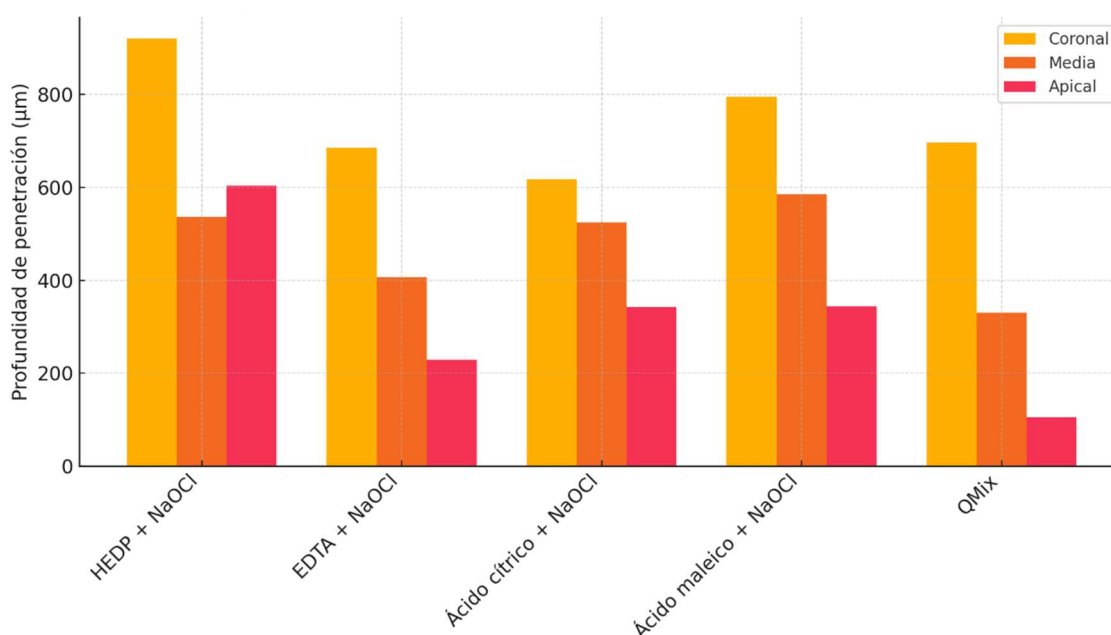
Los resultados de la penetración de los cementos pueden observarse detalladamente en la tabla 6.

Tabla 6 penetración de los cementos bioceramicos en los conductos radiculares medido mediante CLSM, dependiendo del quelante utilizado

Penetracion del cemento bioceramico dependiendo del quelante utilizado		
Quelante	Penetracion μm	Valor cualitativo
HEDP	632.4	muy alta
Ac. Maleico	348.1	moderada
Ac. Citrico	330.5	moderada
EDTA	298.1	moderada
Qmix	86.8	muy bajo

Además, la profundidad media de penetración del sellador biocerámico en los tres tercios del conducto radicular, según el irrigante utilizado, se representa en la figura 2 para poder comparar el comportamiento de cada protocolo.

Fig. 2, Comparación de la penetración del sellador en zonas dentinarias



8.4.2 Porcentaje de túbulos infiltrados

Además de la profundidad, algunos estudios analizaron el porcentaje de túbulos dentinarios infiltrados por el sellador. Los protocolos que combinaron HEDP + NaOCl y ácido maleico + NaOCl obtuvieron los mejores resultados, con infiltración estimada en un 80% a 100% de los túbulos, lo que indica una alta eficacia en la distribución del sellador (16,27).

El uso de ácido cítrico y Qmix produjo un porcentaje moderado de infiltración, del 60% al 80%, mientras que el grupo tratado con EDTA mostró una infiltración más limitada, con valores entre el 40% y el 60%, lo que sugiere una menor capacidad de este irrigante para facilitar la penetración tubular del sellador (28,30).

8.4.3 Distribución en zonas coronal, media y apical

Todos los estudios coinciden en que la penetración del sellador fue mayor en la zona coronal, disminuyendo progresivamente hacia los tercios medio y apical. Esta distribución es atribuida a factores anatómicos, como la densidad y diámetro de los túbulos dentinarios, que disminuyen a medida que se avanza hacia el ápice radicular (16,27–33).

Sin embargo, se observaron diferencias entre los protocolos. El grupo tratado con HEDP + NaOCl logró una penetración más homogénea en los tres niveles, mientras que los grupos con Qmix o EDTA mostraron diferencias más marcadas entre las zonas. En estos últimos, la penetración apical fue considerablemente menor en comparación con el tercio coronal (16,29,33).

La penetración en las varias zonas fue detallada en la tabla 7 junto con la infiltración en los túbulos dentinarios.

Tabla 7, penetración según las zonas coronal, media y apical y porcentaje de túbulos dentinarios infiltrados dependiendo del tipo de quelante utilizado.

Quelante	Pen. Coronal μm	Pen. Media μm	Pen. Apical μm	% Tubulos infiltrados
Acido etidronato (HEDP) + NaOCl	92.075	536.7	604.26	80-100 (Tubulos ampliamente infiltrados)
EDTA + NaOCl	684.96	406.61	228.81	40-60 (infiltracion parcial)
acido citrico + NaOCl	617.49	524.7	343.02	60-80 (buena infiltracion tubular)
Acido maleico + NaOCl	795.07	585.2	343.8	80-100 (Tubulos ampliamente infiltrados)
Qmix	696.2	329.67	105.08	60-80 (buena infiltracion tubular)

8.4.4 Profundidad hacia cemento

Algunos estudios también midieron la profundidad de infiltración hacia el cemento radicular, como indicador de la capacidad del sellador para cubrir zonas profundas de la estructura dentaria.

El grupo con HEDP presentó la mayor profundidad hacia cemento con 632,4 μm , seguido por ácido maleico (348,1 μm), ácido cítrico (330,5 μm) y EDTA (298,1 μm). El grupo con Qmix registró el valor más bajo, con 86,8 μm , lo que podría estar relacionado con su menor efectividad en las zonas más profundas o con características fisicoquímicas del irrigante (28,30,32).

8.4.5 Erosión de la dentina

La erosión dentinaria fue poco evaluada de forma cuantitativa, pero el análisis de los artículos sugiere que el EDTA es el agente con mayor riesgo de inducir daño estructural. Diversos estudios mencionan su potencial para eliminar agresivamente el *smear layer*, causar desmineralización superficial y afectar la matriz intertubular Kanwar y cols. (30).

En contraposición, el HEDP no fue asociado con erosión en ningún estudio, lo que se explica por su naturaleza de quelante suave y su compatibilidad con NaOCl. Qmix, aunque contiene EDTA, no mostró signos de erosión, posiblemente gracias a la acción taponadora de la clorhexidina y su tensioactivo. Los ácidos cítrico y maleico, si bien efectivos en penetración, no presentaron evidencia de erosión en los artículos revisados (16,32).

9. Discusión

9.1 Interpretación general y concordancia de resultados

Los resultados extraídos de los ocho estudios seleccionados para esta revisión sistemática coinciden en destacar la importancia del protocolo de irrigación final en la capacidad de penetración intratubular de los selladores biocerámicos. En términos generales, los agentes quelantes como el EDTA, el HEDP (etidronato) y el Qmix demostraron ser significativamente más eficaces que el agua destilada o soluciones control, favoreciendo una mayor profundidad, área o porcentaje de penetración del sellador en los túbulos dentinarios (16,27,29). Esta mejora se atribuye, principalmente, a la eliminación más eficiente de la capa de barrillo dentinario y al aumento en la permeabilidad de las paredes del conducto (34–36).

Asimismo, se confirma una tendencia consistente: la penetración del sellador es mayor en el tercio coronal y disminuye progresivamente hacia el tercio apical, independientemente del irrigante o técnica de activación empleada (16,27,35,36). Esta distribución desigual se explica por factores anatómicos y limitaciones en la accesibilidad del irrigante o del material obturador en las zonas más profundas del conducto radicular.

En conjunto, los estudios muestran una concordancia general respecto a la superioridad de los protocolos que combinan hipoclorito sódico con quelantes frente a los irrigantes individuales. No obstante, existen variaciones

metodológicas importantes (tipo de diente, técnica de obturación, secciones analizadas, tipo de sealer biocerámico empleado), que se tendrán en cuenta en los apartados siguientes para un análisis comparativo más detallado (28,29,34).

9.2 Profundidad de penetración: factores clave y diferencias entre irrigantes

La profundidad de penetración de los selladores biocerámicos en los túbulos dentinarios es uno de los parámetros más relevantes para evaluar la calidad del sellado tridimensional del sistema de conductos radiculares. En los estudios analizados, este parámetro fue evaluado mayoritariamente mediante microscopia confocal láser, lo que aporta una medición precisa de la extensión del sealer dentro de la dentina, especialmente en cortes horizontales a distintos niveles del conducto. Los resultados mostraron que los irrigantes quelantes permiten una penetración significativamente mayor en comparación con el uso exclusivo de hipoclorito sódico o agua destilada(16,27,29,32).

Entre los irrigantes evaluados, el EDTA al 17% sigue siendo el agente más estudiado y, en muchos casos, el que proporciona mayores valores de penetración, especialmente cuando se utiliza tras una irrigación previa con NaOCl. Sin embargo, también se ha observado que su eficacia puede verse comprometida por su potencial de desmineralización excesiva y por una posible reducción en la capacidad antibacteriana del hipoclorito sódico si ambos agentes se combinan en una secuencia inadecuada (34,37).

Por otro lado, el HEDP (o etidronato) ha demostrado una capacidad quelante moderada, pero con una mejor compatibilidad química con el NaOCl, permitiendo el concepto de "quelación continua". Este enfoque, evaluado por Hassan y Roshdy (35), mostró resultados comparables a la irrigación clásica con EDTA, especialmente en el tercio coronal, donde la irrigación tiene mayor eficacia. Además, el uso de HEDP mostró una menor tendencia a provocar erosión dentinaria, lo que podría suponer una ventaja clínica relevante a largo plazo.

El Qmix 2-in-1, que combina EDTA, clorhexidina y un tensioactivo, se destacó por su elevada capacidad de penetración, particularmente con selladores como Endosequence BC y EndoSeal MTA (27). Kanwar et al. (30) reportaron que Qmix proporcionó mayor profundidad de penetración y porcentaje

de área infiltrada que el EDTA o el agua destilada. Esto podría explicarse por su menor tensión superficial y su actividad antimicrobiana residual, factores que favorecen tanto la difusión del irrigante como del propio sellador.

9.3 Comparación por tercios radiculares

Una observación reiterada en los estudios incluidos es la variación significativa en la penetración intratubular del sellador según el tercio del conducto analizado. En general, se ha constatado que la penetración es más elevada en el tercio coronal, seguida por el tercio medio, y siendo menor en el tercio apical (16,27,29,32,35,36). Esta distribución puede explicarse por factores anatómicos y técnicos.

Los túbulos dentinarios son más anchos y numerosos en las regiones coronales del conducto, lo cual facilita la difusión del sellador. En contraste, hacia la zona apical, el número y el diámetro de los túbulos disminuyen considerablemente, lo que, sumado a la menor accesibilidad física del instrumental e irrigantes, condiciona una reducción significativa en la penetración del material obturador (34,35,38).

Kaplan y Erdemir (38) observaron que, independientemente del irrigante utilizado, la menor profundidad de penetración se registraba sistemáticamente en el tercio apical. Incluso con técnicas de activación como EndoVac o láser Er:YAG, la tendencia descendente según la localización radicular se mantuvo sin cambios significativos. Este patrón fue confirmado también por Arılı Öztürk et al. (34).

A pesar de estas limitaciones, algunos selladores como Endosequence BC y MTA Fillapex han mostrado un comportamiento algo más favorable en el tercio apical, probablemente por su menor viscosidad y mejor humectación dentinaria (27,28,36).

9.4 Influencia del tipo de irrigación (convencional, continua y activada)

La técnica de irrigación desempeña un papel fundamental en la eficacia del tratamiento endodóntico, no solo en la eliminación de restos orgánicos e inorgánicos, sino también en la preparación del sustrato dentinario para una óptima penetración del sellador. En este contexto, se han comparado principalmente tres enfoques: irrigación convencional con jeringa, irrigación

continua con agentes como el HEDP (quelación continua), y técnicas de irrigación activada mediante ultrasonido, presión negativa o láser.

En los estudios revisados, la irrigación convencional (empleando jeringa y aguja de calibre fino) mostró limitaciones evidentes en cuanto a la distribución del irrigante, especialmente en las zonas apicales del conducto (34,35,38). Diversos trabajos han demostrado que esta técnica permite la llegada efectiva del irrigante solo hasta 1 mm más allá de la punta de la aguja, dejando zonas no irrigadas que comprometen la limpieza profunda y la posterior penetración del sealer (35,38).

En contraste, la irrigación activada ha demostrado mejorar significativamente la eficacia del protocolo. Kaplan y Erdemir [36, 38] compararon la irrigación convencional con técnicas como el ultrasonido pasivo (PUI), la presión negativa (EndoVac), y la activación láser (Er:YAG y Er,Cr:YSGG), observando que estas últimas generaban mayores profundidades y porcentajes de penetración del sellador. Estos hallazgos coinciden con los de Akcay et al. (36), quienes confirmaron que tanto el PUI como la activación láser mediante PIPS mejoraron la penetración en comparación con la irrigación convencional.

Por otro lado, el concepto de quelación continua, introducido mediante el uso combinado de hipoclorito sódico y HEDP, ha ganado interés en los últimos años por su simplicidad y seguridad. En el estudio de Hassan y Roshdy (35), la irrigación con NaOCl/HEDP logró resultados comparables a la secuencia clásica con EDTA, destacando en tercios corales y medios del conducto. Además, al no neutralizar el cloro activo, preserva su capacidad antimicrobiana (37,38).

Finalmente, Arılı Öztürk et al. (34) evaluaron el efecto de la temperatura del irrigante, observando que el calentamiento del EDTA, HEDP y ácido peracético incrementó la eficacia en algunos casos. Esto sugiere que factores físicos también pueden modular el rendimiento clínico.

En la tabla 8 se presenta la comparativa entre las varias técnicas de irrigación y que efectos tienen en la penetración del cemento biocerámico.

Tabla 8: Comparativa de técnicas de irrigación y su impacto en la penetración

Técnica de irrigación	Estudios relevantes	Ventajas	Limitaciones
Convencional (jeringa)	34 36 37	Accesible y simple	Distribución limitada; menor eficacia apical
Activada ultrasonicamente (PUI)	36 38	Mejor limpieza por cavitación; mayor penetración	Requiere equipo específico; curva de aprendizaje
Presión negativa (EndoVac)	36	Reduce extrusión apical; buena eficacia en zonas profundas	Sistema costoso; técnica sensible
Láser (Er:YAG, PIPS)	36 38	Alta efectividad; penetración mejorada	Equipamiento costoso; posibilidad de sobrecalentamiento
Quelación continua (NaOCl + HEDP)	35 37	No inactiva NaOCl; seguro y biocompatible	Quelación más lenta; eficaz algo inferior al EDTA en apical

9.5 Erosión dentinaria y biocompatibilidad

Si bien la profundidad de penetración es un indicador deseable, debe interpretarse con cautela cuando se asocia al riesgo de erosión dentinaria. Algunos irrigantes, especialmente el EDTA, pueden provocar una desmineralización excesiva de la dentina peritubular, debilitando la estructura y afectando la adhesión del sellador (37,38).

El EDTA, aunque eficaz en la eliminación del barrillo, ha sido vinculado con zonas de erosión dentinaria, especialmente con tiempos prolongados de aplicación o si se combina de forma inmediata con NaOCl (34,37). Esto puede inducir colapsos en la matriz colágena, afectando tanto la integridad estructural como el sellado. Además, su acción no selectiva sobre el calcio puede ser desfavorable en conductos con paredes delgadas.

En contraste, HEDP y Qmix presentan un perfil más conservador. El primero permite una quelación sostenida sin erosión significativa, incluso tras exposiciones prolongadas (37). Qmix, por su parte, combina limpieza eficaz y mejor biocompatibilidad, siendo menos agresivo con la dentina (27,28).

Estas consideraciones son claves en casos donde se necesita conservar la estructura dentinaria, como en dientes jóvenes, con reabsorciones o paredes debilitadas.

9.6 Influencia del tipo de sellador biocerámico

Además del protocolo de irrigación, el tipo de sellador utilizado influye notablemente en la capacidad de penetración intratubular, debido a diferencias en propiedades fisicoquímicas como la viscosidad, el tamaño de partícula, la capacidad de humectación, el tiempo de fraguado y la interacción química con la dentina. En los estudios seleccionados, los selladores basados en silicato cálcico como Endosequence BC Sealer, TotalFill BC Sealer o MTA Fillapex fueron los más evaluados, presentando comportamientos diversos según el contexto experimental.

La mayoría de los estudios coincidieron en que los selladores biocerámicos poseen una alta capacidad de penetración, atribuida a su baja viscosidad, su capacidad de formar hidroxiapatita mediante interacción química con la dentina, y su naturaleza hidrofílica, lo cual favorece la difusión en un medio húmedo (16,27,29). En concreto, el TotalFill BC Sealer ha mostrado resultados superiores en comparación con otros selladores, especialmente cuando se utiliza con técnicas de obturación térmicas como el sistema de compactación vertical caliente (37).

No obstante, las diferencias entre selladores no siempre son estadísticamente significativas. Kaplan y Erdemir [36], al comparar AH Plus con TotalFill BC Sealer, no hallaron diferencias relevantes en penetración entre ambos materiales, aunque sí observaron que los efectos eran modulados por la técnica de irrigación utilizada. En estudios como el de Akcay et al.(36), iRoot SP mostró una penetración significativamente mayor que MTA Fillapex, GuttaFlow y Bioseal, lo que indica que existen diferencias intermateriales que deben considerarse.

También es importante tener en cuenta que algunos selladores biocerámicos están diseñados específicamente para técnicas sin calor, y su exposición a altas temperaturas puede alterar su viscosidad y tiempo de fraguado. Por tanto, la elección del sellador debe estar en sintonía con la técnica de obturación y el protocolo de irrigación utilizado.

9.7 Implicaciones clínicas y sugerencias de protocolo

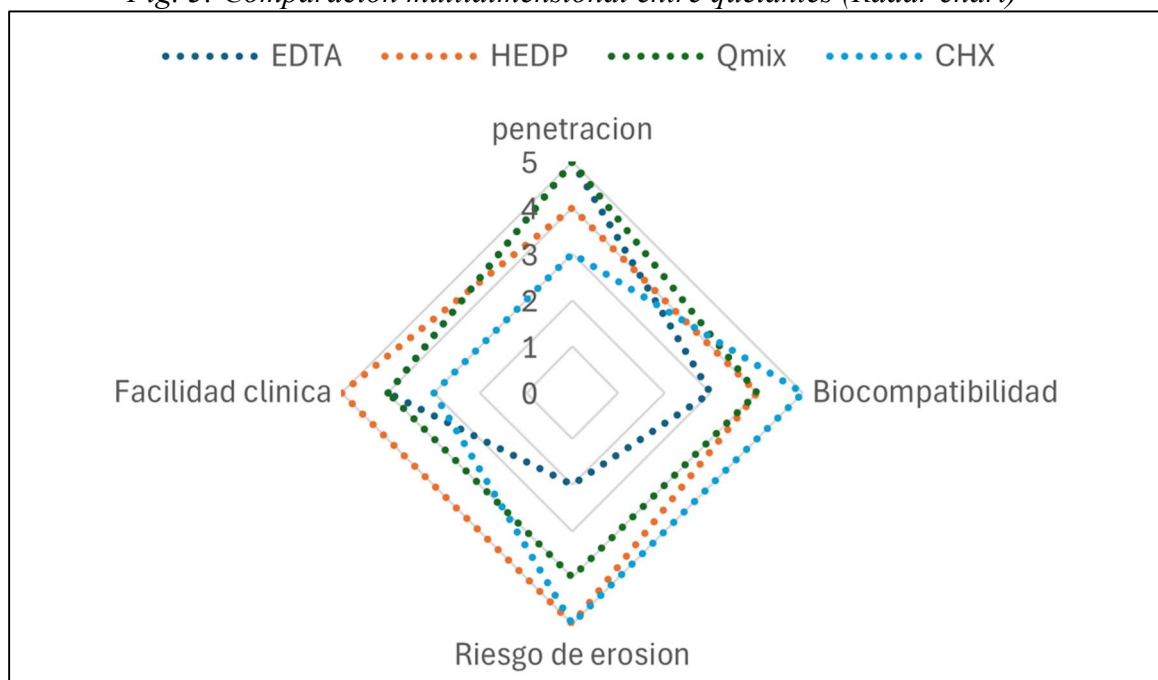
Los hallazgos de esta revisión tienen una serie de implicaciones clínicas relevantes para la práctica endodóntica. En primer lugar, se evidencia que la

elección del irrigante y su modo de aplicación influyen de manera directa en la calidad del sellado tridimensional del conducto, lo cual es determinante en la prevención de la reinfección bacteriana. Protocolos que integran hipoclorito sódico con un quelante (como EDTA, HEDP o Qmix), especialmente cuando se aplican con técnicas de activación, consiguen una mayor penetración del sellador en los túbulos dentinarios, lo que refuerza tanto el anclaje mecánico como la obturación de espacios potenciales para la recolonización microbiana (27,29,35).

Asimismo, la irrigación activada debe considerarse en situaciones clínicas complejas, como conductos estrechos, retratamientos o anatomías aberrantes, donde la irrigación convencional puede resultar insuficiente (34–36).

Desde el punto de vista clínico, es fundamental valorar no solo la capacidad de penetración, sino también otros factores como la biocompatibilidad, la agresividad sobre la dentina o la facilidad de aplicación del irrigante. Esta comparación multidimensional se puede visualizar en la Figura 3.

Fig. 3: Comparación multidimensional entre quelantes (Radar chart)



Este tipo de representación permite sintetizar los criterios más relevantes a la hora de seleccionar un irrigante en la práctica clínica diaria.

A la luz de los datos revisados, se puede sugerir un protocolo clínico basado en:

- Irrigación inicial con NaOCl al 5,25%.
- Irrigación final con EDTA al 17% o HEDP, preferiblemente con quelación continua.
- Secado del conducto con conos de papel.
- Obturación con sellador biocerámico adecuado para la técnica elegida.
- Sellado coronal inmediato.

9.8 Limitaciones de los estudios incluidos

Aunque los resultados de esta revisión sistemática ofrecen una visión detallada y consistente sobre los factores que influyen en la penetración de los selladores biocerámicos, es importante señalar ciertas limitaciones metodológicas presentes en los estudios incluidos. En primer lugar, todos los artículos analizados fueron estudios *in vitro*, lo que implica que las condiciones experimentales no siempre reflejan con fidelidad el entorno clínico real. Factores como la presión intrapulpar, la humedad relativa del conducto, la respuesta inmunológica o la variabilidad anatómica entre pacientes no pueden ser reproducidos de forma exacta en laboratorio (16,29,34).

Asimismo, existe una notable heterogeneidad metodológica entre los estudios, tanto en el tipo de dientes utilizados (anteriores, premolares, unirradiculares), como en el calibre final de instrumentación, las técnicas de obturación, los tiempos de exposición al irrigante, los tipos de selladores y los métodos de medición (profundidad, área, porcentaje de penetración). Esta falta de estandarización complica la comparación directa entre estudios y limita la posibilidad de realizar un metaanálisis cuantitativo (27,35,36).

Otra limitación relevante es la escasa evaluación del comportamiento a largo plazo de los materiales. La mayoría de los estudios miden la penetración del sellador de forma inmediata o tras tiempos muy cortos de almacenamiento, sin valorar si esta penetración se mantiene en el tiempo, ni su relación con el sellado apical o con la resistencia a microfiltración.

Por último, el uso de técnicas como la microscopía confocal, aunque muy precisa, presenta también limitaciones, ya que solo se evalúan cortes horizontales y no se analiza la distribución tridimensional completa del sellador.

Por tanto, los resultados deben interpretarse con prudencia y no extrapolarse de forma directa a la clínica sin considerar estos factores.

9.9 Recomendaciones para futuras investigaciones

Teniendo en cuenta las limitaciones observadas, se plantean varias líneas de mejora para estudios futuros. En primer lugar, sería recomendable desarrollar investigaciones *in vivo* o *ex vivo*, que consideren factores clínicos reales y permitan observar el comportamiento del sellador a largo plazo, especialmente en cuanto a resistencia a la microfiltración, estabilidad dimensional y biocompatibilidad periapical.

También se sugiere una mayor homogeneización de los protocolos experimentales, incluyendo el uso de muestras dentales similares, métodos de irrigación estandarizados, y técnicas de medición complementarias que evalúen tanto la distribución superficial como la profundidad tridimensional del sellador.

Además, sería pertinente ampliar la comparación entre selladores biocerámicos de última generación, especialmente aquellos adaptados a técnicas con calor (como TotalFill HiFlow), y valorar su comportamiento con diferentes técnicas de activación del irrigante. Sería también de interés analizar cómo la combinación de irrigación activada con obturación termoplástica puede mejorar los resultados.

Por último, futuros estudios deberían centrarse en el equilibrio entre penetración y preservación dentinaria, es decir, buscar protocolos que optimicen el sellado sin provocar erosión, lo cual implica evaluar en paralelo tanto la capacidad de limpieza como los efectos estructurales sobre la dentina.

9.10 Relación con la hipótesis y objetivos

La hipótesis planteada al inicio de este trabajo proponía que el protocolo de irrigación influye significativamente en la penetración intratubular de los selladores biocerámicos. Tras analizar los ocho estudios seleccionados y compararlos con literatura adicional, esta hipótesis se confirma de forma sólida. Los irrigantes quelantes (EDTA, HEDP, Qmix) utilizados tras o en combinación con hipoclorito sódico, especialmente cuando se aplican con técnicas de activación, permiten alcanzar mayores profundidades y áreas de penetración del sellador en los túbulos dentinarios (27,29,37).

En consecuencia, se cumplen también los objetivos específicos del estudio:

- Se ha identificado y analizado cómo los diferentes irrigantes afectan a la capacidad de los selladores para penetrar en la dentina.
- Se ha observado que la distribución de dicha penetración varía según la localización radicular, siendo menor en el tercio apical.
- Se han evaluado los efectos colaterales sobre la dentina (erosión) y las implicaciones clínicas que derivan de estos hallazgos.
- Finalmente, se ha propuesto un protocolo clínico optimizado que sintetiza la evidencia actual.

Por tanto, los objetivos del trabajo se han cumplido, y la hipótesis de partida ha sido validada a través del análisis crítico y comparativo de la literatura científica más reciente.

10. Conclusión

Esta revisión sistemática confirma que el protocolo de irrigación influye significativamente en la capacidad de penetración intratubular de los selladores biocerámicos, validando la hipótesis inicial del estudio. Entre los quelantes evaluados, el ácido etidróico (HEDP) se ha mostrado especialmente eficaz, ofreciendo una penetración más profunda y homogénea que el EDTA, sin asociarse a una erosión dentinaria marcada. Aun así, el EDTA continúa siendo eficaz cuando se emplea con una secuencia adecuada, y el Qmix destaca como una alternativa prometedora por su acción combinada y resultados consistentes.

Por su parte, el ácido maleico ha mostrado un comportamiento comparable al EDTA, aunque la evidencia aún es limitada. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de reconsiderar los protocolos clásicos y explorar esquemas de irrigación que prioricen tanto la eficacia como la biocompatibilidad y la integridad dentinaria.

A nivel clínico, se recomienda la adopción de protocolos que combinen hipoclorito con agentes quelantes suaves o multifuncionales, especialmente si se emplean técnicas de activación o irrigación continua. Se destaca también la importancia de seguir investigando variables como la temperatura del irrigante, el tipo de sealer y su interacción con técnicas de obturación termoplástica.

En conclusión, la integración de nuevas estrategias de irrigación basadas en evidencia puede contribuir de forma significativa al éxito a largo plazo de los tratamientos endodónticos modernos.

11. Bibliografía

- 1) Glickman GN, Schweitzer JL. *Endodontic Diagnosis*. ENDODONTICS: Colleagues for Excellence. American Association of Endodontists; Fall 2013.
- 2) Persoon IF, Özok AR. Definitions and epidemiology of endodontic infections. *Curr Oral Health Rep*. 2017;4(4):278–85.
- 3) Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. *Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography*. *J Endod*. 2007;33(9):1121–32. doi:10.1016/j.joen.2007.11.023.
- 4) Dennis D, Suebnukarn S, Vicharueang S, Limprasert W. Development and evaluation of a deep learning segmentation model for assessing non-surgical endodontic treatment outcomes on periapical radiographs: A retrospective study. *PLoS ONE*. 2024;19(12):e0310925.
- 5) Blandón Paz B, Haslam Galo GA. Propuesta de protocolo de irrigación para la desinfección de conductos radiculares. Tesis de especialidad en Endodoncia. UNAN-León; 2015.
- 6) Baquerizo Paye OE. Utilización de sustancias quelantes en dientes con conductos atrésicos. Universidad de Guayaquil, Facultad Piloto de Odontología; 2008.
- 7) Miliani R, Lobo K, Morales O. Irrigación en endodoncia: puesta al día. *Acta Bioclínica*. 2012;2(4):85–88.
- 8) Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JC, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Braz Dent J*. 2002;13(2):113–7.
- 9) Immich F, Rödiger T, Kanzow P, Piva E, Rossi-Fedele G. Effectiveness of root canal irrigation and dressing for the treatment of asymptomatic apical periodontitis: A systematic review assessing complementary timeframes. *Aust Endod J*. 2025;00:1–9.
- 10) Álvarez Sagüés A. Eficacia de los quelantes EDTA y HEDP en la eliminación del biofilm maduro de *Enterococcus faecalis* mediante

- activación ultrasónica pasiva (PUI) y limas XP-Endo finisher XPF. Tesis Doctoral. Universidad CEU San Pablo, CEINDO-CEU; 2021.
- 11) Molina ME, Manlla AM, Oliva MA, López ME, López GL, De la Casa ML. Capacidad de limpieza en paredes dentinarias de soluciones de irrigación endodónticas quelantes con y sin ultrasonido. *Canal Abierto*. 2021;44:14–22.
 - 12) Stojcic S, Shen Y, Qian W, Johnson B, Haapasalo M. Antibacterial and smear layer removal ability of a novel irrigant, QMiX. *Int Endod J*. 2012;45(4):363–71.
 - 13) Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J*. 2018;30(4):273–82.
 - 14) Mestry SU, Kalmegh S, Mhaske ST. Mineral trioxide aggregates (MTA) in dentistry: A review on chemistry, synthesis methods, and critical properties. *Silicon*. 2023;15:2231–49.
 - 15) Espinoza F, Lizana A, Muñoz P. Biocerámicos en odontología: una revisión de literatura. *Canal Abierto*. 2020;41:14–21.
 - 16) Gupta K, Shetty SS, Tandale AB, Srikurmam M, Nihalani H. Comparative evaluation of continuous and sequential chelation on the dentinal tubule penetration of bioceramic-based sealer – A confocal laser scanning microscopic study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2024 Sep 1;27(9):935–41.
 - 17) Dayyoub G, Al-Tayyan M, Alsayed Tolibah Y, Achour H. How Irrigants Affect Mineral Trioxide Aggregate (MTA) Sealing in Furcal Perforations: An In Vitro Study. *Cureus [Internet]*. 2024 Oct 2.
 - 18) Bademela SL, Raju TBVG, Parvathaneni KP, Seshadri A, Dondapati GD. A confocal laser scanning microscopic analysis of efficacy of different activated irrigants in the removal of calcium hydroxide medicament and subsequent penetrability of Bio-C sealer – An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2024 Oct 1;27(10):1015–20.
 - 19) Kachari M, Adarsha MS, Meena N, Kumari A, Sudhanva ME, Vijayalakshmi L. Assessment of different irrigation techniques on the penetration depth of different sealers into dentinal tubules by confocal

- laser scanning microscope: An in vitro comparative study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2024 Apr 1;27(4):388–92.
- 20) Kaplan F, Erdemir A. Evaluating the effect of different irrigation activation techniques on the dentin tubules penetration of two different root canal sealers by laser scanning confocal microscopy. *Microsc Res Tech*. 2023 Jul 1;86(7):791–802.
- 21) Rifaat S, Rahoma A, Alkhalifa F, Alquraini G, Alsalman Z, Alwesaibi Z, et al. Push-Out Bond Strength of EndoSeal Mineral Trioxide Aggregate and AH Plus Sealers after Using Three Different Irrigation Protocols. *Eur J Dent*. 2023 Feb 23;17(1):76–81.
- 22) Eskander M, Genena S, Zaazou A, Moussa S. Effect of phytic acid and ethylenediaminetetraacetic acid on penetration depth of bioceramic and resin sealers. *Australian Endodontic Journal*. 2021 Dec 1;47(3):506–11.
- 23) El Sayed M. Effect of two irrigation protocols and obturation techniques on the apical sealing ability of different root canal sealers: An in vitro study. *European J Gen Dent*. 2020 Jan 1;9(1):33–9.
- 24) El Sayed M. Impact of irrigation solutions on the apical sealing potential of different endodontic sealers used with the continuous-wave obturation technique: An in vitro study. *European J Gen Dent*. 2020 Sep 1;9(3):134–40.
- 25) Singh R, Pushpa S, Arunagiri D, Sawhny A, Misra A, Sujatha R. The effect of irrigating solutions on the apical sealing ability of MTA Fillapex and Adseal root canal sealers. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2016 Dec 21;10(4):251–6.
- 26) Çelik D, Er K, Serper A, Taşdemir T, Ceyhanlı KT. Push-out bond strength of three calcium silicate cements to root canal dentine after two different irrigation regimes. *Clin Oral Investig*. 2014 May 1;18(4):1141–6.
- 27) Hassan R, Roshdy NN. Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer: a confocal laser microscopy study. *BMC Oral Health*. 2023 Dec 1;23(1).
- 28) Shekhar S, Mallya PL, Ballal V, Shenoy R. To evaluate and compare the effect of 17% EDTA, 10% citric acid, 7% maleic acid on the dentinal tubule penetration depth of bio ceramic root canal sealer using confocal laser scanning microscopy: an in vitro study. *F1000Res*. 2022 Dec 22;11:1561.

- 29)Gawdat SI, Bedier MM. Influence of dual rinse irrigation on dentinal penetration of a bioceramic root canal sealer: A Conofocal microscopic Analysis. Australian Endodontic Journal. 2022 Dec 1;48(3):481–6.
- 30)Aydın ZU, Özyürek T, Keskin B, Baran T. Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study. Odontology. 2019 Jan 25;107(1):64–71.
- 31)Kanwar SS, Taneja S, Kumar P, Dudeja C. Effect of final irrigant on depth of tubular penetration of resin-based root canal sealer and bioactive sealers using confocal laser scanning microscope. Endodontology. 2020 Oct 1;32(4):204–8.
- 32)Bhalla G, Bansal A, Kukreja N, Sharma A, Chhabra S, Sachdeva S. Irrigation Sequence Influence on Penetration of Root Canal Sealers in Dentinal Tubule: Confocal Laser Scanning Microscopy and Push-out Bond Strength Analysis. World Journal of Dentistry. 2023 Jul 1;14(7):598–603.
- 33)Teoh YY, Liew KY, Siao J, Wong S, Chandler N, Bogen G. The effects of chelation on the intratubular penetration depth of mineral trioxide aggregate. Australian Endodontic Journal. 2023 Dec 1;49(3):483–91.
- 34)Arılı Öztürk E, Çanakçı BC, Turan Gökdoğan C. Effect of various final irrigation solutions at different temperatures on dentin tubule penetration of bioceramic-based root canal sealer. BMC Oral Health. 2025 Dec 1;25(1).
- 35)Ozasir T, Eren B, Gulsahi K, Ungor M. The Effect of Different Final Irrigation Regimens on the Dentinal Tubule Penetration of Three Different Root Canal Sealers: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study in Vitro. Scanning. 2021;2021.
- 36)Hassan R, Roshdy NN. Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer: a confocal laser microscopy study. BMC Oral Health. 2023 Dec 1;23(1).
- 37)Kaplan F, Erdemir A. Evaluating the effect of different irrigation activation techniques on the dentin tubules penetration of two different root canal sealers by laser scanning confocal microscopy. Microsc Res Tech. 2023 Jul 1;86(7):791–802.

- 38) Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID. Dentine tubule penetration of AH Plus, iRoot SP, MTA fillapex, and guttaflow bioseal root canal sealers after different final irrigation procedures: A confocal microscopic study. *Lasers Surg Med*. 2016 Jan 1;48(1):70–6.

12. Anexos

Tabla 1 (resumen de las búsquedas)

Base de datos	Ecuación de búsqueda	nº artículos	Fecha
PubMed	((((((((((((((("bioceramic based sealer"[Title/Abstract]) OR ("bioceramic based sealers"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic sealer"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic root canal sealer"[Title/Abstract])) OR ("bioceramic root canal sealers"[Title/Abstract])) OR ("totalfill bc"[Title/Abstract])) OR ("totalfill bc sealer"[Title/Abstract])) OR ("hiflow"[Title/Abstract])) OR ("bio c"[Title/Abstract])) OR ("bioroot"[Title/Abstract])) OR ("hydraulic calcium silicate based sealers"[Title/Abstract])) OR ("calcium silicate cement"[Title/Abstract])) OR ("biodentine"[Title/Abstract])) OR ("ah plus"[Title/Abstract])) OR ("mta"[Title/Abstract])) AND (((((((((((((((((((((((((((agents, chelating[MeSH Terms]) OR (acid, citric[MeSH Terms]) OR (citric acid[MeSH Terms]) OR (etidronic acid[MeSH Terms]) OR (acid, ethylenediaminetetraacetic[MeSH Terms]) OR (sodium hypochlorite[MeSH Terms]) OR (saline solution[MeSH Terms]) OR ("irrigation"[Title/Abstract])) OR ("irrigation solution"[Title/Abstract])) OR ("irrigation solutions"[Title/Abstract])) OR ("irrigating solution"[Title/Abstract])) OR ("irrigating solutions"[Title/Abstract])) OR ("irrigation regimens"[Title/Abstract])) OR ("irrigation protocols"[Title/Abstract])) OR ("irrigation activation technique"[Title/Abstract])) OR ("irrigation activation techniques"[Title/Abstract])) OR ("continuous chelation"[Title/Abstract])) OR ("sequential chelation"[Title/Abstract])) OR ("chelation solution"[Title/Abstract])) OR ("chelation solutions"[Title/Abstract])) OR ("chelating agents"[Title/Abstract])) OR ("maleic acid"[Title/Abstract])) OR ("hebp"[Title/Abstract])) OR ("edta"[Title/Abstract])) OR ("naocl"[Title/Abstract])) OR ("hypochlorite"[Title/Abstract])) OR ("modified naocl"[Title/Abstract])) OR ("paracetic acid"[Title/Abstract])) OR ("qmix"[Title/Abstract])) OR ("final irrigation"[Title/Abstract])) OR ("chitosan nanoparticle"[Title/Abstract])) OR ("saline solution"[Title/Abstract])) AND (((((((((((("dentine tubule penetration"[Title/Abstract]) OR ("dentinal tubule penetration"[Title/Abstract])) OR ("sealer penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("maximum sealer penetration depth"[Title/Abstract])) OR ("root canal sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("deepest sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("penetration"[Title/Abstract])) OR ("penetration area"[Title/Abstract])) OR ("sealer penetration"[Title/Abstract])) OR ("sealer coating"[Title/Abstract])) OR ("penetrability"[Title/Abstract]))	75	16.01.2025
Web of science	("bioceramic based seale*" OR "bioceramic seale*" OR "bioceramic root canal seale*" OR "totalfill bc" OR "total bc sealer" OR "hiflow" OR "bio c" OR "bioroot" OR "hydraulic calcium silicate based seale*" OR "calcium silicate cement" OR "biodentine" OR "mta") AND ("Chelating agent*" OR "citric acid" OR "etidronic acid" OR "ethylenediaminetetraacetic acid" OR "sodium hypochlorite" OR "saline solution" OR "irrigation" OR "irrigation solution*" OR "irrigating solution*" OR "irrigating regime*" OR "irrigating protocol*" OR "irrigation activation technique*" OR "continuous chelation" OR "sequential chelation" OR "chelation solution*" OR "maleic acid" OR "hebp" OR "edta" OR "naocl" OR "hypochlorite" OR "modified naocl" OR "paracetic acid" OR "qmix" OR "final irrigation" OR "chitosan nanoparticle" OR "saline solution") AND ("dentine tubule penetration" OR "dentinal tubule penetration" OR "sealer penetration depth" OR "penetration depth" OR "maximum sealer penetration depth" OR "root canal sealer penetration" OR "deepest sealer penetration" OR "penetration" OR "penetration area" OR "sealer penetration" OR "sealer coating" OR "penetrability")	36	16.01.2025

Scopus	("bioceramic based seale*" OR "bioceramic seale*" OR "bioceramic root canal seale*" OR "totalfill bc" OR "total bc sealer" OR "hiflow" OR "bio c" OR "bioroot" OR "hydraulic calcium silicate based seale*" OR "calcium silicate cement" OR "biodentine" OR "mta") AND ("Chelating agent*" OR "citric acid" OR "etidronic acid" OR "ethylenediaminetetraacetic acid" OR "sodium hypochlorite" OR "saline solution" OR "irrigation" OR "irrigation solution*" OR "irrigating solution*" OR "irrigating regime*" OR "irrigating protocol*" OR "irrigation activation technique*" OR "continuous chelation" OR "sequential chelation" OR "chelation solution*" OR "maleic acid" OR "hebp" OR "edta" OR "naocl" OR "hypochlorite" OR "modified naocl" OR "paracetic acid" OR "qmix" OR "final irrigation" OR "chitosan nanoparticle" OR "saline solution") AND ("dentine tubule penetration" OR "dental tubule penetration" OR "sealer penetration depth" OR "penetration depth" OR "maximum sealer penetration depth" OR "root canal sealer penetration" OR "deepest sealer penetration" OR "penetration" OR "penetration area" OR "sealer penetration" OR "sealer coating" OR "penetrability")	39	16.01.2025
--------	--	----	------------

Tabla 2, análisis y recogida de datos de los artículos

Artículos	metodologia	muestra	dientes	cementos	quelantes	tipos de estudio
Comparative evaluation of continuous and sequential chelation on the dentinal tubule penetration of bioceramic-based sealer – A confocal laser scanning microscopic study	Microscopia confocal de barrido láser (CLSM) 10x	60	dientes monorradiculares recién extraídos	Bio-C Sealer	Grupo I (irrigación secuencial) 3ml EDTA 17% / 3ml NaOCl 3% / lavado con suero fisiológico Grupo II (quelación continua) 10ml NaOCl 3% + ácido etidronico 9% Grupo III (quelación secuencial) 3ml ácido cítrico 10% / 3ml NaOCl 3% / lavado con suero fisiológico	Experimental in vitro (Transversal)
Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer: a confocal laser microscopy study	Microscopía de escaneo láser confocal (CLSM) 10x.	20	Premolares mandibulares con un solo canal radicular	TotalFill HiFlow (cemento biocerámico a base de silicato de calcio).	NaOCl + EDTA NaOCl + Dual Rinse HEDP (etidronato).	Experimental in vitro (Transversal)
The effects of chelation on the intratubular penetration depth of mineral trioxide aggregate	Microscopía de escaneo láser confocal (CLSM) con aumento de 10x	20	premolaes mandibulares con un único canal radicular	TotalFill HiFlow	NaOCl + EDTA NaOCl + Dual Rinse HEDP (etidronato).	Experimental in vitro (Transversal)

To evaluate and compare the effect of 17% EDTA, 10% citric acid, 7% maleic acid on the dentinal tubule penetration depth of bio ceramic root canal sealer using confocal laser scanning microscopy: an in vitro study	Microscopía confocal láser (CLSM) con aumento de 10x, utilizando Rhodamine B mezclado con el cemento.	32	Premolares mandibulares extraídos por razones ortodónticas, con raíces rectas y un solo canal.	BioRoot RCS (cemento biocerámico).	17% EDTA / 10% ácido cítrico / 7% ácido maleico / Solución salina (control).	Experimental in vitro (Transversal)
Influence of dual rinse irrigation on dentinal penetration of a bioceramic root canal sealer: A Confocal microscopic Analysis	Microscopía confocal láser (CLSM) con aumento de 10x, utilizando Rhodamine B mezclado con el cemento.	42	Premolares mandibulares extraídos por razones ortodónticas y periodontales, con canal único y raíces rectas.	Well-Root ST (cemento biocerámico a base de silicato de calcio).	NaOCl (control) / NaOCl + 17% EDTA / NaOCl + Dual Rinse HEDP (9% etidronato).	Experimental in vitro (Transversal)
Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study	Microscopía confocal láser (CLSM) con aumento de 4x y Rhodamine B	60	Premolares mandibulares extraídos por razones ortodónticas, con raíces rectas y canales únicos.	TotalFill BC Sealer (biocerámico a base de silicato de calcio).	17% EDTA / QMix (mezcla de EDTA, clorhexidina y detergente)	Experimental in vitro (Transversal)
Irrigation Sequence Influence on Penetration of Root Canal Sealers in Dentinal Tubule: Confocal Laser Scanning Microscopy and Push-out Bond Strength Analysis	Microscopía confocal láser (CLSM) con Rhodamine B	90	Premolares mandibulares con canal único, estandarizados a una longitud de 15 mm.	MTA Fillapex (a base de MTA)	5% NaOCl + 17% EDTA + agua destilada (Qmix) / 17% EDTA + 5% NaOCl + agua destilada / 5% NaOCl + agua destilada.	Experimental in vitro (Transversal)
Effect of final irrigant on depth of tubular penetration of resin-based root canal sealer and bioactive sealers using confocal laser scanning microscope	Microscopía confocal láser (CLSM) con Rhodamine B como marcador fluorescente, con aumento de 10x	96	Premolares mandibulares extraídos con canal único y ápices completamente formados, estandarizados a una longitud de 15 mm	GuttaFlow Bioseal (bioactivo con silicona) / Endosequence BC (biocerámico) / Endoseal MTA (a base de MTA)	17% EDTA / QMix 2 en 1 (mezcla de EDTA, clorhexidina y surfactantes) / Agua destilada	Experimental in vitro (Transversal)

Declaración detallada del uso de la IA

a) Herramientas utilizadas:

- *ChatGPT*: para redacción, corrección, reformulación de textos y sugerencias de estilo.
- *ChatGPT Scholar*: para apoyo en la revisión de bibliografía científica y organización de citas.

b) Funciones:

- Control ortográfico y gramatical del contenido redactado.
- Comparación y verificación de datos obtenidos manualmente.
- Revisión y corrección de referencias bibliográficas según el estilo Vancouver.
- Generación de ejemplos de gráficos que permitieron visualizar de forma clara los resultados.
- Sugerencia de sinónimos y reformulaciones para evitar repeticiones de palabras o frases, mejorando la fluidez del texto.

c) Prompts utilizados:

- “Corrige la ortografía y gramática de este texto.”
- “Compara estos datos y verifica si son coherentes.”
- “Revisa estas referencias según el formato Vancouver.”
- “Sugiere un gráfico para representar estos resultados.”
- “Dame sinónimos para esta palabra/frase para evitar repeticiones.”

Guía PRISMA



Lista de verificación PRISMA 2020

Sección y tema	Artículo #	Elemento de la lista de verificación	Ubicación donde se reporta el artículo
TÍTULO			
Título	1	Identifique el informe como una revisión sistemática.	Pag 1
ABSTRACTO			
Abstracto	2	Consulte la lista de verificación de resúmenes de PRISMA 2020.	Pag2
INTRODUCCIÓN			
Razón fundamental	3	Describa la justificación de la revisión en el contexto del conocimiento existente.	Pag 14
Objetivos	4	Proporcione una declaración explícita de los objetivos o preguntas que aborda la revisión.	Pag 15
MÉTODOS			
Criterios de elegibilidad	5	Especifique los criterios de inclusión y exclusión para la revisión y cómo se agruparon los estudios para las síntesis.	Pag 17
Fuentes de información	6	Especifique todas las bases de datos, registros, sitios web, organizaciones, listas de referencias y otras fuentes consultadas para identificar estudios. Indique la fecha de la última consulta de cada fuente.	Pag 18
Estrategia de búsqueda	7	Presentar las estrategias de búsqueda completas para todas las bases de datos, registros y sitios web, incluidos los filtros y límites utilizados.	Pag 18-21
Proceso de selección	8	Especifique los métodos utilizados para decidir si un estudio cumplió con los criterios de inclusión de la revisión, incluido cuántos revisores examinaron cada registro y cada informe recuperado, si trabajaron de forma independiente y, si corresponde, detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Pag 21
Proceso de recopilación de datos	9	Especifique los métodos utilizados para recopilar datos de los informes, incluido cuántos revisores recopilaron datos de cada informe, si trabajaron de forma independiente, cualquier proceso para obtener o confirmar datos de los investigadores del estudio y, si corresponde, detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Pag 21
Elementos de datos	10a	Enumere y defina todos los resultados para los que se buscaron datos. Especifique si se buscaron todos los resultados compatibles con cada dominio de resultados en cada estudio (p. ej., para todas las medidas, puntos temporales y análisis) y, de no ser así, los métodos utilizados para decidir qué resultados recopilar.	Pag 22
	10b	Enumere y defina todas las demás variables para las que se solicitaron datos (p. ej., características de los participantes y de la intervención, fuentes de financiación). Describa las suposiciones realizadas sobre la información faltante o poco clara.	Pag 22
Evaluación del riesgo de sesgo del estudio	11	Especifique los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios incluidos, incluidos los detalles de las herramientas utilizadas, cuántos revisores evaluaron cada estudio y si trabajaron de forma independiente y, si corresponde, detalles de las herramientas de automatización utilizadas en el proceso.	Pag 23
Medidas de efecto	12	Especifique para cada resultado las medidas de efecto (por ejemplo, razón de riesgos, diferencia de medias) utilizadas en la síntesis o presentación de los resultados.	/
Métodos de síntesis	13a	Describa los procesos utilizados para decidir qué estudios eran elegibles para cada síntesis (por ejemplo, tabular las características de la intervención del estudio y compararlos con los grupos planificados para cada síntesis (ítem n.º 5)).	Pag 24
	13b	Describa cualquier método requerido para preparar los datos para su presentación o síntesis, como el manejo de estadísticas de resumen faltantes o la conversión de datos.	Pag 24
	13c	Describa cualquier método utilizado para tabular o mostrar visualmente los resultados de estudios y síntesis individuales.	Pag 24
	13d	Describa los métodos utilizados para sintetizar los resultados y justifique su elección. Si se realizó un metanálisis, describa los modelos, los	Pag 24
RESULTADOS			
		métodos para identificar la presencia y el grado de heterogeneidad estadística, y los programas informáticos utilizados.	
	13.ª edición	Describa cualquier método utilizado para explorar posibles causas de heterogeneidad entre los resultados del estudio (por ejemplo, análisis de subgrupos, metarregresión).	Pag 24
	13f	Describa cualquier análisis de sensibilidad realizado para evaluar la solidez de los resultados sintetizados.	Pag 24
Evaluación del sesgo de notificación	14	Describa cualquier método utilizado para evaluar el riesgo de sesgo debido a la falta de resultados en una síntesis (que surge de sesgos en los informes).	Pag 24
Evaluación de certeza	15	Describa cualquier método utilizado para evaluar la certeza (o confianza) en el conjunto de evidencia de un resultado.	/
RESULTADOS			
Selección de estudios	16a	Describa los resultados del proceso 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.	Pag 24
	16b	Cite estudios que podrían parecer cumplir con los criterios de inclusión, pero que fueron excluidos, y explique por qué fueron excluidos.	Pag 26
Características del estudio	17	Cite cada estudio incluido y presente sus características.	Pag 27-28
Riesgo de sesgo en los estudios	18	Presentar evaluaciones del riesgo de sesgo para cada estudio incluido.	Pag 29-30
Resultados de estudios individuales	19	Para todos los resultados, presente, para cada estudio: (a) estadísticas de resumen para cada grupo (cuando corresponda) y (b) una estimación del efecto y su precisión (por ejemplo, intervalo de confianza/credibilidad), idealmente utilizando tablas o gráficos estructurados.	Pag 31-32
Resultados de las síntesis	20a	Para cada síntesis, resume brevemente las características y el riesgo de sesgo entre los estudios contribuyentes.	Pag 31-35
	20b	Presente los resultados de todas las síntesis estadísticas realizadas. Si se realizó un metanálisis, presente para cada uno la estimación resumida y su precisión (p. ej., intervalo de confianza/credibilidad) y las medidas de heterogeneidad estadística. Si se comparan grupos, describa la dirección del efecto.	Pag 31-35
	20 centavos	Presentar resultados de todas las investigaciones sobre posibles causas de heterogeneidad entre los resultados de los estudios.	Pag 31-35
	20d	Presentar los resultados de todos los análisis de sensibilidad realizados para evaluar la robustez de los resultados sintetizados.	Pag 31-35
Sesgos en los informes	21	Presentar evaluaciones del riesgo de sesgo debido a resultados faltantes (derivados de sesgos de informe) para cada síntesis evaluada.	Pag 30
Certeza de la evidencia	22	Presentar evaluaciones de certeza (o confianza) en el conjunto de evidencia para cada resultado evaluado.	/
DISCUSIÓN			
Discusión	23a	Proporcionar una interpretación general de los resultados en el contexto de otra evidencia.	Pag 35-43
	23b	Discuta cualquier limitación de la evidencia incluida en la revisión.	Pag 35-43
	23c	Discuta cualquier limitación de los procesos de revisión utilizados.	Pag 35-43
	23d	Analice las implicaciones de los resultados para la práctica, la política y la investigación futura.	Pag 35-43



Lista de verificación PRISMA 2020

Sección y tema	Artículo #	Elemento de la lista de verificación	Ubicación donde se reporta el artículo
OTRA INFORMACIÓN			
Registro y protocolo	24a	Proporcionar información de registro para la revisión, incluido el nombre del registro y el número de registro, o indicar que la revisión no fue registrada.	/
	24b	Indique dónde se puede acceder al protocolo de revisión o indique que no se preparó un protocolo.	/
	24c	Describa y explique cualquier modificación a la información proporcionada en el registro o en el protocolo.	/
Apoyo	25	Describa las fuentes de apoyo financiero o no financiero para la revisión y el papel de los financiadores o patrocinadores en la revisión.	/
Intereses en competencia	26	Declarar cualquier interés en competencia de los autores de la revisión.	/
Disponibilidad de datos, códigos y otros materiales	27	Informe cuáles de los siguientes están disponibles públicamente y dónde se pueden encontrar: formularios de recopilación de datos de plantilla; datos extraídos de los estudios incluidos; datos utilizados para todos los análisis; código analítico; cualquier otro material utilizado en la revisión.	/

De: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la presentación de informes de revisiones sistemáticas. BMJ 2021;372:n71. doi : 10.1136/bmj.n71

Para obtener más información, visite: <http://www.prisma-statement.org/>

Efecto de los Quelantes en la Penetración de Cementos Biocerámicos en Endodoncia: Revisión Sistemática

Autores:

Sergio Mariconti¹, Galán Gracia Gil²

1: Estudiante del 5º año del grado de Odontología a la Universidad Europea de Valencia

2: Profesora de la Facultad de Odontología, Universidad Europea de Valencia, Valencia, España.



Correspondencia

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia

Resumen

Introducción: La penetración de los cementos biocerámicos en los túbulos dentinarios es crucial para un sellado tridimensional eficaz en endodoncia. Esta revisión analiza cómo diferentes quelantes influyen en dicha penetración.

Materiales y métodos: Se realizó una búsqueda sistemática en PubMed, Scopus y Web of Science, identificando estudios in vitro publicados entre 2018 y 2024 que evaluaron la penetración de selladores biocerámicos con diferentes quelantes. Se incluyeron ocho estudios que emplearon microscopia confocal láser (CLSM).

Resultados: Los quelantes como HEDP y ácido maleico mostraron mayor profundidad y porcentaje de penetración en comparación con EDTA. La penetración fue mayor en el tercio coronal y menor en el apical. El HEDP destacó por una buena penetración sin evidencias de erosión dentinaria.

Conclusión: Los resultados respaldan el uso de protocolos que integren quelantes menos agresivos como HEDP para optimizar la penetración de selladores sin comprometer la estructura dentinaria.

Palabras clave: Cementos biocerámicos, quelantes, penetración intratubular, endodoncia, HEDP, EDTA.

1. Introducción

El tratamiento endodóntico es una disciplina clave dentro de la odontología restauradora y conservadora, cuyo principal objetivo es eliminar la infección del sistema de conductos radiculares y garantizar un sellado tridimensional duradero que prevenga la reinfección. Para alcanzar el éxito clínico a largo plazo, es fundamental no solo la eliminación efectiva de microorganismos, sino también una obturación que impida la microfiltración. Dentro de este contexto, los materiales de sellado juegan un rol crucial, y su capacidad para penetrar en los túbulos dentinarios influye directamente en su eficacia (1).

La dentina radicular, al ser instrumentada, queda cubierta por una capa conocida como barrillo dentinario, compuesto por restos de dentina, células necróticas, microorganismos y subproductos de la instrumentación. Este barrillo actúa como una barrera física que impide la penetración de los selladores y afecta negativamente la unión entre el material de obturación y la pared del conducto. Por tanto, la eliminación del barrillo mediante irrigación adecuada es un paso imprescindible para una obturación exitosa (2).

Los protocolos de irrigación final suelen incluir el uso de soluciones químicas que actúan como agentes quelantes. Estas soluciones eliminan la fracción inorgánica del barrillo dentinario, permitiendo una apertura de los túbulos dentinarios y facilitando la penetración de los materiales obturadores. Entre los agentes más utilizados se encuentran el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético), el HEDP (ácido etidróico), el ácido cítrico, el ácido maleico y soluciones comerciales como Qmix, que combinan quelantes con componentes antimicrobianos (1, 2).

El EDTA ha sido considerado durante décadas el agente estándar para la eliminación del barrillo. Sin embargo, estudios recientes han demostrado que su uso puede generar una erosión significativa de la dentina peritubular si se aplica durante periodos prolongados o en concentraciones elevadas. Además, su acción no es compatible con todas las formulaciones de irrigantes, como el hipoclorito de sodio (NaOCl), con el que puede reaccionar disminuyendo su efecto antimicrobiano. (3)

En contraposición, el HEDP ha ganado popularidad debido a su capacidad para ser mezclado directamente con NaOCl, permitiendo una irrigación

simultánea sin afectar negativamente la actividad antimicrobiana. Esto ha dado lugar al concepto de "irrigación continua" o "irrigación simultánea", que simplifica el protocolo clínico y puede mejorar la eficacia de la desinfección y la penetración del sellador. El ácido maleico, por su parte, ha mostrado buenos resultados en términos de eliminación del barrillo y penetración del sellador, con menor agresividad sobre la estructura dentinaria. Qmix, que combina EDTA, clorhexidina y un agente tensioactivo, ofrece ventajas adicionales en términos de reducción de la tensión superficial y mejora de la dispersión del sellador (4).

La elección del quelante influye directamente en la capacidad de penetración de los cementos biocerámicos. Estos selladores, compuestos generalmente por silicato tricálcico y otros óxidos bioactivos, presentan ventajas significativas sobre los selladores tradicionales a base de resina o eugenol. Son altamente biocompatibles, exhiben propiedades antimicrobianas, inducen la formación de hidroxiapatita y se expanden ligeramente al fraguar, contribuyendo así a un mejor sellado (1, 3, 4).

Además, la penetración profunda de los selladores biocerámicos en los túbulos dentinarios puede actuar como una barrera mecánica adicional contra la infiltración bacteriana, favoreciendo el éxito del tratamiento. La profundidad de penetración puede variar según múltiples factores, incluyendo la viscosidad del cemento, la morfología del conducto, el número y diámetro de los túbulos dentinarios, y especialmente el protocolo de irrigación (2).

A pesar de los avances, persiste una falta de consenso sobre cuál es el agente quelante más adecuado para optimizar la penetración intratubular sin comprometer la integridad estructural de la dentina. Algunas investigaciones se centran únicamente en la eficacia de la eliminación del barrillo, mientras que otras analizan los efectos en la erosión dentinaria o la compatibilidad con los selladores biocerámicos (1 – 5).

Dado el aumento en el uso clínico de cementos biocerámicos y la diversidad de protocolos de irrigación empleados, resulta crucial comprender cómo influye cada quelante en la capacidad de penetración de estos materiales. Por ello, esta revisión sistemática tiene como objetivo principal analizar críticamente la literatura científica reciente para identificar cuál es el agente quelante, o combinación de agentes quelantes, que permite una mayor y más eficaz penetración de los cementos biocerámicos en la dentina humana durante

tratamientos endodónticos. De este objetivo general se derivan varios objetivos específicos: evaluar y comparar la profundidad de penetración de los cementos biocerámicos, expresada en micrómetros, en los túbulos dentinarios según el tipo de quelante utilizado; analizar el porcentaje de túbulos dentinarios infiltrados, como medida de la eficacia del sellado intratubular; estudiar la distribución del cemento en los tercios coronal, medio y apical del conducto radicular, identificando posibles diferencias relacionadas con el protocolo de irrigación; y valorar el grado de erosión dentinaria asociado al uso de diferentes quelantes, considerando su impacto en la estructura y la biocompatibilidad dentinaria. Con estos objetivos, el trabajo pretende aportar evidencia útil para actualizar y mejorar los protocolos clínicos en endodoncia, optimizando la eficacia del sellado sin comprometer la integridad del tejido dentinario (1, 2).

2. Materiales y métodos

Se realizó una revisión sistemática conforme a las directrices de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos electrónicas PubMed, Scopus y Web of Science, abarcando el periodo comprendido entre enero de 2018 y enero de 2024. Se utilizaron combinaciones de palabras clave y términos MeSH como “bioceramic sealers”, “chelating agents”, “irrigation” y “dental tubule penetration”, enlazados mediante operadores booleanos (AND, OR) para maximizar la sensibilidad de la búsqueda.

Además, se revisaron manualmente las listas de referencias de los estudios seleccionados con el fin de identificar trabajos adicionales que pudieran cumplir con los criterios de inclusión. Todos los resultados fueron exportados a una hoja de cálculo y se eliminaron los duplicados de forma automatizada y manual.

Criterios de inclusión:

- Estudios in vitro realizados exclusivamente en dientes humanos permanentes extraídos.
- Evaluación de la penetración de cementos biocerámicos como TotalFill BC Sealer, BioRoot RCS, MTA Fillapex, EndoSeal MTA, entre otros.

- Comparación entre protocolos de irrigación utilizando agentes quelantes como EDTA, HEDP, ácido cítrico, ácido maleico o Qmix.
- Medición cuantitativa mediante microscopía confocal láser (CLSM) de al menos una de las siguientes variables: profundidad de penetración, porcentaje de túbulos infiltrados, distribución apical/coronal o erosión de la dentina.
- Publicación en idioma inglés o español, en revistas científicas revisadas por pares.
- Disponibilidad del texto completo para su análisis.

Criterios de exclusión:

- Estudios realizados en modelos animales, dientes artificiales o simuladores que no empleen dentina humana.
- Trabajos centrados únicamente en propiedades físico-químicas, antimicrobianas o adhesivas sin evaluar penetración en dentina.
- Estudios que no utilizaran CLSM como método principal de análisis.
- Investigaciones que no detallaran claramente el protocolo experimental, el tipo de cemento, la técnica de irrigación o la concentración del quelante.
- Revisiones sistemáticas, literatura gris, artículos duplicados o publicaciones sin revisión por pares.

El proceso de selección se realizó en varias fases: primero se eliminaron los duplicados; luego, se evaluaron los títulos y resúmenes; y finalmente, se revisaron los textos completos para verificar el cumplimiento de los criterios. Dos revisores independientes llevaron a cabo esta tarea, y en caso de desacuerdo, se recurrió a un tercer evaluador para lograr consenso.

De cada estudio incluido se extrajeron los siguientes datos: nombre de los autores, año de publicación, tipo de cemento utilizado, protocolo de irrigación (tipo y concentración del quelante), método de activación si se empleó (ultrasonido, presión negativa, láser), número de muestras, profundidad de penetración en los tercios radiculares, porcentaje de túbulos dentinarios infiltrados y erosión dentinaria.

La calidad metodológica de los estudios fue valorada utilizando una versión modificada de la guía ARRIVE y una adaptación de la escala CONSORT para estudios in vitro. Cada estudio fue clasificado como de bajo, moderado o alto riesgo de sesgo, según criterios como la aleatorización, el cegamiento, la estandarización del procedimiento experimental y la presentación de resultados.

Debido a la heterogeneidad de los protocolos, los tipos de cementos utilizados y las técnicas de irrigación, no fue posible realizar un metaanálisis. En su lugar, se optó por una síntesis narrativa con análisis descriptivo, agrupando los resultados según el tipo de agente quelante y discutiendo sus efectos relativos en la penetración de los cementos biocerámicos.

3. Resultados

Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron ocho estudios in vitro publicados entre 2018 y 2023 que evaluaban la penetración de cementos biocerámicos en túbulos dentinarios mediante microscopía confocal láser (CLSM). En conjunto, estos estudios analizaron un total de 420 dientes humanos permanentes extraídos, distribuidos en múltiples grupos experimentales en función del tipo de agente quelante y cemento utilizado. La mayoría de los trabajos emplearon secciones radiculares de entre 1 y 3 mm de grosor, obtenidas tras la obturación, para su posterior análisis con CLSM y tinción con fluorocromos como el rodamina B.

Los cementos biocerámicos evaluados incluyeron BioRoot RCS, TotalFill BC Sealer, EndoSeal MTA y MTA Fillapex. Aunque todos los materiales mostraron cierta capacidad de penetración, los resultados variaron en función del protocolo de irrigación final empleado. Los agentes quelantes más comúnmente utilizados fueron EDTA al 17 %, HEDP al 9 %, ácido cítrico al 10 %, ácido maleico al 7 % y Qmix, una solución comercial combinada.

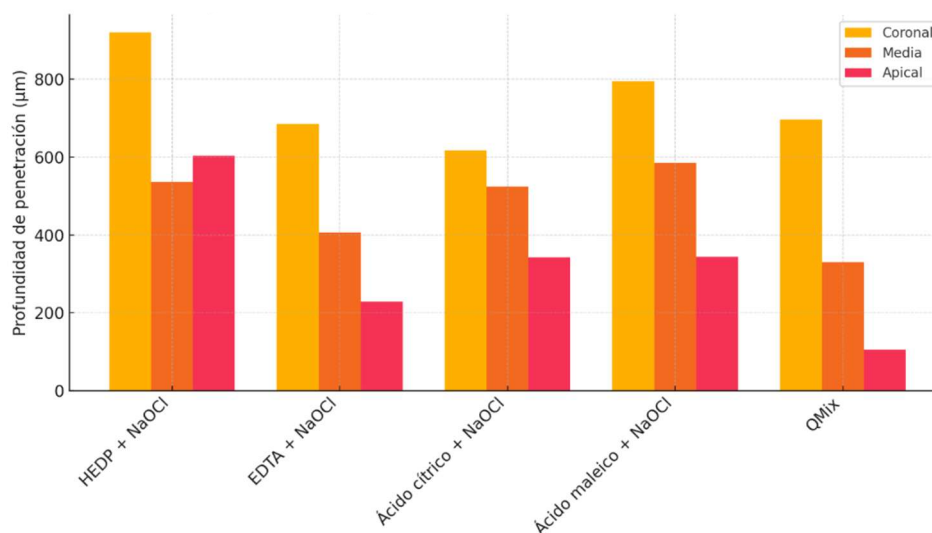
Los estudios coincidieron en que la penetración de los selladores biocerámicos fue mayor en el tercio coronal y disminuyó progresivamente hacia el tercio apical. En general, el HEDP y el ácido maleico permitieron una mayor penetración que el EDTA. En cifras promedio, el HEDP logró profundidades de penetración de hasta 920,75 µm en el tercio coronal, 536,70 µm en el medio y 604,26 µm en el apical. Por su parte, el ácido maleico alcanzó 795,07 µm en el tercio coronal, 585,20 µm en el medio y 343,80 µm en el apical. En contraste, el

EDTA mostró valores menores: 684,96 μm (coronal), 406,61 μm (medio) y 228,81 μm (apical) (6 – 13).

Qmix, aunque tuvo resultados destacados en los tercios coronal (696,20 μm) y medio (329,67 μm), fue significativamente menos eficaz en el tercio apical (105,08 μm), probablemente debido a su mayor viscosidad. El ácido cítrico presentó valores intermedios de penetración entre Qmix y EDTA (7, 8).

En la figura 1 se puede evaluar la comparación de la penetración en las varias zonas de la raíz de los dientes

Fig. 1, comparación de la penetración del sellador en zonas dentinarias



En cuanto al porcentaje de túbulos infiltrados, el HEDP y el ácido maleico mostraron las cifras más altas, con rangos del 80 al 100 %. Qmix y ácido cítrico presentaron porcentajes entre el 60 y el 80 %, mientras que el EDTA se asoció a porcentajes menores, entre el 40 y el 60 % (6, 8, 9, 11).

En algunos estudios, se midió la distancia de penetración del sellador hacia el interior del cemento radicular. Aquí también se observaron diferencias marcadas: el grupo con HEDP alcanzó 632,4 μm , ácido maleico 348,1 μm , ácido cítrico 330,5 μm , EDTA 298,1 μm y Qmix solo 86,8 μm . Estas cifras sugieren que no solo la profundidad sino también la uniformidad de la penetración puede verse afectadas por el tipo de quelante utilizado (6, 7, 13).

Respecto a la erosión dentinaria, los resultados fueron consistentes entre los estudios. El EDTA, especialmente cuando se utilizó durante 1 minuto o más,

provocó signos visibles de desmineralización y colapso de la estructura peritubular, observados mediante imágenes confocales. Por el contrario, el HEDP no evidenció efectos erosivos incluso tras exposiciones prolongadas, siendo considerado como un agente seguro. El ácido maleico mostró erosión leve o moderada dependiendo del tiempo de exposición, mientras que Qmix presentó mínima o nula afectación estructural (8, 9, 12).

Algunos estudios exploraron el impacto de la activación del irrigante. Se encontró que técnicas como el ultrasonido pasivo y la irrigación con presión negativa mejoraron la penetración del sellador en comparación con la irrigación convencional. No obstante, estas variables no fueron sistemáticamente controladas ni estandarizadas en todos los estudios, lo que limita la posibilidad de atribuir diferencias exclusivamente al tipo de activación empleada (7, 9, 10).

Un hallazgo relevante fue que la combinación de hipoclorito de sodio con HEDP permitió una irrigación simultánea sin comprometer la eficacia antimicrobiana ni la estructura dentinaria. Este protocolo mostró ventajas prácticas y clínicas, ya que facilita la secuencia de irrigación y reduce el número de pasos necesarios. También se destacó que HEDP permite el uso continuo durante toda la instrumentación, lo que podría mejorar la limpieza general del conducto y facilitar una mayor penetración del sellador (6).

En cuanto a los cementos, BioRoot RCS y TotalFill BC Sealer mostraron consistentemente mejores resultados de penetración que MTA Fillapex. Se sugiere que esto se debe a diferencias en la viscosidad, la composición química y la capacidad de humectación. MTA Fillapex, a pesar de ser un cemento a base de MTA, mostró variabilidad en su comportamiento, posiblemente atribuida a su mayor contenido en resina y menor fluidez.

En resumen, los resultados indican que el tipo de quelante influye significativamente en la capacidad de penetración de los cementos biocerámicos, tanto en profundidad como en extensión lateral. El HEDP y el ácido maleico se posicionan como las opciones más eficaces, ofreciendo una penetración más profunda y uniforme, con menor riesgo de erosión dentinaria. Estos hallazgos respaldan la adopción de protocolos de irrigación menos agresivos para maximizar el rendimiento clínico de los selladores biocerámicos.

4. Discusión

Los hallazgos de esta revisión sistemática confirman que el tipo de agente quelante utilizado durante la irrigación final del tratamiento endodóntico influye significativamente en la penetración intratubular de los cementos biocerámicos. Esta penetración es esencial para mejorar el sellado apical y coronal, reducir la microfiltración y contribuir al éxito a largo plazo del tratamiento. Los resultados mostraron que HEDP y ácido maleico fueron los agentes más eficaces en facilitar esta penetración, tanto en términos de profundidad como de extensión porcentual de túbulos infiltrados, superando consistentemente a EDTA, Qmix y ácido cítrico (6 – 13).

El HEDP demostró ventajas evidentes como agente quelante en protocolos de irrigación continua. Su compatibilidad con hipoclorito de sodio permite su uso simultáneo, lo que elimina la necesidad de una irrigación secuencial con múltiples soluciones, reduciendo pasos clínicos y tiempos operatorios. Además, a diferencia del EDTA, el HEDP no mostró efectos erosivos sobre la dentina, lo que lo convierte en una opción más conservadora desde el punto de vista estructural. Esta ausencia de erosión podría atribuirse a su acción quelante más suave y su menor capacidad de desmineralización de la matriz peritubular (6).

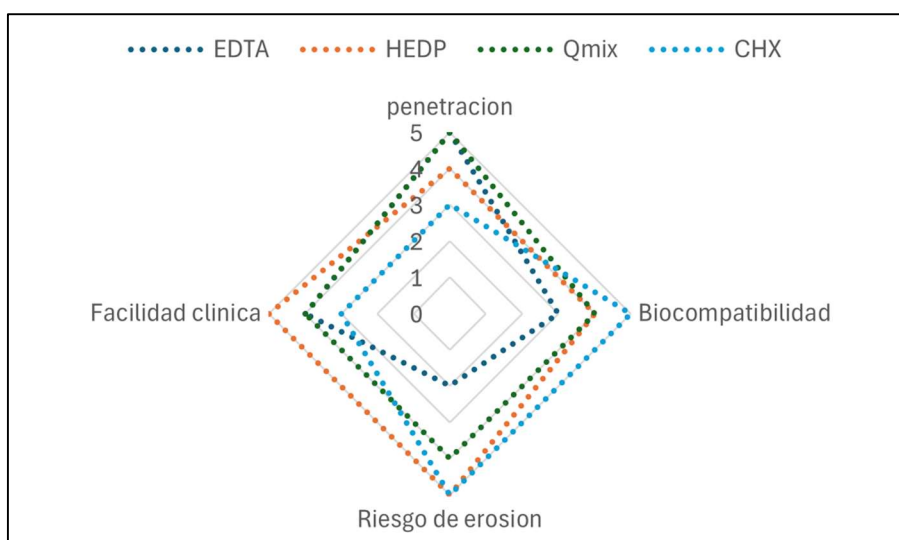
El ácido maleico también se posiciona como una alternativa eficaz, especialmente por su capacidad de eliminar el barrillo dentinario sin comprometer severamente la estructura dentinaria. Algunos estudios lo señalan como más efectivo que el EDTA en términos de penetración, aunque su potencial para causar erosión moderada requiere consideración del tiempo de exposición y concentración empleada. Qmix, a pesar de contener EDTA, mostró resultados intermedios, probablemente gracias a la presencia de clorhexidina y tensioactivos que mejoran la dispersión y reducen la tensión superficial del irrigante. No obstante, su pobre desempeño en el tercio apical podría estar vinculado a su mayor viscosidad o a la falta de activación adecuada (8).

La menor efectividad del EDTA en la penetración y su asociación con mayor erosión han sido documentadas en varios estudios. Aunque tradicionalmente ha sido el estándar en irrigación final, su perfil químico agresivo y su incompatibilidad con hipoclorito de sodio lo hacen menos conveniente en la práctica moderna. Su acción, si bien eficaz para remover el barrillo, puede

deteriorar las propiedades físicas de la dentina, como la dureza superficial y la resistencia a la fractura, afectando la integridad del sustrato y la adhesión del sellador (6, 9, 10, 13).

Desde el punto de vista clínico, es fundamental valorar no solo la capacidad de penetración, sino también otros factores como la biocompatibilidad, la agresividad sobre la dentina o la facilidad de aplicación del irrigante. Esta comparación multidimensional se puede visualizar en la Figura 2.

Fig. 2, Comparación multidimensional entre quelantes (Radar chart)



Otro punto a destacar es la influencia de la activación del irrigante. La activación ultrasónica o con presión negativa ha demostrado mejorar la distribución del irrigante y, por ende, la penetración del sellador. Sin embargo, la falta de estandarización en los protocolos de activación impide sacar conclusiones definitivas. Sería recomendable que futuros estudios controlen esta variable de forma sistemática, considerando además la duración de la exposición y la secuencia de aplicación (9).

La heterogeneidad entre los estudios incluidos, tanto en los tipos de cementos evaluados como en los protocolos de irrigación, representa una limitación que impide realizar un metaanálisis. No obstante, se observaron tendencias claras que permiten formular recomendaciones clínicas. Por ejemplo, los cementos BioRoot RCS y TotalFill BC Sealer demostraron una mejor capacidad de penetración, lo cual puede deberse a su menor viscosidad y mayor capacidad de humectación en comparación con MTA Fillapex. Este último

mostró variabilidad, posiblemente relacionada con su contenido en resinas y la técnica de aplicación empleada (6 – 13).

Desde una perspectiva clínica, la elección del agente quelante debe considerar no solo la eficacia en la eliminación del barrillo, sino también su impacto en la penetración del sellador, su compatibilidad con otros irrigantes y su seguridad en términos de erosión dentinaria. Los protocolos de irrigación deben adaptarse a las propiedades físicas y químicas de los cementos empleados, buscando optimizar la interacción entre el material obturador y la dentina.

Además, se destaca la necesidad de investigaciones futuras que incluyan modelos clínicamente más realistas, idealmente mediante ensayos clínicos controlados o estudios in vivo que evalúen no solo la penetración sino también la adhesión, la resistencia al microfiltrado y la longevidad del sellado. También sería pertinente investigar la relación entre la penetración intratubular y la resistencia a la colonización bacteriana en el largo plazo.

Una limitación importante de esta revisión es que todos los estudios incluidos fueron realizados in vitro. Esto implica que, aunque los hallazgos proporcionan información valiosa sobre la interacción entre los agentes quelantes y los selladores biocerámicos, su aplicación clínica directa debe interpretarse con cautela. Las condiciones in vitro no reproducen completamente el entorno clínico, donde influyen factores como la anatomía individual del paciente, la variabilidad en la técnica operatoria y la presencia de humedad o tejidos residuales. Además, la heterogeneidad en los protocolos experimentales, el tiempo de exposición a los agentes quelantes y el uso (o no) de activación dificultan la comparación directa entre estudios.

En resumen, esta revisión apoya la transición hacia protocolos de irrigación menos agresivos, como el uso de HEDP en irrigación continua, que favorezcan una mejor penetración sin comprometer la integridad de la dentina. La combinación de cementos biocerámicos con quelantes adecuados representa una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento clínico del tratamiento endodóntico y aumentar su tasa de éxito a largo plazo.

5. Conclusión

La elección del quelante es un factor determinante para optimizar la penetración de los cementos biocerámicos. Los protocolos con HEDP o ácido maleico, combinados con hipoclorito de sodio, proporcionan mejores resultados que el EDTA, minimizando la erosión dentinaria. Se recomienda considerar estos agentes en la práctica clínica para mejorar la calidad del sellado endodóntico.

Desde el punto de vista clínico, la implementación de protocolos de irrigación que incorporen HEDP o ácido maleico no solo optimiza la penetración del sellador, sino que también podría traducirse en una mejora del sellado tridimensional del sistema de conductos, con una potencial reducción en la tasa de fracasos endodónticos. Por ello, su aplicación práctica representa una oportunidad de mejora en los procedimientos actuales.

6. Conflicto de interés

El autor declara que no existen conflictos de interés en la elaboración de este artículo.

7. Bibliografía

- 1) Glickman GN, Schweitzer JL. *Endodontic Diagnosis*. ENDODONTICS: Colleagues for Excellence. American Association of Endodontists; Fall 2013.
- 2) Blandón Paz B, Haslam Galo GA. Propuesta de protocolo de irrigación para la desinfección de conductos radiculares. Tesis de especialidad en Endodoncia. UNAN-León; 2015.
- 3) Immich F, Rödig T, Kanzow P, Piva E, Rossi-Fedele G. Effectiveness of root canal irrigation and dressing for the treatment of asymptomatic apical periodontitis: A systematic review assessing complementary timeframes. *Aust Endod J*. 2025;00:1–9.
- 4) Molina ME, Manlla AM, Oliva MA, López ME, López GL, De la Casa ML. Capacidad de limpieza en paredes dentinarias de soluciones de irrigación endodónticas quelantes con y sin ultrasonido. *Canal Abierto*. 2021;44:14–22.
- 5) Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J*. 2018;30(4):273–82.
- 6) Gupta K, Shetty SS, Tandale AB, Srikrumam M, Nihalani H. Comparative evaluation of continuous and sequential chelation on the dentinal tubule penetration of bioceramic-based sealer – A confocal laser scanning microscopic study. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics*. 2024 Sep 1;27(9):935–41.

- 7) Hassan R, Roshdy NN. Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate–based root canal sealer: a confocal laser microscopy study. *BMC Oral Health*. 2023 Dec 1;23(1).
- 8) Shekhar S, Mallya PL, Ballal V, Shenoy R. To evaluate and compare the effect of 17% EDTA, 10% citric acid, 7% maleic acid on the dentinal tubule penetration depth of bio ceramic root canal sealer using confocal laser scanning microscopy: an in vitro study. *F1000Res*. 2022 Dec 22;11:1561.
- 9) Gawdat SI, Bedier MM. Influence of dual rinse irrigation on dentinal penetration of a bioceramic root canal sealer: A Conofocal microscopic Analysis. *Australian Endodontic Journal*. 2022 Dec 1;48(3):481–6.
- 10) Aydın ZU, Özyürek T, Keskin B, Baran T. Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: a confocal laser scanning microscopy study. *Odontology*. 2019 Jan 25;107(1):64–71.
- 11) Kanwar SS, Taneja S, Kumar P, Dudeja C. Effect of final irrigant on depth of tubular penetration of resin-based root canal sealer and bioactive sealers using confocal laser scanning microscope. *Endodontology*. 2020 Oct 1;32(4):204–8.
- 12) Bhalla G, Bansal A, Kukreja N, Sharma A, Chhabra S, Sachdeva S. Irrigation Sequence Influence on Penetration of Root Canal Sealers in Dentinal Tubule: Confocal Laser Scanning Microscopy and Push-out Bond Strength Analysis. *World Journal of Dentistry*. 2023 Jul 1;14(7):598–603.
- 13) Teoh YY, Liew KY, Siao J, Wong S, Chandler N, Bogen G. The effects of chelation on the intratubular penetration depth of mineral trioxide aggregate. *Australian Endodontic Journal*. 2023 Dec 1;49(3):483–91.

Effect of Chelating Agents on the Penetration of Bioceramic Sealers in Endodontics: A Systematic Review

Autors:

Sergio Mariconti¹, Galan Gracia Gil²

1: 5th-year dental student at the European University of Valencia.

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



Correspondencia

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia

Abstract

Introduction: The penetration of bioceramic sealers into dentinal tubules is crucial for achieving an effective three-dimensional seal in endodontics. This review investigates how different chelating agents influence this penetration.

Materials and Methods: A systematic search was performed in PubMed, Scopus, and Web of Science to identify in vitro studies published between 2018 and 2024 that evaluated the penetration of bioceramic sealers with various chelating agents. Eight studies using confocal laser scanning microscopy (CLSM) were included.

Results: Chelating agents such as HEDP and maleic acid demonstrated greater penetration depth and higher percentage of tubule infiltration compared to EDTA. Penetration was highest in the coronal third and lowest in the apical third. HEDP stood out for achieving good penetration without signs of dentin erosion.

Conclusion: The results support the use of protocols that incorporate less aggressive chelating agents such as HEDP to optimize sealer penetration without compromising dentin structure.

Keywords: Bioceramic sealers, chelating agents, intratubular penetration, endodontics, HEDP, EDTA.

1. Introduction

Endodontic treatment is a key discipline within restorative and conservative dentistry, with the main goal of eliminating infection from the root canal system and achieving a durable three-dimensional seal to prevent reinfection. Long-term clinical success depends not only on effective microbial elimination but also on a hermetic obturation that prevents microleakage. In this context, the sealing materials play a fundamental role, and their ability to penetrate dentinal tubules directly influences their performance (1).

After mechanical instrumentation, root dentin becomes covered with a layer known as the smear layer, which consists of dentin debris, necrotic cells, microorganisms, and byproducts of instrumentation. This smear layer acts as a physical barrier that hinders sealer penetration and negatively affects the adhesion between the obturation material and the canal wall. Therefore, its removal through proper irrigation is a critical step for successful obturation (2).

Final irrigation protocols typically include the use of chemical solutions acting as chelating agents. These agents dissolve the inorganic component of the smear layer, opening the dentinal tubules and facilitating the penetration of obturation materials. Commonly used agents include EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid), HEDP (etidronic acid), citric acid, maleic acid, and commercial solutions such as Qmix, which combine chelators with antimicrobial components (1, 2).

EDTA has long been considered the gold standard for smear layer removal. However, recent studies have shown that it can cause significant erosion of the peritubular dentin if applied for prolonged periods or in high concentrations. Furthermore, EDTA is not compatible with all irrigants, such as sodium hypochlorite (NaOCl), with which it may react and reduce its antimicrobial effectiveness (3).

In contrast, HEDP has gained popularity due to its ability to be mixed directly with NaOCl, allowing simultaneous irrigation without reducing antimicrobial efficacy. This has led to the concept of "continuous irrigation" or "simultaneous irrigation," which simplifies the clinical protocol and may enhance both disinfection and sealer penetration. Maleic acid has also shown good results in smear layer removal and sealer penetration, with lower aggressiveness toward dentin structure. Qmix, which includes EDTA, chlorhexidine, and a surfactant,

offers additional advantages by reducing surface tension and improving sealer dispersion (4).

The choice of chelating agent directly influences the ability of bioceramic sealers to penetrate dentinal tubules. These sealers, generally composed of tricalcium silicate and other bioactive oxides, offer significant advantages over traditional resin- or eugenol-based sealers. They are highly biocompatible, possess antimicrobial properties, induce hydroxyapatite formation, and slightly expand upon setting, thus contributing to a superior seal (1, 3, 4).

Moreover, deep penetration of bioceramic sealers into dentinal tubules acts as an additional mechanical barrier against bacterial infiltration, promoting treatment success. The depth of penetration can vary depending on multiple factors, including the sealer's viscosity, canal morphology, the number and diameter of dentinal tubules, and particularly the irrigation protocol employed (2).

Despite progress, there is still no consensus on the most appropriate chelating agent to optimize intratubular penetration without compromising dentin integrity. Some studies focus solely on smear layer removal efficacy, while others assess erosion effects or compatibility with sealers (1 – 5).

Given the increasing clinical use of bioceramic sealers and the diversity of irrigation protocols, it is crucial to understand how each chelating agent affects sealer penetration. Therefore, the main objective of this systematic review is to critically analyze the recent scientific literature to identify which chelating agent, or combination of agents, allows for greater and more effective penetration of bioceramic sealers into human dentin during endodontic treatments. From this general objective, several specific aims are derived: to evaluate and compare the depth of penetration of bioceramic sealers, measured in micrometers, into the dentinal tubules according to the type of chelating agent used; to analyze the percentage of dentinal tubules infiltrated as an indicator of intratubular sealing efficacy; to study the distribution of the sealer within the coronal, middle, and apical thirds of the root canal, identifying potential differences related to the irrigation protocol; and to assess the degree of dentin erosion associated with the use of different chelating agents, considering their impact on dentin structure and biocompatibility. With these objectives, this work aims to provide evidence-based recommendations to update and improve clinical endodontic protocols, optimizing sealing efficacy without compromising dentin integrity. (1, 2).

2. Materials and Methods

A systematic review was conducted according to the PRISMA guidelines (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). A comprehensive search was performed in the PubMed, Scopus, and Web of Science databases, covering the period from January 2018 to January 2024. Keyword combinations and MeSH terms such as “bioceramic sealers,” “chelating agents,” “irrigation,” and “dentinal tubule penetration” were used with Boolean operators (AND, OR) to enhance search sensitivity.

Reference lists of selected articles were manually reviewed to identify additional relevant studies. All results were exported to a spreadsheet, and duplicates were removed both automatically and manually.

Inclusion criteria:

- In vitro studies using extracted human permanent teeth.
- Evaluation of bioceramic sealers such as TotalFill BC Sealer, BioRoot RCS, MTA Fillapex, EndoSeal MTA, etc.
- Comparison of irrigation protocols using chelating agents such as EDTA, HEDP, citric acid, maleic acid, or Qmix.
- Quantitative assessment using confocal laser scanning microscopy (CLSM) of at least one variable: penetration depth, percentage of tubules infiltrated, apical/coronal distribution, or dentin erosion.
- Articles published in English or Spanish in peer-reviewed journals.
- Full text available for analysis.

Exclusion criteria:

- Studies using animal models, artificial teeth, or simulators.
- Studies focused solely on physicochemical, antimicrobial, or adhesive properties without evaluating tubule penetration.
- Studies not using CLSM as the primary analysis method.
- Studies lacking clear protocol description, including the type of sealer, irrigation technique, or chelating agent concentration.
- Systematic reviews, grey literature, duplicate publications, or articles without peer review.

The selection process included several stages: duplicates were removed; titles and abstracts were screened; and finally, full texts were reviewed to confirm eligibility. Two independent reviewers conducted this process, with a third reviewer consulted in case of discrepancies.

Data extracted from each study included: authors, year of publication, type of bioceramic sealer, irrigation protocol (type and concentration of chelating agent), activation method (ultrasound, negative pressure, laser), number of specimens, penetration depth across root thirds, percentage of tubules infiltrated, and dentin erosion.

Study quality was assessed using a modified version of the ARRIVE guidelines and a CONSORT-based scale adapted for in vitro research. Studies were classified as low, moderate, or high risk of bias based on factors such as randomization, blinding, standardization, and data reporting.

Due to the heterogeneity of protocols, sealers, and irrigation techniques, a meta-analysis was not feasible. Instead, a narrative synthesis with descriptive analysis was conducted, grouping results by chelating agent and comparing their relative effects on sealer penetration.

3. Results

After applying the inclusion and exclusion criteria, eight in vitro studies published between 2018 and 2023 were selected. These studies assessed the penetration of bioceramic sealers into dentinal tubules using confocal laser scanning microscopy (CLSM). Collectively, they examined a total of 420 extracted human permanent teeth, distributed across experimental groups based on the type of chelating agent and bioceramic sealer used.

The bioceramic sealers analyzed included BioRoot RCS, TotalFill BC Sealer, EndoSeal MTA, and MTA Fillapex. While all sealers demonstrated some degree of penetration, the results varied depending on the final irrigation protocol employed. The most commonly tested chelating agents were 17% EDTA, 9% HEDP, 10% citric acid, 7% maleic acid, and Qmix.

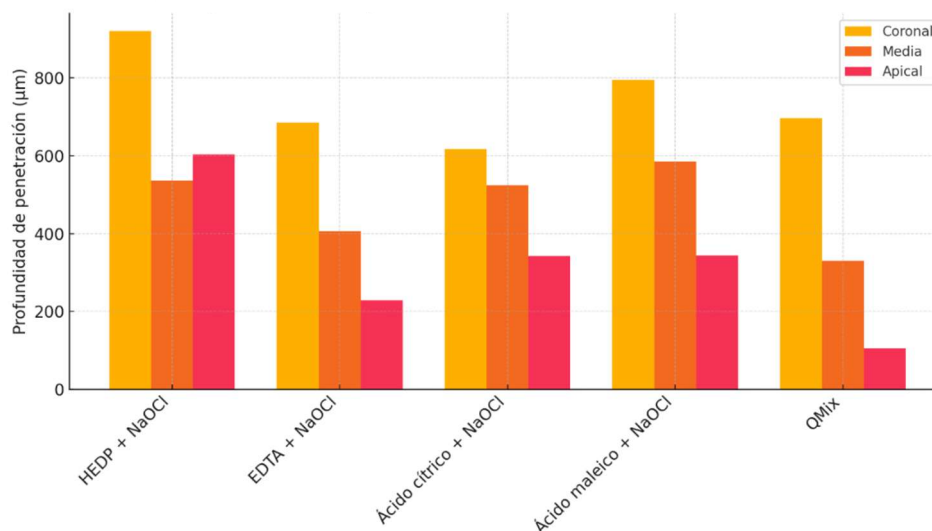
Most studies observed the highest penetration in the coronal third, decreasing toward the apical third. On average, HEDP and maleic acid facilitated greater penetration compared to EDTA. Reported depths for HEDP reached up

to 920.75 μm in the coronal third, 536.70 μm in the middle third, and 604.26 μm in the apical third. Maleic acid achieved 795.07 μm (coronal), 585.20 μm (middle), and 343.80 μm (apical). In contrast, EDTA penetration was lower: 684.96 μm (coronal), 406.61 μm (middle), and 228.81 μm (apical) (6 – 13).

Qmix showed good performance in the coronal (696.20 μm) and middle thirds (329.67 μm), but significantly lower values in the apical third (105.08 μm), likely due to its higher viscosity. Citric acid produced intermediate values between Qmix and EDTA (7, 8).

In Figure 1, the comparison of sealant penetration in various root areas of the teeth can be evaluated.

Fig. 1, comparison of sealant penetration in dentinal zones



Regarding the percentage of tubules infiltrated, HEDP and maleic acid led with results between 80% and 100%. Qmix and citric acid ranged from 60% to 80%, while EDTA was associated with the lowest values (40–60%) (6, 8, 9, 11).

Some studies also measured lateral diffusion of the sealer along the root canal wall. Here, HEDP reached 632.4 μm , followed by maleic acid (348.1 μm), citric acid (330.5 μm), EDTA (298.1 μm), and Qmix (86.8 μm). These differences indicate that both, depth and uniformity of penetration are affected by the choice of chelating agent (6, 7, 13).

Erosion of dentin was consistently observed in the EDTA groups, particularly with exposure times over one minute. Signs of peritubular

demineralization and collapse were evident. In contrast, HEDP showed no erosive effects even with prolonged exposure. Maleic acid produced mild to moderate erosion depending on duration, while Qmix caused little or no structural damage (8, 9, 12).

Some studies also assessed the impact of irrigant activation methods. Passive ultrasonic irrigation and negative pressure techniques improved sealer penetration compared to conventional syringe irrigation. However, activation protocols were not standardized, limiting conclusive comparisons (7, 9, 10).

An important finding was the compatibility of NaOCl with HEDP, enabling simultaneous irrigation without compromising antimicrobial efficacy or dentin structure. This combination simplifies irrigation protocols and reduces the number of steps required. HEDP can be used throughout instrumentation, potentially enhancing cleaning and sealer diffusion (6).

As for the sealers, BioRoot RCS and TotalFill BC Sealer consistently outperformed MTA Fillapex in terms of tubule penetration, likely due to differences in viscosity, composition, and flowability. Despite being MTA-based, Fillapex showed more variability, possibly because of its resin content.

In summary, the type of chelating agent significantly influences the penetration capacity of bioceramic sealers in terms of both depth and distribution. HEDP and maleic acid were the most effective, allowing deeper and more uniform sealer infiltration while minimizing the risk of dentin erosion.

4. Discussion

This systematic review confirms that the choice of chelating agent during final irrigation significantly impacts the intratubular penetration of bioceramic sealers. Such penetration is vital to enhance both apical and coronal sealing, reduce microleakage, and promote long-term success. HEDP and maleic acid were the most effective agents, outperforming EDTA, Qmix, and citric acid in terms of both depth and coverage of tubule infiltration (6 – 13).

HEDP showed clear advantages for continuous irrigation protocols. Its compatibility with NaOCl allows simultaneous use, eliminating the need for sequential solutions and reducing clinical steps and time. Unlike EDTA, HEDP exhibited no erosive effects on dentin, making it a more conservative option in

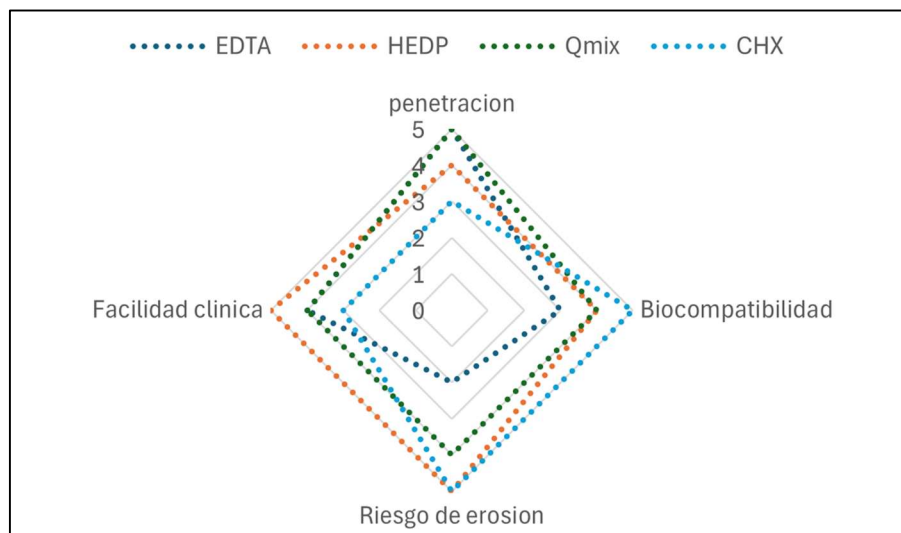
terms of dentin preservation. Its gentle chelating action likely accounts for this safer profile (6).

Maleic acid also emerged as an effective alternative, particularly for removing smear layer without significantly damaging dentin. Although some erosion was observed at longer exposure times, its efficacy in enhancing sealer penetration was well supported. Qmix, despite containing EDTA, showed moderate outcomes likely due to added chlorhexidine and surfactants improving its diffusion. However, its poor performance in the apical third may be linked to its viscosity and lack of activation (8).

EDTA showed lower penetration values and higher erosion potential, particularly at standard concentrations and application times. Although long considered the reference irrigant, its incompatibility with NaOCl and aggressive demineralizing action make it less ideal with modern bioceramic techniques (6, 9, 10, 13).

From a clinical perspective, it is essential to assess not only the penetration ability but also other factors such as biocompatibility, aggressiveness toward dentin, and ease of irrigant application. This multidimensional comparison can be visualized in Figure 2.

Fig. 2, Multidimensional comparison of chelating agents (Radar chart)



Ultrasonic and negative pressure activation were reported to improve irrigant penetration and sealer infiltration. However, due to methodological

variations, this effect could not be consistently quantified. Future studies should standardize activation parameters to clarify their influence (9).

Another key observation is that BioRoot RCS and TotalFill BC Sealer achieved better penetration compared to MTA Fillapex. This may relate to their lower viscosity, greater flow, and lack of resin content. The variability of Fillapex likely stems from its hybrid formulation (6 – 13).

From a clinical perspective, chelating agent selection should consider not only smear layer removal, but also its effect on sealer diffusion, biocompatibility, and dentin preservation. Protocols should be tailored to sealer properties to optimize the dentin–sealer interface.

There is a need for future research using more clinically realistic models, including in vivo trials or randomized clinical studies evaluating not only penetration depth but also sealing ability, resistance to leakage, and long-term success. The role of intratubular penetration in resisting bacterial recolonization also warrants further investigation.

An important limitation of this review is that all included studies were in vitro. Therefore, although the data provide valuable insights into chelator–sealer interactions, clinical applicability must be approached cautiously. The in vitro environment does not fully replicate clinical conditions, which include patient variability, operator technique, and presence of fluids. Moreover, heterogeneity in protocols, exposure times, and activation methods complicates direct comparison.

5. Conclusion

The selection of chelating agent is critical to optimize the penetration of bioceramic sealers. Protocols using HEDP or maleic acid in combination with NaOCl yielded better results than EDTA, while minimizing dentin erosion. These findings support the clinical use of these agents to improve the quality and longevity of root canal sealing.

From a clinical standpoint, adopting irrigation protocols that include HEDP or maleic acid may enhance the overall sealing performance and reduce endodontic failure. Their integration into daily practice offers a promising avenue for improving obturation outcomes.

6. Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest in the preparation of this article.

7. References

- 1) Glickman GN, Schweitzer JL. *Endodontic Diagnosis*. ENDODONTICS: Colleagues for Excellence. American Association of Endodontists; Fall 2013.
- 2) Blandón Paz B, Haslam Galo GA. *Proposed irrigation protocol for root canal disinfection* [Specialty thesis in Endodontics]. UNAN-León; 2015.
- 3) Immich F, Rödiger T, Kanzow P, Piva E, Rossi-Fedele G. Effectiveness of root canal irrigation and dressing for the treatment of asymptomatic apical periodontitis: A systematic review assessing complementary timeframes. *Aust Endod J*. 2025;00:1–9.
- 4) Molina ME, Manlla AM, Oliva MA, López ME, López GL, De la Casa ML. Cleaning capacity of chelating endodontic irrigation solutions with and without ultrasound on dentinal walls. *Canal Abierto*. 2021;44:14–22.
- 5) Abusrewil SM, McLean W, Scott JA. The use of bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *Saudi Dent J*. 2018;30(4):273–282.
- 6) Gupta K, Shetty SS, Tandale AB, Srikrumam M, Nihalani H. Comparative evaluation of continuous and sequential chelation on the dentinal tubule penetration of bioceramic-based sealer – A confocal laser scanning microscopic study. *J Conserv Dent Endod*. 2024 Sep 1;27(9):935–941.
- 7) Hassan R, Roshdy NN. Effect of continuous chelation on the dentinal tubule penetration of a calcium silicate-based root canal sealer: A confocal laser microscopy study. *BMC Oral Health*. 2023 Dec 1;23(1).
- 8) Shekhar S, Mallya PL, Ballal V, Shenoy R. To evaluate and compare the effect of 17% EDTA, 10% citric acid, and 7% maleic acid on the dentinal tubule penetration depth of bioceramic root canal sealer using confocal laser scanning microscopy: An in vitro study. *F1000Res*. 2022 Dec 22;11:1561.
- 9) Gawdat SI, Bedier MM. Influence of dual rinse irrigation on dentinal penetration of a bioceramic root canal sealer: A confocal microscopic analysis. *Aust Endod J*. 2022 Dec 1;48(3):481–486.

- 10) Aydın ZU, Özyürek T, Keskin B, Baran T. Effect of chitosan nanoparticle, QMix, and EDTA on TotalFill BC sealers' dentinal tubule penetration: A confocal laser scanning microscopy study. *Odontology*. 2019 Jan 25;107(1):64–71.
- 11) Kanwar SS, Taneja S, Kumar P, Dudeja C. Effect of final irrigant on depth of tubular penetration of resin-based root canal sealer and bioactive sealers using confocal laser scanning microscope. *Endodontology*. 2020 Oct 1;32(4):204–208.
- 12) Bhalla G, Bansal A, Kukreja N, Sharma A, Chhabra S, Sachdeva S. Irrigation sequence influence on penetration of root canal sealers in dentinal tubule: Confocal laser scanning microscopy and push-out bond strength analysis. *World J Dent*. 2023 Jul 1;14(7):598–603.
- 13) Teoh YY, Liew KY, Siao J, Wong S, Chandler N, Bogen G. The effects of chelation on the intratubular penetration depth of mineral trioxide aggregate. *Aust Endod J*. 2023 Dec 1;49(3):483–491.