

Grado en ODONTOLOGIA

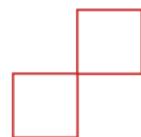
Trabajo Fin de Grado
Curso 2022-2023

NUEVOS MATERIALES BIOCERAMICOS Y SU POTENCIAL DE SELLADO EN LA OBTURACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES: REVISIÓN SISTEMATICA Y METAANÁLISIS

Presentado por: Gaia D'Amico

Tutor: Susana Muwaquet Rodriguez

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



AGRADECIMIENTOS

Desidero ringraziare la mia famiglia per avermi dato la possibilità di studiare all'estero e vivere questa esperienza magnifica, che mi ha fatto crescere e diventare la persona che sono oggi. Grazie per il vostro continuo sostegno, incoraggiamento e comprensione durante tutto il mio percorso accademico. Le vostre parole di conforto e il vostro supporto emotivo sono stati fondamentali per superare le sfide e per arrivare a questo traguardo. Grazie di cuore mamma, papa e Valerio. Senza di voi tutto questo non sarebbe stato possibile. Grazie anche ai miei nonni, zii e cugini per essermi stati sempre vicino e avermi dato quel pizzico di forza e supporto in più quando ne avevo bisogno.

Desidero esprimere la mia profonda gratitudine al mio supervisore, Susana Muwaquet Rodriguez, per la sua guida, il suo supporto e i suoi preziosi consigli durante tutto il processo di ricerca. La sua competenza e la sua dedizione hanno giocato un ruolo fondamentale nel portare questa tesi a compimento. È stato un piacere ed un onore lavorare insieme.

Grazie di cuore alla mia migliore amica Carlotta, per la nostra amicizia, che è andata ben oltre la distanza, rafforzandosi sempre di più. Sei una certezza, grazie per il tuo sostegno.

Grazie ad Alessia e Martina, per il nostro essere così come siamo, per i nostri momenti indimenticabili e le nostre mille risate. Per sempre così.

Grazie a Valencia, la città che mi ha accolta a braccia aperte fin dal primo giorno, che mi ha regalato momenti indimenticabili e che sempre porterò nel cuore. Grazie perché mi ha permesso di conoscere persone che hanno cambiato la mia vita. Grazie a Enrica, Giulia, Benedetta e Camilla per avermi sopportata e supportata sempre, per esserci sempre state nel momento del bisogno e nella mia quotidianità. Senza di voi, questo viaggio non sarebbe stato lo stesso. Grazie Emanuele, compagno di studio, di risate e di bellissimi ricordi che porterò sempre con me. Grazie a questo ultimo anno accademico, mi ha permesso di rafforzare le amicizie di sempre e conoscere persone nuove.

Grazie Roberta, Valencia non poteva farmi conoscere persona più speciale. Grazie Claudia e Camilla per avermi accolta nella vostra quotidianità. Grazie alla mia coinquilina Letizia, per la tua disponibilità, solarità e sostegno in tutti i nostri momenti, soprattutto quelli più difficili da superare.

Infine, vorrei ringraziare tutti coloro che, in modi diversi, hanno contribuito al mio percorso di studio. A tutti i professori, il personale accademico e i compagni di corso che hanno condiviso con me le loro conoscenze e le loro esperienze, vi sono grata per aver arricchito la mia formazione e avermi ispirata.

Grazie a me, per la mia forza di andare avanti che mi ha permesso di raggiungere i miei obiettivi e per essere pronta a iniziare un nuovo capitolo della mia vita.

ÍNDICE

1. ABREVIATURAS.....	5
2. RESUMEN.....	6
3. ABSTRACT.....	7
4. PALABRAS CLAVES.....	8
5. INTRODUCCIÓN	9
5.1 Generalidades.....	9
5.2 Funciones principales de los selladores de conductos radiculares e importancia del sellado apical en el éxito del tratamiento endodóntico con biocerámicos	10
5.3 Propiedad y mecanismo de lo biocerámicos	11
5.4 Propiedades antimicrobianas y antibiofilm de materiales biocerámicos en endodoncia.....	12
5.5 La importancia de la obturación de conductos	13
5.6 Propiedades biológicas y físicas de los selladores de	14
conductos radiculares a base de biocerámica.....	14
5.7 Propiedades ideales del sellador de conductos radiculares	15
5.8 Tipos de técnicas de obturaciones.....	17
5.9 Biocerámicas utilizadas en endodoncia	19
6. JUSTIFICION E HIPÓTESIS.....	20
7. OBJETIVOS.....	21
8. MATERIAL Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA.....	22
8.1 Identificación de la pregunta PICO	22
8.2 Criterios de elegibilidad	22
8.3 Fuentes de información y estrategia de la búsqueda de datos.	23
8.4 Proceso de selección de los estudios.....	27
8.5 Extracción de datos.....	27
8.6 Valoración de la calidad.....	28
8.7 Síntesis de datos.....	30
9. RESULTADOS	32
9.1. Selección de estudios. Flow chart	32
9.2. Análisis de las características de los estudios revisados	34
9.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo	36
9.4. Síntesis de resultados del metaanálisis.....	39
10. DISCUSIÓN.....	44

10.1 Capacidad de sellado	44
10.2 penetracion intratubular	46
10.3 Limitaciones o cosas futuras:	49
11. CONCLUSIONES	50
12. BIBLIOGRAFIA:	51
13. ANEXOS.....	57

1. ABREVIATURAS

1. GP: Gutta percha Gutapercha
2. CSBs: Calcium silicate-based sealers
3. LC: Cold lateral condensation
4. SC: Single cone
5. WVC: Warm vertical compaction
6. MA: Meta-analysis
7. MFI: Mean fluorescence intensity
8. SFI: Slope of fluorescence intensity
10. CLSM: Confocal laser scanning microscopy
11. SEM: Scanning electron microscopy
12. micro-CT: Microcomputed tomography
13. SMD: Standardized mean differences

2. RESUMEN

Introducción: Los selladores basados en silicato de calcio presentan diversas propiedades beneficiosas para la salud dental, como la capacidad de expandirse durante el fraguado, la insolubilidad en presencia de fluidos tisulares y, sobre todo, la biocompatibilidad. Además, parece que interactúan positivamente con el fluido dentinario, lo que podría inducir la biomineralización, mejorando así la actividad biológica dentro del conducto radicular. El objetivo fue evaluar la capacidad de sellado y de penetración intratubular de los biocerámicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frío.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Web Of Science sobre dientes endodonciados con biocerámicos y su capacidad de sellado y de penetración intratubular en obturación de conductos radiculares, publicados hasta febrero de 2023.

Resultados: De los 90 artículos potencialmente elegibles, 16 cumplieron con los criterios de inclusión y solo 10 fueron utilizados para el metaanálisis de los cuales 4 han tratado de la penetración intratubular, 4 de la capacidad de sellado y 2 artículos de ambas variables. En el grupo de la capacidad de sellado, el metaanálisis concluyó una $SMD=-1,31$ a favor del grupo test, es decir con la técnica caliente; con una cierta tendencia no significativa ($p=0,081$); mientras que sobre la penetración intratubular el metaanálisis concluyó una $SMD= 2,34$ a favor del grupo test, es decir, siempre por la técnica caliente con penetración significativamente mayor ($p=0,032$).

Conclusión: La técnica de obturación caliente presentó una penetración intratubular significativamente mayor que la fría y una capacidad de sellado remarcablemente superior a la fría, próxima a la significancia estadística.

Palabras claves: Sellador biocerámico, Obturación del conducto radicular, Técnica de obturación en frío, Técnicas de obturación en caliente, Penetración intratubular, Adaptación marginal.

3. ABSTRACT

Introduction: Calcium silicate-based sealers have various beneficial properties for dental health, such as their ability to expand during setting, insolubility in the presence of tissue fluids, and, most importantly, biocompatibility. Additionally, they appear to interact positively with dentinal fluid, which could induce biomineralization and enhance biological activity within the root canal. The objective of this study was to evaluate the sealing ability and intratubular penetration of bioceramic sealers using warm obturation techniques compared to cold techniques.

Materials and Methods: An electronic search was conducted in the PubMed, Scopus, and Web Of Science databases for endodontically treated teeth with bioceramics and their sealing capacity in root canal obturation, published up to February 2023.

Results: Out of 90 potentially eligible articles, 16 met the inclusion criteria, and only 10 were used for the meta-analysis, of which 4 addressed intratubular penetration, 4 addressed sealing capacity, and 2 articles addressed both variables. In the sealing capacity group, the meta-analysis concluded an SMD=-1.31 in favor of the test group (hot) with a certain non-significant trend ($p=0.081$); regarding intratubular penetration, the meta-analysis concluded an SMD=2.34 in favor of the test group (hot) with significantly greater penetration ($p=0.032$).

Conclusion: The hot obturation technique presented significantly greater intratubular penetration than the cold technique and a remarkably superior sealing capacity to the cold technique, close to statistical significance.

Keywords: Bioceramic sealer, Root canal obturation, Cold obturation technique, Warm obturation techniques, Intratubular penetration, Marginal adaptation

4. PALABRAS CLAVES

- I. Dientes endodonciados
- II. Sellador bioceramico
- III. Bioceramicos
- IV. Silicato de calcio
- V. BioRoot
- VI. RCS
- VII. CeraSeal
- VIII. Endosequence
- IX. Obturación del conducto radicular
- X. Técnica de cono unico
- XI. Técnica de obturación en frio
- XII. Condensación lateral
- XIII. Técnica termoplastificada
- XIV. Técnica de gutta-percha caliente
- XV. Técnica de obturación en caliente
- XVI. Condensación vertical
- XVII. Penetración intratubular
- XVIII. Adaptación marginal
- XIX. Sellado

5. INTRODUCCIÓN

5.1 Generalidades

La Endodoncia está experimentando un crecimiento exponencial debido a la introducción de nuevas técnicas, avances tecnológicos y progresos en las ciencias de materiales endodónticos (1).

El fin de la terapia endodóntica es mantener o arreglar la función, la actividad de la pulpa y de los tejidos periapicales. La meta del tratamiento de conducto radicular es reducir la presencia de microorganismos, eliminar la infección y fomentar la curación perirradicular (2,3). El daño en la dentina sana, causado por factores como la erosión dental, fracturas o caries, lleva a la infección bacteriana y la respuesta inflamatoria que daña el tejido pulpar y perjudica el tejido periapical a través de la circulación sanguínea. Aquí interviene la terapia endodóntica, la cual es una opción crucial para preservar los dientes al remover microorganismos, sus productos residuales y tejido necrótico (4).

El éxito de la terapia del conducto radicular depende de la combinación de instrumentación, desinfección y obturación tridimensional. Para evitar la microfiltración y prevenir la reinfección, se requiere una obturación tridimensional adecuada en 3D. La gutapercha (GP), el material de obturación más común, no es capaz de lograr una obturación tridimensional efectiva debido a su falta de adherencia a la dentina. Por eso, se utilizan selladores de conducto radicular junto con la gutapercha para lograr un sellado hermético.

Los selladores basados en resina se consideran el estándar de oro en cuanto a propiedades fisicoquímicas, comparados con otros selladores comerciales disponibles para usarse con gutapercha. Tienen baja solubilidad, estabilidad dimensional adecuada y baja desintegración. Sin embargo, los selladores basados en resina no logran una obturación tridimensional debido a la falta de enlaces químicos entre el poliisopreno de la gutapercha y los componentes del sellador. Esto puede resultar en una posible microfiltración y en un sellado a largo plazo insuficiente debido a la falta de propiedades biomiméticas (3).

Por esta razón, el objetivo de la creación de selladores basados en silicatos de calcio es mejorar la obturación de los conductos radiculares. Estos selladores se consideran una clase nueva y avanzada debido a sus excelentes

propiedades de sellado y biocompatibilidad. Proporcionan un enfoque biológico en la obturación de conductos radiculares (5).

5.2 Funciones principales de los selladores de conductos radiculares e importancia del sellado apical en el éxito del tratamiento endodóntico con biocerámicos

En general, las funciones principales de los selladores de conductos radiculares son: sellar los vacíos, los conductos accesorios permeables y los agujeros múltiples; formar una unión entre el núcleo del material de obturación y la pared del conducto radicular; actuar como un lubricante al mismo tiempo que facilita la colocación del núcleo de relleno y enterrar cualquier bacteria restante (2). Claramente la función principal de un sellador de conductos radiculares es rellenar las imperfecciones y aumentar la adaptación del material de obturación radicular a las paredes del conducto, ya que de lo contrario aumentan las posibilidades de fuga y de fracaso (6).

Los biocerámicos basados en silicato de calcio han aumentado la tasa de éxito en el tratamiento endodóntico debido a sus excelentes características biológicas (2).

De hecho, se trata de materiales recientemente introducidos en endodoncia que han permitido cambiar la cara de la endodoncia y se pueden clasificar ampliamente en fosfato de calcio/tricálcico/hidroxiapatita, silicato de calcio o mezclas de silicato de calcio y fosfatos.

Una de las formas más sencillas de clasificar los biocerámicos es la siguiente:

- 1) *Bioinerte*: no interactúa con los sistemas biológicos (alúmina, zirconia).
- 2) *Bioactivo*: tejidos duraderos que pueden sufrir interacciones interfaciales con el tejido circundante (vidrios bioactivos, cerámicas de vidrio bioactivas, hidroxiapatita, silicatos de calcio).
- 3) *Biodegradables*: solubles o reabsorbibles, eventualmente reemplazados o incorporados en el tejido (Fosfato tricálcico, Vidrios bioactivos) (1).

5.3 Propiedad y mecanismo de lo bioceramicos

Los selladores basados en silicato de calcio (CSB) tienen propiedades benéficas, como la hidrofilia, un pH elevado superior a 12, propiedades antimicrobianas, y de mucha importancia la expansión durante el fraguado e insolubilidad en presencia de fluidos tisulares (3).

Además, una ventaja relacionada con el uso de materiales biocerámicos como selladores de conductos radiculares es su biocompatibilidad, que permite evitar reacción adversa de los tejidos circundantes (7). El hecho que contienen el fosfato de calcio es la principal razón de esa excelente biocompatibilidad del biocerámico (8) y de hecho mejora sus propiedades de fraguado, dándole una estructura y composición química similares a la apatita, material que se encuentra en dientes y huesos (7).

Por esa razón, los selladores a base de silicato tricálcico parecen interactuar positivamente con el fluido dentinario, induciendo potencialmente la biomineralización con la formación de precipitaciones de minerales dentro de los túbulos dentinarios, mejorando así la actividad biológica dentro del conducto radicular (9) .

Además, esa mejora en la unión entre el sellador y la dentina radicular promueve la bioactividad y el crecimiento tisular en comparación con otros selladores de conductos radiculares disponibles en el mercado (3).

De hecho, el silicato tricálcico y el silicato dicálcico hidratándose, reaccionan con el agua produciendo agujas de silicato cálcico en fase de hidrato e hidróxido de calcio, capaz de proporcionar una liberación lenta de calcio e iones hidroxilo, en presencia de un fluido que contiene fosfato, para permitir la precipitación de apatita deficiente en calcio con la formación de fosfato cálcico amorfo inicial. Los hidratos de silicato cálcico, en fluidos humanos, con fosfatos liberan iones OH^- y Ca^{2+} produciendo hidroxiapatita. La presencia de esta humedad (fluidos) es importante para la actividad de los selladores, aunque si los conductos radiculares están secados completamente con puntas de papel, está demostrado que la humedad propia de la dentina es suficiente para hidratar el sellador. Una otra ventaja de los últimos selladores bioceramicos es la fluidez y el tamaño pequeño de las partículas que permite una extensión a todo largo de las paredes del conducto y una penetración en los túbulos e irregularidades de

la dentina radicular, así incrementando la retención mecánica del sellador actuando también como barrera física frente a las microfiltraciones (6).

Como último, el fosfato cálcico es también la característica principal para no crear reacciones adversas cuando el cemento está en contacto con los tejidos periodontales. Los cementos tricalcicos tienen también el potencial de promover una cierta regeneración ósea (10).

5.4 Propiedades antimicrobianas y antibiofilm de materiales biocerámicos en endodoncia

Los biocerámicos tienen la cualidad de ser biocompatibles y también de evitar la adhesión bacteriana dado que forman polvos porosos que contienen nanocristales con diámetro de 1 a 3nm (11).

Las propiedades antimicrobianas y antibiofilm se ejercen durante el proceso de fraguado al aumentar el pH y la liberación de iones del material.

Entonces, para tener éxito en el tratamiento de endodoncia, es fundamental tanto un sello de alta calidad como las propiedades antimicrobianas. Eso porque los microorganismos y sus derivados son los principales factores etiológicos responsables de las enfermedades pulpares y periapicales. Se sabe que los microorganismos que se encuentran en los conductos radiculares forman biopelículas, lo que los hace más resistentes a los agentes antimicrobianos.

De hecho, el objetivo del tratamiento endodóntico es lograr el éxito clínico y radiográfico previniendo la contaminación microbiana del sistema de conductos radiculares y eliminar los microbios del conducto radicular infectado. Sin embargo, es prácticamente imposible eliminar completamente los microbios mediante irrigación y otros métodos porque, aunque la preparación quimio-mecánica reduce significativamente los microorganismos dentro del sistema de conductos radiculares infectados, los instrumentos no tocan áreas proporcionalmente grandes de la pared del conducto radicular principal. Así que para promover el movimiento del irrigante hacia áreas limpias que están más allá del alcance de la instrumentación, se han desarrollado métodos efectivos como método de agitación del irrigante, como el pipeteo, el calentamiento del irrigante, la activación sónica y ultrasónica y también la

activación multisónica. Claramente más allá de la agitación del irrigante, para reducir aún más los microorganismos residuales y la fuga de una posible reinfección, es fundamental el uso de materiales endodónticos como selladores, cementos, pastas, masillas y materiales de obturación con actividad anti-biopelícula, considerándose beneficiosos para reducir aún más los microorganismos residuales y prevenir la fuga de una posible reinfección (12).

5.5 La importancia de la obturación de conductos

Así que ahora podemos enfocarnos en la importancia de la obturación del conducto radicular que tiene como objetivo rellenar y sellar, en las tres dimensiones, el espacio endodóntico para evitar esa penetración y crecimiento de microorganismos en su interior de que hemos hablado, así como la percolación de fluidos tisulares susceptibles de degradación. La técnica de obturación del conducto radicular y el cemento endodóntico son factores principales para lograr una adecuada obturación del conducto radicular (13).

Se han sugerido varios tipos de materiales selladores para llenar los huecos entre la gutapercha y las paredes del canal dental. Se busca un sellado efectivo y compatible con el material del núcleo y la dentina para minimizar los espacios. Las propiedades fisicoquímicas y el método de aplicación influyen en estos requisitos. Por lo tanto, la elección adecuada del sellador es esencial al seleccionar la técnica de llenado. Debido a sus características de biocompatibilidad, baja toxicidad y viscosidad, los selladores basados en silicato tricálcico han recibido un nuevo interés en relación con la mejora de la calidad de la obturación (14).

La finalidad del cemento es facilitar el flujo de la gutapercha, rellenar los espacios no llenados por la propia gutapercha y crear una interfaz adhesiva en las paredes del canal. Sin embargo, todos los tipos de cemento disponibles actualmente en el mercado son ligeramente reabsorbibles causando así la formación de espacios vacíos; por esa razón que deben utilizarse en la menor cantidad posible. En la actualidad los nuevos cementos biocerámicos pueden utilizarse como sustitutos del MTA, como sellador del canal radicular o como materiales de obturación radicular, en combinación con gutapercha para rellenar los conductos radiculares. No existe un método estándar para medir la adhesión

de un sellador a la dentina de la raíz; por esta razón, la adhesión del sellador del material de obturación de la raíz se comprueba habitualmente mediante pruebas de resistencia de la adhesión y microfiltración. Esa última se describe como la "propagación de bacterias, fluidos orales, iones y moléculas en la interfaz entre el diente y el material de obturación".

Las diferentes técnicas de obturación, las propiedades químicas y físicas de los materiales de obturación del conducto radicular y la presencia o ausencia de la capa de barrillo dentinario, son factores que causan la infiltración apical, la cual se considera la causa más común de fracaso endodóntico y eso se denomina fracaso o infiltración primarios (13).

5.6 Propiedades biológicas y físicas de los selladores de conductos radiculares a base de biocerámica

Las propiedades biológicas y físicas de los selladores de conductos radiculares basados en biocerámica son muy importantes y deben ser evaluadas en función de las propiedades ideales según Grossman. Estas incluyen:

1. Debe estar pegajoso cuando se mezcle para proporcionar una buena adherencia entre él y la pared del canal cuando frague.
2. Debe hacer un sello hermético.
3. Debe ser radiopaco para que pueda visualizarse en la radiografía.
4. Las partículas de polvo deben ser muy finas para que puedan mezclarse fácilmente con el líquido.
5. No debe encogerse al fraguar.
6. No debe decolorar la estructura dental.
7. Debe ser bacteriostático o al menos no fomentar el crecimiento bacteriano.
8. Debe establecerse lentamente.
9. Debe ser insoluble en los fluidos tisulares.
10. Debe ser bien tolerado por el tejido periapical.
11. Debe ser soluble en solventes comunes si es necesario remover el relleno del conducto radicular (7).

5.7 Propiedades ideales del sellador de conductos radiculares

1) BIOCOMPATIBILIDAD:

La biocompatibilidad es esencial para los selladores de conductos radiculares, ya que actúan como un implante en contacto directo o indirecto con tejidos vitales en el agujero apical y lateral de la raíz o en la superficie restaurada. La biocompatibilidad se refiere a la capacidad de un material para tener una respuesta adecuada y ventajosa en el huésped. Un material es biocompatible cuando no causa reacciones adversas como toxicidad, irritación, inflamación, alergia o carcinogenicidad al entrar en contacto con el tejido. La biocompatibilidad se evalúa a través de estudios de citotoxicidad, que miden el efecto del material en la supervivencia celular. Se ha encontrado que los selladores de conductos radiculares a base de biocerámica son biocompatibles gracias a la presencia de fosfato de calcio, el principal componente inorgánico de los tejidos duros. Este componente también puede potenciar la regeneración ósea en caso de extrusión involuntaria a través del foramen apical durante el llenado del conducto o la reparación de perforaciones radiculares.

2) AJUSTE DE TIEMPO

El tiempo apropiado para el endurecimiento del sellador de conducto debe ser suficiente para un buen manejo. Pero un tiempo de endurecimiento prolongado puede causar irritación en los tejidos y la mayoría de los selladores de conductos radiculares son tóxicos hasta que se fraguen por completo.

3) CAUDAL

El sellador debe tener la capacidad de fluir para llegar a áreas de acceso difícil, tales como irregularidades estrechas en la dentina, el istmo, conductos secundarios, y espacios entre los conos maestro y accesorio. Según ISO 6786/2001, un sellador de conductos radiculares debe tener un caudal mínimo de 20 mm. El flujo puede ser afectado por diversos factores como tamaño de las partículas, temperatura, velocidad de corte y tiempo de mezcla.

4) RETIRABILIDAD

Los selladores de conductos radiculares brindan una barrera mecánica para aislar tejido necrótico o bacterias responsables de la inflamación periapical persistente o dolor postoperatorio, y se sabe que la mayor parte del material remanente durante el retratamiento es sellador. Por lo tanto, es esencial remover completamente el sellador durante el retratamiento endodóntico para lograr tejidos periapicales saludables.

5) SOLUBILIDAD

La solubilidad es la pérdida de masa de un material durante un período de inmersión en agua. La solubilidad de un sellador de conducto radicular no debe exceder el 3% en masa. Un sellador de conductos radiculares altamente soluble permitiría invariablemente la formación de espacios dentro y entre el material y la dentina radicular, proporcionando así vías para la fuga de la cavidad oral y los tejidos periapicales.

6) DECOLORACION DE LA ESTRUCTURA DENTAL

Por motivos estéticos, el sellador de conductos radiculares no debe decolorar el diente. Los efectos que alteran el color de los selladores radiculares se intensifican si no se retira el exceso de material de la dentina coronal en la cámara pulpar.

7) RADIOPACIDAD

Los selladores de conductos radiculares deben tener una opacidad suficiente para diferenciarse de las estructuras anatómicas circundantes, permitiendo así evaluar la calidad del sellado a través de una radiografía.

8) PROPIEDADES ANTIMICROBIANAS

Selladores de conductos radiculares con actividad antimicrobiana aumentan la tasa de éxito en tratamientos de endodoncia, combatiendo infecciones intrarradiculares residuales que podrían haber sobrevivido al

tratamiento de conductos radiculares o invadido posteriormente a través de microfiltraciones.

9) ADHESION

La adhesión del sellador radicular se refiere a su habilidad de adherirse a la dentina y promover la adhesión de los conos de obturación GP. No hay un método universal para medir la adherencia, por lo que se evalúa a menudo a través de pruebas de microfiltración y fuerza de unión. La capacidad de sellado está relacionada con su solubilidad y adherencia a la dentina y los conos. Una buena unión entre el sellador y la dentina es crucial para mantener la integridad de la interfaz durante la preparación de los espacios para postes y la flexión dental. Los selladores de biocerámica pueden crear enlaces entre la dentina y los materiales de obturación del núcleo (7).

5.8 Tipos de técnicas de obturaciones.

Existen varias técnicas de obturación del conducto radicular y pueden ser clasificadas en dos categorías:

1) **Las técnicas en frío:**

El sistema de compactación lateral (LC): la condensación lateral fría es la técnica de obturación clásica, que también se enseña principalmente en los cursos de pregrado en la mayoría de las facultades de odontología. Esta técnica consiste en colocar un solo cono de gutapercha (GP) con sellador en el conducto radicular preparado y agregar conos GP secundarios que se compactan con el uso de un espaciador. Los conos permanecen juntos debido al agarre por fricción y la presencia de un sellador (15).

Se trata de una técnica de obturación más común en todo el mundo y se considera el estándar en comparación de otras técnicas de obturación, pero a pesar de ser predecible y relativamente simple de ejecutar en conductos cónicos regulares, la obturación del conducto radicular mediante una técnica de compactación lateral puede carecer de homogeneidad y, por lo tanto, generar una gran cantidad de sellador (16).

De hecho, varios informes han sugerido que LC no puede llenar los espacios de manera eficiente y causa vacíos o espacios debido al transporte no homogéneo de los selladores(17).

La técnica de cono único (SC) se ha vuelto utilizada debido a que es más fácil de implementar, en consecuencia, es menos sensible a las variaciones del operador, tiene un costo bajo y un tiempo de operación corto. Esta técnica utiliza un cono de gutapercha con un diámetro similar al último instrumento utilizado para dar forma al conducto radicular. Sin embargo, esta técnica demanda una mayor cantidad de sellador, por lo que la fluidez y otras propiedades fisicoquímicas del sellador juegan un papel fundamental en el éxito del tratamiento endodóntico. Por lo tanto, los selladores a base de silicato tricálcico han atraído una atención considerable debido a su alta biocompatibilidad y ligera expansión durante el fraguado (16).

2) Las técnicas de gutapercha caliente/termoplásticas: la idea de calentar gutapercha para lograr una obturación tridimensional uniforme fue presentada por Schilder en la década de 1960. Su objetivo era brindar una técnica que produjera material homogéneo, estable y adaptable a la anatomía compleja de los conductos radiculares. La técnica consiste en condensar la gutapercha (GP) calentada dentro del conducto para adaptarse a las paredes preparadas. Se usa poco sellador. Desde su introducción, han surgido otros métodos que emplean conos de gutapercha calentados: obturación de onda continua, gutapercha inyectable y técnicas basadas en portadores, la técnica de plastificación y la compactación vertical caliente (13,15).

La obturación termoplastificada inyectable utiliza un sistema de jeringa inyectable que ofrece obturaciones viables. Esta técnica requiere menos tiempo, permite una buena adaptación a la anatomía del conducto radicular, tiene menos posibilidades de porosidad y crea una obturación más densa que el procedimiento LC (17).

En la técnica de compactación vertical en caliente (WVC), el material de obturación se plastifica con calor y se lleva al conducto radicular mediante

taponadores calientes. Una vez compactada la porción apical de la raíz con material de obturación, se realiza el relleno de la porción coronal. El beneficio de este método es que el material de obturación plastificado puede adaptarse bien a las anomalías e istmos del conducto radicular y da como resultado una compactación densa con un buen sellado en todos los portales de entrada del conducto radicular. Este método asegura la homogeneidad de GP en el conducto radicular y puede ser más eficaz en la obturación del conducto lateral que el método LC (17).

5.9 Biocerámicas utilizadas en endodoncia

Hay varios tipos de biocerámicos: a base de silicato de calcio – Cementos- Cemento Portland, Agregado de trióxido mineral (MTA), Biodentine (Septodont, Francia) Selladores - Endo CPM Sealer (EGO SRL, Buenos Aires, Argentina), MTA Fillapex (Angelus, Brasil), BioRoot RCS (Septodont, Francia), TechBiosealer (Profident, Kielce, Polonia). Fosfatos de calcio/ fosfato tricálcico/ a base de hidroxiapatita Mezcla de silicatos de calcio y fosfatos de calcio: iRoot BP, iRoot BP Plus, iRoot FS (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canadá), EndoSequence BC Sealer (Brasseler, Savannah, GA, EE. UU.)/Total Relleno, Bioagregado (Innovative Bioceramix Inc., Vancouver, Canadá), Tech Biosealer, Ceramicrete (desarrollado en Argonne National Lab, Illinois, EE. UU.) (1).

6. JUSTIFICACION E HIPÓTESIS

JUSTIFICACION

Los biocerámicos son materiales recientemente introducidos en endodoncia que han permitido cambiar la cara de la endodoncia y se pueden clasificar ampliamente en fosfato de calcio/tricálcico/hidroxiapatita, silicato de calcio o mezclas de silicato de calcio y fosfatos (1). Se puede afirmar que han aumentado la tasa de éxito en el tratamiento endodóntico debido a sus excelentes características biológicas (2). Por lo tanto, los selladores a base de silicato tricálcico han atraído una atención considerable, debido a su alta biocompatibilidad y ligera expansión durante el fraguado. Además, este sellador tiene alta bioactividad y puede promover la adhesión química entre las paredes dentinarias y el material de obturación, a través de la formación de una estructura similar a la hidroxiapatita biológica. Hasta la fecha, no existe un consenso en la literatura sobre qué técnica de obturación del conducto radicular debe elegirse cuando se utiliza el sellador a base de silicato tricálcico (16). Dado que es un tema novedoso y hay diferentes estudios con resultados variados y explicaciones, quiero enfocar mi trabajo en la importancia del tratamiento endodóntico con los biocerámicos en la obturación de conductos radiculares. Busco responder a preguntas como: ¿Los biocerámicos tienen más eficacia de penetración y capacidad de sellado en técnicas frías y/o calientes?, y ¿por qué?

HIPOTESIS

La hipótesis de trabajo de nuestro estudio considera que los biocerámicos son más efectivos en la obturación caliente de conductos radiculares en cuanto a la penetración intratubular y sellado, en comparación con las técnicas frías.

HIPOTESIS NULA

Los biocerámicos no son efectivos se utilizados en la obturación caliente de conductos radiculares en cuanto a penetración y capacidad de sellado en comparación con técnicas frías.

7. OBJETIVOS

Objetivo general

1. Evaluar las ventajas de utilizar los bioceramicos en la obturación de conductos radiculares mediante técnicas frías y calientes. Mediante un metaanálisis (MA) se pretende integrar la información procedente de los diferentes estudios y obtener así una conclusión general sobre el objeto de investigación.

Objetivos específicos

1. Evaluar la capacidad de sellado de los bioceramicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frio.
2. Evaluar la capacidad de penetración intratubular de los bioceramicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frio.

8. MATERIAL Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (18).

8.1 Identificación de la pregunta PICO

Se utilizaron la base de datos Medline-PubMed (United States National Library of Medicine), Web of Science y Scopus para realizar una búsqueda de los artículos indexados sobre dientes endodonciados con biocerámicos y su capacidad de sellado y de penetración intratubular en obturación de conductos radiculares, publicados hasta Febrero de 2023 para responder a la siguiente pregunta: *¿En los dientes endodonciados con los biocerámicos hay mayor capacidad de penetración intratubular y de sellado en la técnica de obturación caliente o fría?*

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

- **P** (población): Dientes endodonciados con biocerámicos.
- **I** (intervención): Técnica de obturación fría.
- **C** (comparación): Técnica de obturación caliente.
- **O** (resultados): Mejor capacidad de penetración intratubular y de sellado.

8.2 Criterios de elegibilidad

Los criterios de inclusión fueron:

- **Tipo de Estudio:** Experimental in vitro, estudios sobre dientes permanente uni/multirradiculares humanos extraídos (≥ 15). Publicaciones en inglés y publicados en los últimos 10 años.

- **Tipo de Paciente:** Estudios sobre dientes permanentes extraídos, endodnciados con bioceramicos.
- **Tipo de Intervención:** Los bioceramicos utilizados en las técnicas frías de obturación de conductos radiculares.
- **Tipo de Comparación:** Los bioceramicos utilizados en las técnicas calientes de obturación de conductos radiculares.
- **Tipo de Variables de Resultados:** Estudios que proporcionaran datos relacionados con las ventajas de utilizar los bioceramicos en la obturación de conductos radiculares y la capacidad de penetración intratubular y de sellado de los bioceramicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frio.

Los criterios de exclusión fueron revisiones, a propósito de un caso, cartas o comentarios al editor, informes de expertos, estudios longitudinales, estudios retrógrados, estudios en dientes con ápice abierto, estudios en dientes en animales, retratamientos endodónticos, dientes con reabsorciones, dientes calcificados o con fracturas, dientes artificiales, con conductos laterales simulados, estudios basados sobre la eficacia de las gutaperchas utilizadas secundariamente con bioceramicos, técnica push out, técnica de obturación en punto C.

Cuando fue necesario, se estableció contacto con los autores para aclarar la información que faltaba.

8.3 Fuentes de información y estrategia de la búsqueda de datos.

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en las tres bases de datos anteriormente citadas (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras clave: “ devitalized teeth”, “ bioceramic sealer”, “ bioceramics”, “ calcium silicate”, “BioRoot”, “RCS”, “CeraSeal”, “Endosequence”, “Root canal obturation”, “single cone technique”, “cold obturation technique”, “lateral condensation”, “thermoplasticized technique”, “warm gutta-percha techniques”, “warm obturation techniques”, “vertical condensation”, “intratubular penetration”, “marginal adaptation”, “sealing”. Las palabras claves fueron combinadas con los operadores booleanos AND y OR, así como con los términos controlados (“MeSH”

para Pubmed) en un intento de obtener los mejores y más amplios resultados de búsqueda.

La búsqueda en **Pubmed** fue la siguiente:
 (((("tooth, nonvital"[MeSH Terms] OR ("bioceramic"[All Fields] OR "bioceramics"[All Fields]) AND ("sealer"[All Fields] OR "sealers"[All Fields])) OR ("bioceramic"[All Fields] OR "bioceramics"[All Fields]) OR ("calcium silicate"[Supplementary Concept] OR "calcium silicate"[All Fields]) OR "BioRoot"[All Fields] OR ("can rev sociol"[Journal] OR "rcs"[All Fields]) OR "CeraSeal"[All Fields] OR "Endosequence"[All Fields]) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication] AND (("root canal obturation"[MeSH Terms] OR ("single person"[MeSH Terms] OR ("single"[All Fields] AND "person"[All Fields]) OR "single person"[All Fields] OR "single"[All Fields] OR "singles"[All Fields]) AND ("retinal cone photoreceptor cells"[MeSH Terms] OR ("retinal"[All Fields] AND "cone"[All Fields] AND "photoreceptor"[All Fields] AND "cells"[All Fields]) OR "retinal cone photoreceptor cells"[All Fields] OR "cone"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("common cold"[MeSH Terms] OR ("common"[All Fields] AND "cold"[All Fields]) OR "common cold"[All Fields] OR "cold"[All Fields] OR "cold temperature"[MeSH Terms] OR ("cold"[All Fields] AND "temperature"[All Fields]) OR "cold temperature"[All Fields]) AND ("obturate"[All Fields] OR "obturated"[All Fields] OR "obturating"[All Fields] OR "obturation"[All Fields] OR "obturations"[All Fields] OR "obturator"[All Fields] OR "obturators"[All Fields] OR "obturing"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("functional laterality"[MeSH Terms] OR ("functional"[All Fields] AND "laterality"[All Fields]) OR "functional laterality"[All Fields] OR "laterality"[All Fields] OR "lateral"[All Fields] OR "lateralisation"[All Fields] OR "lateralisations"[All Fields] OR "lateralise"[All Fields] OR "lateralised"[All Fields] OR "lateralises"[All Fields] OR "lateralising"[All Fields] OR "lateralities"[All Fields] OR "lateralization"[All Fields] OR "lateralizations"[All Fields] OR "lateralize"[All Fields] OR "lateralized"[All Fields] OR "lateralizes"[All Fields] OR "lateralizing"[All

Fields] OR "laterally"[All Fields] OR "laterals"[All Fields]) AND ("condensable"[All Fields] OR "condensables"[All Fields] OR "condensate"[All Fields] OR "condensated"[All Fields] OR "condensates"[All Fields] OR "condensation"[All Fields] OR "condensations"[All Fields] OR "condense"[All Fields] OR "condensed"[All Fields] OR "condenser"[All Fields] OR "condensers"[All Fields] OR "condenses"[All Fields] OR "condensing"[All Fields])) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) OR (((("thermoplasticized"[All Fields] AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("warm"[All Fields] AND ("gutta percha"[MeSH Terms] OR "gutta percha"[All Fields] OR ("gutta"[All Fields] AND "percha"[All Fields]) OR "gutta percha"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("warm"[All Fields] AND ("obturate"[All Fields] OR "obturated"[All Fields] OR "obturing"[All Fields] OR "obturation"[All Fields] OR "obturations"[All Fields] OR "obturator"[All Fields] OR "obturators"[All Fields] OR "obturing"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR (("vertical"[All Fields] OR "verticality"[All Fields] OR "vertically"[All Fields] OR "verticals"[All Fields]) AND ("condensable"[All Fields] OR "condensables"[All Fields] OR "condensate"[All Fields] OR "condensated"[All Fields] OR "condensates"[All Fields] OR "condensation"[All Fields] OR "condensations"[All Fields] OR "condense"[All Fields] OR "condensed"[All Fields] OR "condenser"[All Fields] OR "condensers"[All Fields] OR "condenses"[All Fields] OR "condensing"[All Fields])) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) AND (((("intratubular"[All Fields] AND ("penetrability"[All Fields] OR "penetrable"[All Fields] OR "penetrate"[All Fields] OR "penetrated"[All Fields] OR "penetrates"[All Fields] OR "penetrating"[All Fields] OR "penetration"[All Fields] OR "penetrations"[All Fields])) OR (("margin"[All Fields] OR "margin s"[All Fields] OR "marginal"[All Fields] OR "marginals"[All Fields] OR "margined"[All Fields] OR "margins"[All Fields]) AND ("acclimatization"[MeSH Terms] OR "acclimatization"[All Fields] OR "adaptation"[All Fields] OR "adaptations"[All Fields] OR "adapt"[All Fields] OR

"adaptabilities"[All Fields] OR "adaptability"[All Fields] OR "adaptable"[All Fields] OR "adaptational"[All Fields] OR "adaptative"[All Fields] OR "adapte"[All Fields] OR "adapted"[All Fields] OR "adapting"[All Fields] OR "adaption"[All Fields] OR "adaptions"[All Fields] OR "adaptive"[All Fields] OR "adaptively"[All Fields] OR "adaptiveness"[All Fields] OR "adaptivity"[All Fields] OR "adapts"[All Fields])) OR ("sealed"[All Fields] OR "sealing"[All Fields] OR "sealings"[All Fields])) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) AND (y_10[Filter])

La búsqueda en **SCOPUS** fue la siguiente: (ALL (devitalized AND teeth OR bioceramic AND sealer OR bioceramics OR calcium AND silicate OR bioroot OR rcs OR ceraseal OR endosequence) AND ALL (root AND canal AND obturation OR single AND cone AND technique OR cold AND obturation AND technique OR lateral AND condensation) OR ALL (thermoplasticized AND technique OR warm AND gutta-percha AND techniques OR warm AND obturation AND techniques OR vertical AND condensation) AND ALL (intratubular AND penetration OR marginal AND adaptation OR sealing))

La búsqueda en **Web of Science** fue la siguiente: (((TS=(devitalized teeth OR bioceramic sealer OR calcium silicate OR BioRoot OR RCS CeraSeal OR Endosequence)) AND TS=(root canal obturation OR single cone technique OR cold obturation technique OR lateral condensation)) AND TS=(thermoplasticized technique OR warm gutta-percha techniques OR warm obturation techniques OR vertical condensation)) AND TS=(intratubular penetration OR marginal adaptation OR sealing)

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

Con el fin de identificar cualquier estudio elegible que la búsqueda inicial podría haber perdido, se completó la búsqueda con una revisión de las referencias proporcionadas en la bibliografía de cada uno de los estudios.

Por otra parte, se llevó a cabo una búsqueda manual de artículos científicos de las siguientes revistas: Journal of Conservative: JCD, Dentistry Journal of Clinical and Experimental Dentistry, Journal of pharmacy & Bioallied sciences.

Los estudios duplicados fueron eliminados de la revisión.

8.4 Proceso de selección de los estudios

Se realizó un proceso de selección en tres etapas. La selección de los estudios fue llevada a cabo por dos revisores (GDA, SMR). En la primera etapa se filtraba por los títulos con el objeto de eliminar publicaciones irrelevantes. En la segunda etapa se realizaba el cribado por los resúmenes y se seleccionaba según el tipo de estudio, tipo de biocerámicos, tipo de intervención, número de dientes extraídos, variable de resultados. En la tercera etapa se filtraba según la lectura del texto completo y se procedió a la extracción de los datos usando para ello un formulario de recogida de datos previamente elaborado para confirmar la elegibilidad de los estudios. Los desacuerdos entre los revisores, en cada una de las fases, se resolvieron mediante discusión y, cuando fue necesario, un tercer revisor fue consultado.

El grado de acuerdo respecto a la inclusión de los estudios potenciales fue calculado por k-statistics (Cohen kappa test) para la segunda y la tercera etapa de selección.

8.5 Extracción de datos

La siguiente información fue extraída de los estudios y se dispuso en tablas según el tipo de procedimiento (técnica caliente y/o fría): autores con el año de publicación, tipo de estudio (in vitro), número de muestra, tipo de muestra, tipo de biocerámico (nombres), tipo de cemento de comparación, técnica termoplástica utilizada, técnica fría comparada, capacidad de penetración intratubular (en porcentaje, micra, mm^2), capacidad de sellado (en milímetros, en porcentaje, micra, mm^3), método de medición, método de evaluación. Esa información se disputa en la tabla 2 de los Anexos.

Variables específicas:

- **Capacidad de sellado:** para la evaluación de la adaptación marginal frente el material de relleno y la pared del canal radicular han sido necesarios un microscopio electrónico de barrido (SEM), microscopio estereoscópico y también tomografía microcomputerizada (micro-CT). La medición de esa capacidad de sellado se ha podido evaluar mediante penetración de colorante como azul de metileno 1%, o también utilizando nitrato de plata y se han analizado los porcentajes de huecos a según de la obturación y los tercios, la fuga apical media en milímetros y también una media en micras de las puntuaciones de penetración del colorante a diferentes mm de longitud.
- **Penetración intratubular:** La penetración intratubular del sellador biocerámico viene evaluada después de un proceso de obturación a según de la técnica fría y/o caliente. A según de los artículos encontrados, esa penetración se ha comprobado principalmente mediante el uso de colorante fluorescente como Rodamina B (0,1%) expresando el resultado, a según también de la división de la raíz en tercios (coronal, medio, apical) en porcentaje, en micras μm y también en mm^2 (cuando se ha evaluado la media de área de penetración) y se ha evaluado también la intensidad de fluorescencia media (MFI) y de suma (SFI) correspondientes a la intensidad promedio y total del tinte de rodamina. Para estudiar los casos de penetración intratubular se ha utilizado principalmente un microscopio de barrido láser confocal (CLSM).

8.6 Valoración de la calidad

La valoración del riesgo de sesgo fue evaluada por dos revisores (GDA, SMR) con el objeto de analizar la calidad metodológica de los artículos incluidos.

Para la medición del sesgo de los 10 artículos utilizados para el metaanálisis se ha utilizado el gráfico de Funnel y la prueba de Egger (Fig. 2) Como referencia se han tomado los datos de los artículos y se ha relacionado el error estándar con el valor de la medida directa.

Mientras que para la evaluación del sesgo de los estudios in vitro utilizados para la revisión sistemática y que no se han podido utilizar para el metaanálisis, se utilizó una escala propia de los autores siguiendo las recomendaciones realizadas en uno estudio previo (Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcis C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardo A, Almerich-Silla JM. (2018) Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis (vol 13, e0193162, 2018) (19). Se trata de una escala in vitro la cual es distinta, trata más de casos in vitro realizados en laboratorio. Se compone de 5 ítems:

- a) Normalización de los procedimientos de muestreo
- b) Operador único
- c) Descripción del cálculo del tamaño de la muestra
- d) Cegamiento del operador de la máquina de ensayo
- e) Calibración del tamaño de la muestra antes de aplicar el ensayo, diseño del ensayo y cálculos de resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura y dureza de acuerdo con las normas y especificaciones.

Si el artículo informaba claramente sobre el parámetro recibía una puntuación de 0 para ese parámetro específico, si se informaba de un parámetro concreto, pero de forma insuficiente o poco clara la puntuación era de 1, y si no era posible encontrar esta información la puntuación era de 2.

Los artículos que obtuvieron una puntuación entre 0 y 3 se clasificaron como de bajo riesgo de sesgo, los que obtuvieron puntuaciones entre 4 y 7 como de riesgo moderado y los que obtuvieron puntuaciones entre 8 y 10 como de alto riesgo.

El grado de acuerdo inter-examinador de la evaluación de la calidad metodológica se obtuvo con la prueba kappa de Cohen, siguiendo la escala propuesta por Landis y Koch (20).

8.7 Síntesis de datos

Se realizó un estudio de metaanálisis para valorar las 2 variables: penetración intratubular y capacidad de sellado comparando los biocerámicos en técnica caliente y fría. Las investigadoras han desarrollado una exhaustiva revisión de la literatura, llegando a una selección final de 16 estudios. De los 16 estudios, 10 han presentado un diseño paralelo two-arm, considerándose un grupo test (técnica caliente) y un grupo control (técnica fría). Los outcome principales de la investigación fueron el grado de penetración intratubular y la capacidad de sellado. Tanto en uno como en otro, las variables y unidades de medición reportadas por los autores no son iguales, sino que hay bastante heterogeneidad. Ello determina totalmente la metodología estadística a utilizar, que ha sido basada en la estimación de diferencias medias estandarizadas. Es decir, para cada estudio se calculó una medida de efecto que será la diferencia de resultados entre caliente y fría estandarizada a las unidades específicas utilizadas. Por esta razón, los 6 estudios que emplean una única técnica tienen que ser excluidos. Si todos midieran las mismas variables y en mismas unidades estos estudios se podrían utilizar para hacer una estimación sólo de resultados en el grupo de fría (o caliente); pero con unidades diferentes sólo se tuvo la opción de obtener 'efectos estandarizados o relativos' (cuánto mejor es aplicar una técnica que otra). Para los 10 estudios válidos, sí se ha tenido en cuenta que las diferentes variables que miden un outcome se reporten en la misma dirección. Por ejemplo:

- Para la penetración, valores más elevados de micras, porcentaje del segmento, área media, etc... se interpretaron como un mayor alcance del producto y mayor efectividad.
- Para la capacidad de sellado, valores más elevados de la fuga, porcentaje de huecos, áreas vacías, etc... se interpretaron como una peor capacidad de sellado y menor efectividad.

Los diferentes artículos han presentado resultados para diferentes técnicas frías (SC, CL...) y calientes (CV, WV, Thermafil...) y uso de múltiples materiales. Además, algunos incluyeron resultados para diferentes distancias al ápice o diferenciando por zonas. Para poder realizar el metaanálisis con un

número suficiente de artículos se ha promediado el resultado de todas las combinaciones con técnica caliente y lo mismo para fría. Los datos disponibles no siempre son proporcionados por el autor de forma directa. En ocasiones, se han estimado a partir de algún gráfico. Si se trata de un box-plot del que pueden extraerse los valores habituales (mediana, cuartiles, rango), se ha aplicado el método de Wan (2014) para la estimación de media y desviación estándar (SD). Para otros autores que sólo reportaban un porcentaje medio (como el estudio de Alegre y cols (34,35) se ha aplicado la aproximación binomial. Respecto al metaanálisis en sí, se han realizado dos, uno para cada outcome. Se trata de un metaanálisis comparativo intra-estudio entre los dos tipos de técnica (test y control). Se han calculado diferencias medias estandarizadas (SMD) e intervalos de confianza al 95% a partir de modelos de efectos aleatorios con estimador de máxima verosimilitud. Los resultados de las estimaciones, medida de efecto global e intervalos de confianza se han representado en el gráfico de Forest (Fig. 3). Se ha calculado el índice I^2 de heterogeneidad (porcentaje de variabilidad del efecto estimado que puede ser atribuida a heterogeneidad de los verdaderos efectos) y la correspondiente prueba estadística de nulidad de Q. Se asume que esta información presentará ciertas limitaciones, pues al tratarse de diferentes escalas de medición, la variabilidad que se encuentre no puede atribuirse exactamente a diferencias entre los estudios.

Se explora el sesgo de publicación a través de gráficos de Funnel y prueba de Egger (Fig. 2). El nivel de significatividad empleado en los análisis ha sido el 5% ($\alpha=0.05$).

El software utilizado para la realización del metaanálisis ha sido R 3.5.1 (R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>).

9. RESULTADOS

9.1. Selección de estudios. Flow chart

Se obtuvieron un total de 97 artículos del proceso de búsqueda inicial:

Medline - PubMed (n=80), SCOPUS (n=0) y la Web of Science (n=16).

Además, se obtuvo 1 estudio adicional a través de la búsqueda manual (lista de referencias y fuentes primarias). De estas publicaciones, 20 se identificaron como artículos potencialmente elegibles mediante el cribado por títulos y resúmenes. Los artículos de texto completo fueron posteriormente obtenidos y evaluados a fondo. Como resultado, 16 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática y de estos 16 solo 10 fueron utilizados para el metaanálisis (Fig. 1).

La información relacionada con los artículos excluidos (y las razones de su exclusión) se presenta en la Tabla 3.

El valor k para el acuerdo interexaminador sobre la inclusión de los estudios fue de 0,93 (títulos y resúmenes) y 0,81 (textos completos) lo que indica un acuerdo "bueno" y "completo", respectivamente, según los criterios de Landis y Koch (20).

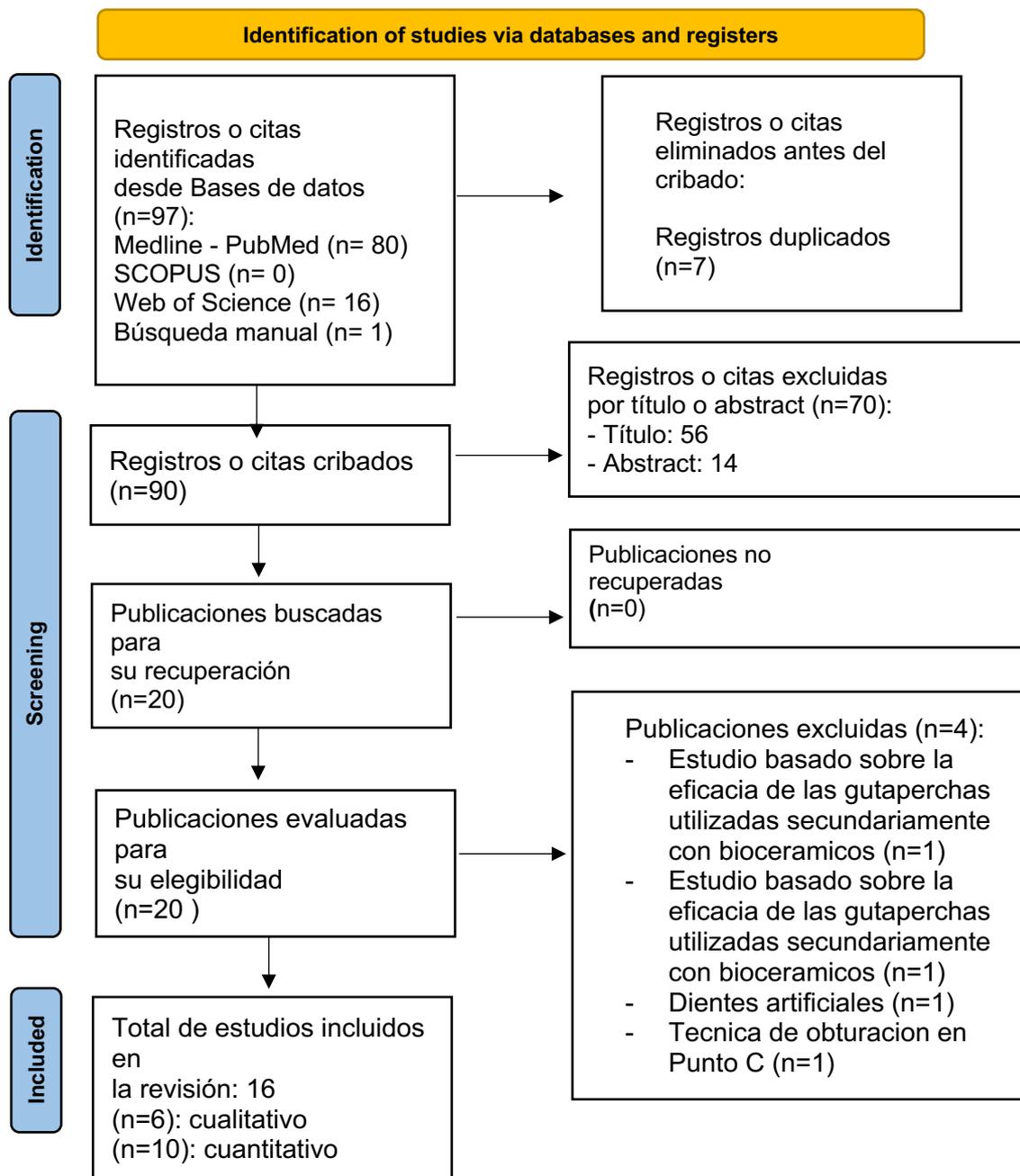


Fig. 1. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

Tabla 3: Artículos excluidos (y su razón de exclusión) de la presente revisión sistemática

Autor. Año	Publicación	Motivo de exclusión
Eltair,2017 (21) .	Clinical Oral Investigations	Estudio basado sobre la eficacia de las gutaperchas utilizadas secundariamente con bioceramicos
Angerame,2020 (22).	Journal of Materials Science: Materials in Medicine	Estudio basado sobre la eficacia de las gutaperchas utilizadas secundariamente con bioceramicos
Kim, 2017 (23).	Materials (Basel)	Dientes artificiales
El Sayed, 2018 (24).	Journal of Conservative Dentistry	Técnica de obturación en Punto C

9.2. Análisis de las características de los estudios revisados

De los 16 artículos incluidos en la presente revisión 6 han utilizado solo una técnica de obturación, caliente o fría, mientras que los otros 10 utilizaron ambas técnicas. De esos 10 artículos utilizados por el metaanálisis, 4 han tratado de la penetración intratubular, 4 de la capacidad de sellado y 2 artículos de ambas variables.

Los 10 artículos válidos para el metaanálisis incluyen un total de 400 dientes, 270 utilizados con técnicas calientes y 130 con fría.

La información de las características de los estudios revisados se puede mirar en la tabla 4.

Tabla 4: información de las características de los estudios revisados

VARIABLES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS	TIPO DE ESTUDIO	NUMERO DE MUESTRAS	Nº TOTAL DE ARTICULOS	METODO DE MEDICION	METODO DE EVALUACION
<i>Capacidad de sellado</i>	In-vitro	400	10		
				-Penetración de colorante: azul de metileno 1% nº: 2	-Microscopio estereoscópico nº:3
				-Rodamina B 0,1% nº:2 - Nitato de plata nº:1	-Micro-CT nº:1 - Microscopio electronico de barrido (SEM) nº:1
<i>Penetración intratubular</i>				-Microscopia digital: nº:1	
				-Rodamina B 0,1% nº:6	-Microscopio de barrido laser confocal CLSM nº:6

9.3. Evaluación de la calidad metodológica y riesgo de sesgo

Se ha utilizado el gráfico de Funnel y la prueba de Egger tanto para los artículos que han tratado solo la capacidad de sellado y otros solo la penetración intratubular.

Se ha tenido una concordancia con dos artículos de los autores Wang y cols. (25) y Dasari y cols. (17) que han tratado las dos variables.

- Valoración del sesgo sobre artículos de **capacidad de sellado**:

Se aceptó la presencia de sesgo de publicación ($p=0,015$), que se ha detectado a partir del gráfico de Funnel (Fig 2):

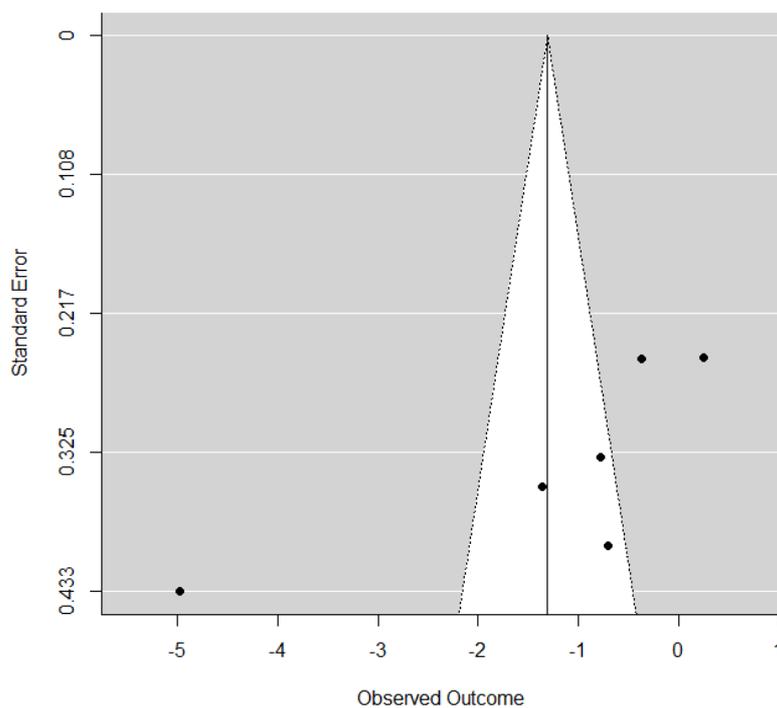


Fig. 2: representación del gráfico de Funnel

Se ha apreciado una cierta asimetría alrededor del 'embudo' teórico. En principio, el gráfico está distorsionado por la inclusión del estudio de Dasari y cols (17); pero aparte de este hecho la nube de artículos aumenta de izquierda a derecha, o lo que es lo mismo disminuye su error estándar. Es decir, que cuanto más preciso es un estudio, tiende a reportar menos diferencia entre caliente y fría. Y viceversa, hay artículos (como Dasari y cols. (17)) bastante imprecisos que reportan mucho mejor trabajar con caliente; pero no los hay del mismo nivel de imprecisión reportando lo contrario (sería lo esperado, dado que son imprecisos). Se sugiere, por tanto, que las revistas tienden a publicar, entre los de poca calidad, más artículos que favorecen la caliente.

- Valoración del sesgo sobre artículos de **penetración intratubular**:

El test de Egger ha confirmado la presencia de sesgo de publicación ($p=0,003$)

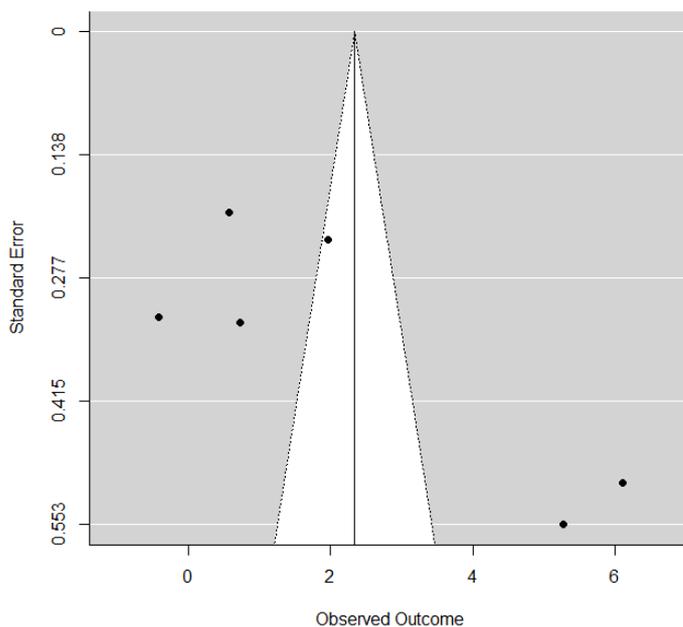


Fig. 2: representación del grafico de Funnel

La razón fue que hay dos estudios, Kim y cols. (26) y Dasari y cols. (17) que, siendo muy imprecisos, no tienen sus esperados 'espejos'. Es decir, no hay artículos publicados de la misma baja calidad que el estudio de Kim y cols. (26) y de Dasari y cols (17) y que estén reportando resultados más homogéneos entre frío y calor.

Para los 6 estudios no utilizados para el metanálisis sino que para la revisión sistemática se utilizó, (tabla 5) una escala propia de los autores evaluando 5 variables:

Tabla 5: escala propia de los autores

Autor/año	Muestra obtenida mediante un proceso estándar	Único operador	Cálculo del tamaño de la muestra	Cegamiento	Muestras, pruebas y fórmulas según las especificaciones estándar	Nivel de riesgo
Kaul y cols. (2021) (27).	0	0	0	0	0	0
Bianco y cols. (2020)(28).	1	1	0	0	0	2
Syed y cols. (2022)(54).	0	1	0	0	0	1

Najafzadeh y cols. (2022) (29).	1	1	0	0	0	2
Muedra y cols. (2021) (30).	0	1	0	0	0	1
Pawar y cols. (2014) (31).	0	1	0	0	0	1

9.4. Síntesis de resultados del metaanálisis

9.4.1 Capacidad de sellado

La siguiente tabla ([tabla 6](#)) corresponde al input final para el metaanálisis:

	TX=Caliente			Control= fría		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
AUTOR						
Celikten y cols. (2015) (32).	10	1,000	0,370	20	1,320	0,470
Pontoriero y cols. (2022) (6)	80	0,517	0,191	20	0,590	0,197
Pontoriero y cols. (2021) (13).	80	0,651	0,260	20	0,590	0,197
De Angelis y cols. (2021) (33)	20	1,740	0,945	20	2,980	0,835
Wang y cols. (2018) (25).	20	0,107	0,157	20	0,553	0,773
Dasari y cols. (2020) (17).	60	5,055	0,685	30	9,450	1,170

n: número de dientes; m: media; s: desviación estándar

La primera impresión que se ha deducido de la tabla es que los valores medios con técnica fría son generalmente superiores (peor sellado) que con caliente.

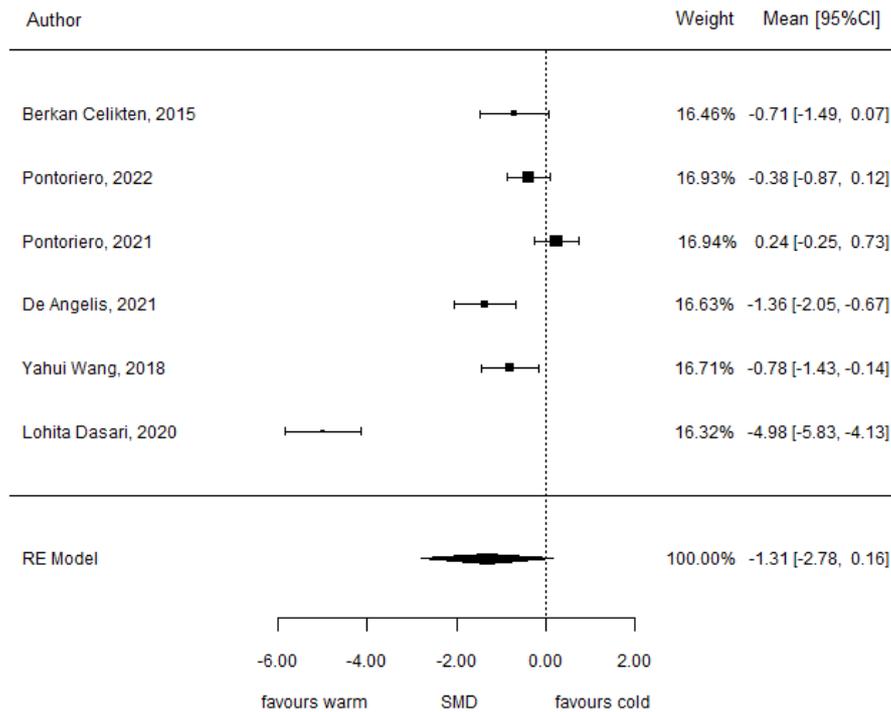


Fig. 3: el resultado de los metaanálisis visualizados mediante el gráfico de Forest.

En la presente figura (figura 3) se observó que, para todos los estudios, excepto Pontoriero y cols. (13) por escaso margen, se estimó una SMD de valor negativo, esto es, con técnica caliente los valores fueron inferiores a técnica fría (hay menos vacíos, hay menos fuga, etc...). Los valores SMD estimados carecen de unidad, son adimensionales. El metaanálisis concluyó una SMD=-1,31 a favor del grupo test (caliente). De nuevo, esta SMD no es interpretable en términos de unidades, sólo interesa su signo y magnitud. El intervalo de confianza al 95% para esta medida de efecto global (-2,78 0,16) contiene al 0 por escaso margen y de ahí que se concluya una cierta tendencia no significativa (p=0,081) a favor de la técnica caliente

Tabla 7.- Resultados del meta-análisis para la **capacidad de sellado según Grupo (test-control)**: diferencia media estandarizada (SMD), error estándar (SE), intervalo de confianza al 95%, z-test (p-valor), índice I² y Q de Cochran (p-valor) para heterogeneidad

SMD	SE	IC 95%	z (p-valor)	I ²	Q _H (p-valor)	Egger (p-valor)
-1.31	0.75	-2.78 0.16	0.081	96.9%	<0.001***	0.015*

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

Obsérvese cómo la heterogeneidad es elevada ($I^2=96.9\%$), estadísticamente significativa o no cero ($p<0,001$). Es obvio, por ejemplo, que para Dasari y cols. (17), la ventaja de la técnica test frente al control fue mucho más acusada que para el resto de los autores.

9.4.2 Penetración intratubular

La siguiente tabla (tabla 8) corresponde al input final para el metaanálisis:

AUTOR	TX=Caliente			Control= fría		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
Alegre y cols. (2022)(34).	150	69,93	42,50	30	45,17	46,35
Eid y cols. (2021)(14).	20	1026,98	471,03	20	696,39	417,35
Alegre y cols. (2022)(35).	120	0,056	0,013	30	0,031	0,011
Kim y cols. (2019)(26).	20	1091,7	83,3	40	741,7	55,0
Wang y cols. (2018) (25).	20	44,8	24,0	20	54,1	19,5
Dasari y cols. (2020)(17).	60	830,28	24,38	30	697,21	14,52

n: número de dientes; m: media; s: desviación estándar

De nuevo, una primera interpretación a partir de los datos apuntó a que con técnica caliente los valores medios son más elevados que con técnica fría.

El meta-análisis proporciona el siguiente Forest plot:

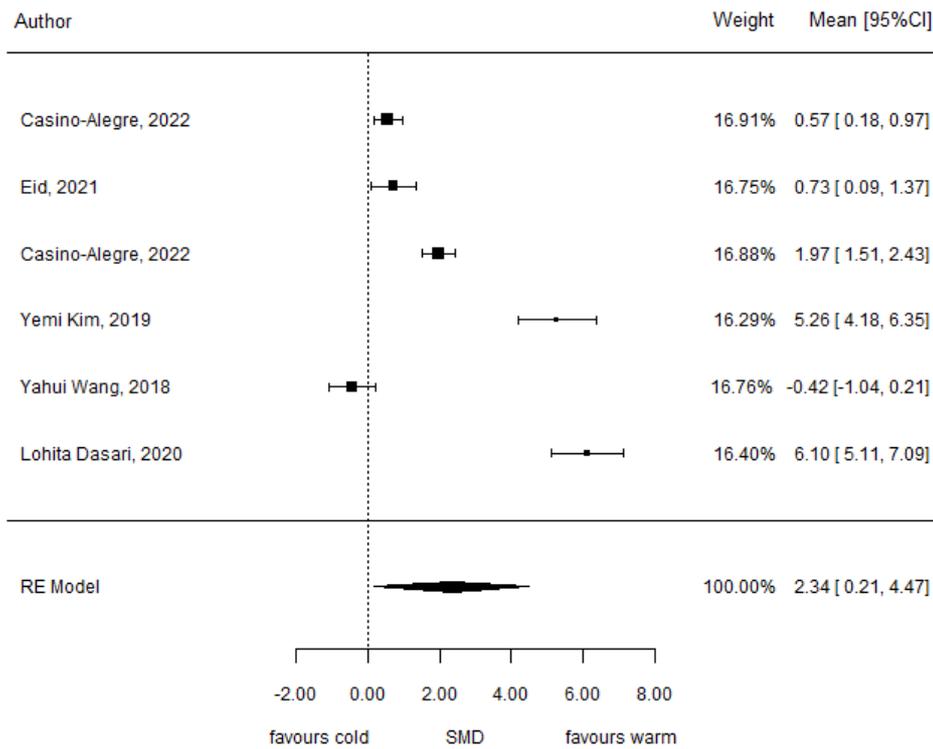


Fig. 4: el resultado de los metaanálisis visualizados mediante el gráfico de Forest.

Se ha notado que, para todos los estudios, excepto Wang-2018 (25) por escaso margen, se estimó una SMD de valor positivo, esto es, con técnica caliente los valores son superiores a técnica fría (hay más micras, más área media, mayor porcentaje de penetración, etc...). De nuevo, los valores SMD estimados son adimensionales.

El metaanálisis concluyó una SMD= 2,34 a favor del grupo test (caliente). El intervalo de confianza al 95% para esta medida de efecto global (0,21 4,47) excluye al 0 y de ahí se ha concluido que hay una penetración significativamente mayor (p=0,032) con la técnica caliente.

Tabla 8- Resultados del meta-análisis para la **penetración intratubular según Grupo (test-control)**: diferencia media estandarizada (SMD), error estándar (SE), intervalo de confianza al 95%, z-test (p-valor), índice I² y Q de Cochran (p-valor) para heterogeneidad

SMD	SE	IC 95%	z (p-valor)	I ²	Q _H (p-valor)	Egger (p-valor)
2.34	1.09	0.21 4.47	0.032*	98.7%	<0.001***	0.003**

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.001

El modelo realiza las estimaciones en un contexto de bastante heterogeneidad ($I^2=98.7\%$). No en vano, autores como Kim (26). y Dasari (17) están reportando sustanciales ventajas en el grupo con calor respecto al frío.

10. DISCUSIÓN.

La presente revisión bibliográfica y metaanálisis proporciona información basada en la evidencia científica sobre los resultados de la eficacia de los biocerámicos en función de la técnica de obturación radicular utilizada. El objetivo de esta revisión fue evaluar si los biocerámicos son más efectivos en la obturación caliente de conductos radiculares en cuanto a la capacidad de sellado y la penetración intratubular, en comparación con las técnicas frías.

10.1 Capacidad de sellado

En cuanto la capacidad de sellado, el metaanálisis concluye una SMD= -1,31 a favor del grupo test ósea del uso del biocerámico con la técnica caliente. De hecho, nuestra investigación muestra como la técnica de obturación caliente Thermafil, utilizando biocerámico Endosequence BC sealer, produce menos huecos con respecto a las técnicas frías de compactación lateral y de cono único, la cual presenta los mayores volúmenes de hueco(32). Mientras que Gade y cols. (36) no encontraron una diferencia significativa en la calidad de sellado haciendo una comparación con las mismas técnicas de obturación frías y en concordancia con este estudio, eso se muestra también utilizando biocerámico iRoot SP con técnica de cono único y la de condensación vertical (25). Además en nuestra investigación se confirma que el biocerámico BioRoot™ RCS (Septodont), utilizado con técnica caliente de condensación vertical, obtiene la menor cantidad de penetración de colorante apicalmente (0,450mm) a diferencia de la técnica fría de cono único (0,590mm) (13) y que el mismo biocerámico y además el biocerámico Cera Seal, utilizados con la misma técnica caliente, obtuvieron menor fuga apical (0,450mm) respecto a Thermafil y a la técnica fría de cono único (6). Los resultados obtenidos se confirman también utilizando siempre BioRoot RCS con la técnica caliente de condensación vertical con respecto a la técnica de gutapercha inyectable, con adaptación intermedia y la técnica de condensación lateral, con una mala adaptación con más espacios vacíos(17) y se muestra también que utilizándolo con la técnica de onda continua se obtiene un valor de 1,02mm con respecto a la de cono único que es 2,33mm dando más cantidad de espacios vacíos. En este estudio, se ha observado que los mayores valores de infiltración de colorante se encontraron en la técnica de

cono único utilizando un cemento tradicional, como el óxido de zinc eugenol. Esto puede ser debido a que esta combinación presenta las limitaciones inherentes tanto del sellador convencional como de una técnica de compactación en frío. Además, este material en sí mismo tiende a contraerse después del fraguado, lo que genera espacios vacíos, a diferencia de los selladores biocerámicos. Estos últimos, cuando se utilizan en la técnica de cono único, tienen la capacidad de experimentar una ligera expansión después del fraguado, lo que probablemente contribuye a mejorar la hermeticidad del sellado apical, incluso cuando se combina con una estrategia de obturación particularmente ineficiente (33). Comúnmente, como se afirma en el estudio de DeLong y cols. (37), se ha pensado que los selladores biocerámicos tenían que ser utilizados sin calor, porque esto podía acelerar la reacción causando un aumento del grosor de la película. De hecho, según Qu y cols. (38) el sellador BC generalmente se recomienda con la técnica de un solo cono porque el calor podría deteriorar sus propiedades físicas al disminuir la fuerza de unión. Sin embargo, Herán y cols. (39) mostraron que los selladores a base de silicato de calcio no estaban influenciados por el calor, mientras que Fernández y cols. (40) describió llenar más los canales laterales con la compactación vertical caliente.

Efectivamente, temperaturas superiores a los 100°C pueden degradar los selladores debido a la evaporación del agua presente en los biocerámicos, y la duración del tratamiento térmico también afecta a su estabilidad. No obstante, en el conducto radicular, la temperatura de los instrumentos utilizados para la gutapercha nunca puede alcanzar niveles tan altos, y el calor generado puede ser contrarrestado por los tejidos dentales, lo que permite que el sellador fluya adecuadamente tanto en el conducto principal como en los conductos laterales, creando un sello apical perfecto sin comprometer sus propiedades bioquímicas (6). Este concepto se confirma también en el estudio de los autores Jeong y cols. (41). Tal hallazgo se podría explicar teniendo en cuenta los beneficios combinados procedentes tanto de la obturación caliente como de las propiedades ventajosas del sellador a base de biocerámica (33). El uso de un cono maestro cónico coincidía mejor con la anatomía del canal, lo que permitía una calidad de obturación similar a la WVC según Alshehri y cols. (42). Sin embargo, según Eymirli y cols. (43) el uso de una punta de gutapercha con una

conicidad adecuada, que se ajuste perfectamente a la forma del canal preparado, genera una presión que favorece la penetración del sellador biocerámico en los túbulos dentinarios. Al utilizar un cono maestro que se ajuste al archivo maestro, es posible reducir la cantidad de sellador y disminuir los espacios vacíos. En la técnica de cono único (SC), el nivel de presión aplicado es menor en comparación con las técnicas de obturación en caliente. Esta diferencia podría estar relacionada con las mayores fuerzas de compresión aplicadas en la región coronal durante la obturación, lo cual mejora la penetración del sellador en el tercio apical.

En este sentido, nuestra investigación está en concordancia con otra revisión sistemática integradora de Girelli y cols. (44) en la cual se afirma que la técnica termoplástica fue mejor en la mayoría de los estudios seleccionados en cuanto a espacios y vacíos con respecto a técnicas frías, como la de cono único la cual carece de presión vertical y lateral durante el procedimiento de obturación. De hecho, sin presión es difícil lograr que los materiales de obturación lleguen a las regiones del istmo, dando así la posibilidad de formar más vacíos.

En realidad, los nuevos selladores de silicato tricálcico modificado siguen siendo prometedores incluso cuando se utilizan técnicas termoplásticas como la condensación vertical (WVC), lo que resulta en una mejora en la calidad del relleno. Por lo tanto, la elección de la mejor técnica de obturación para este material sigue siendo un tema de debate. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, aunque la temperatura de los dispositivos se establece en 200 °C, la temperatura real generada por la mayoría de los portadores de calor parece ser mucho más baja (14).

10.2 penetración intratubular

En cuanto a la penetración intratubular, el metaanálisis concluyó una SMD= 2,34 a favor del grupo test, es decir, del uso del biocerámico con la técnica caliente. En nuestra investigación, se demuestra que el biocerámico iRoot, cuando se utiliza junto con las técnicas de obturación de cono único en frío y de condensación vertical en caliente, presenta una mayor capacidad de penetración y sellado de los túbulos radiculares en comparación con el cemento tradicional

AH Plus, utilizado en ambas técnicas. Esta diferencia se observa especialmente a nivel de 2 mm de profundidad (25). Los resultados obtenidos se confirman también en el estudio de Wang y cols. (45). Eso, como se ha explicado en el estudio de Zhou y cols. (46) se relacionó a su alta fluidez y menor tamaño de partícula. De hecho, confirmamos que también utilizando BioRoot con técnica de cono único se muestra una mayor penetración en la zona media del área del conducto radicular similar a AH Plus con técnica de onda continua (26). De forma similar, Akcay y cols.(47) probaron la penetración en el túbulo dentinal de AH Plus, iRoot SP, MTA Fillapex y selladores de conductos radiculares GuttaFlow Bioseal con la técnica de cono único tras diferentes procedimientos de irrigación final y observaron que iRoot SP mostró un área de penetración significativamente mayor que los otros grupos. Nuestra investigación respalda el uso del biocerámico BioRoot RCS en combinación con la técnica de condensación vertical en caliente, ya que se observa una mayor profundidad de penetración del sellador en comparación con el método de gutapercha inyectable y la técnica de condensación lateral en frío. Además, dentro del mismo grupo, las tres técnicas de obturación demuestran una significativa penetración en la dentina de la raíz a nivel coronal, seguida por el tercio medio, mientras que se observa la menor penetración en los niveles apicales (17). Además se ha mostrado que el biocerámico TotalFill BC Sealer HiFlow (HiFlow) obtuvo los porcentajes relativos a la penetración superiores en las técnicas de obturación en caliente onda continua y de condensación vertical respecto a la fría de cono único (34,35) y que el área con mayor penetración es la coronal, seguida de la medial y por último la apical. Un estudio adicional realizado por Yang y cols.(48) investigó la técnica de cono único de SC y onda continua (CW) utilizando dos selladores biocerámicos, HiFlow y iRoot SP®, así como un sellador de resina AH Plus®. Los resultados revelaron que, en términos de penetración en el área del túbulo dentinario, HiFlow con onda continua mostró una significativa mayor efectividad en comparación con iRoot SP con cono único a nivel apical. Estos hallazgos concuerdan con los nuestros con relación al sellado mejorado de la penetración de los túbulos utilizando técnicas de obturación en caliente. Se argumenta que esto se debe a la compactación con calor, la aplicación de presión apical y el flujo del sellador (35). De hecho, después de aplicar calor, se logra mantener una presión apical sostenida después de la compactación con onda continua. Esta

presión sostenida provoca el movimiento apical y lateral de la gutapercha (GP) debido a la fuerza de compactación, lo que resulta en una obturación tridimensional del espacio del conducto radicular. Esta podría ser la razón por la cual se observa una mayor penetración del sellador en el grupo que utiliza la técnica de condensación vertical caliente en comparación con la técnica fría de condensación lateral (17), y también en el estudio de Arikatla y cols. (49), se encontró que la técnica de condensación lateral fría resultó en un flujo no homogéneo del sellador a lo largo de la pared del conducto radicular, lo cual podría explicar la presencia de grandes espacios interfaciales.

Así pues, en el presente metaanálisis, encontramos diferencias significativas en el patrón de penetración del sellador y la distancia según el nivel de la raíz y el tipo de sellador siendo siempre mayor en el tercio coronal y el más bajo en el tercio apical.

De hecho, se ha visto que, independientemente del tipo de selladores o técnicas de obturación utilizados, el segmento penetrado del conducto radicular aumenta de la parte apical a la parte coronal de la raíz (25). Según el estudio de Kuçi y cols.(50) atribuyeron esa disparidad a una mayor eficiencia en la administración de irrigación y la eliminación del barrillo dentinario en los niveles coronario y además según el estudio de El Hachem y cols. (51) también a una mayor incidencia de complejidades en la anatomía del tercio apical de la raíz y a la esclerosis de la dentina en el ápice de la raíz, lo que impidió una penetración más profunda de los selladores en el túbulo dentinario. Los selladores de silicato tricálcico penetran en los túbulos a una profundidad de hasta 2000 micras(2mm) (25). Además, como han explicado los autores en el estudio de A Bolles y cols. (52) el diámetro tubular, la densidad y el número disminuyeron en los niveles apicales, lo que explica la tendencia a disminuir la penetración del sellador desde coronal a apical. Entonces como han explicado en el estudio de Bird y cols. (53) lograr la penetración en los túbulos, el tamaño de las partículas del material debe ser más pequeño que el diámetro de los túbulos; cuanto más grande es el túbulo, más profundo puede penetrar una partícula.

10.3 Limitaciones o cosas futuras:

En nuestra investigación hemos notado que se han utilizado diferentes tipos de biocerámicos y técnicas de obturación (tanto caliente como fría) en los distintos artículos analizados. Asimismo, los artículos no han seguido un mismo protocolo de medición para nuestras dos variables, lo cual ha generado la necesidad de llevar a cabo un metaanálisis para obtener un resultado único y una desviación estándar total, tanto para la capacidad de sellado como para la penetración intratubular.

Además, de los 16 artículos definitivos disponibles al final de la revisión sistemática, para el metaanálisis sólo hemos podido utilizar 10 debido a que los otros 6 sólo hacían referencia a una sola técnica de obturación, ya sea caliente o fría. Para nuestra investigación, necesitábamos artículos que compararan ambas técnicas.

Cabe destacar que todos los artículos analizados han sido realizados in vitro. Por lo tanto, con el fin de confirmar o refutar los hallazgos obtenidos, y dado que existe muy poca información sobre la capacidad de sellado a largo plazo y los resultados clínicos asociados con los selladores biocerámicos, sería deseable realizar ensayos clínicos aleatorizados que permitan esclarecer el rendimiento de estos materiales en la práctica diaria.

Además, como muchos de estos materiales han sido introducidos recientemente, aún no existen suficientes pruebas que respalden su capacidad para mejorar el rendimiento clínico. Esto destaca la importancia de traducir la información anecdótica en datos de investigación clínicamente relevantes sobre los nuevos biomateriales.

11. CONCLUSIONES

- La técnica de obturación caliente presentó una capacidad de sellado remarcablemente superior a la fría, próxima a la significancia estadística.
- La técnica de obturación caliente presentó una penetración intratubular significativamente mayor que la fría.

12. BIBLIOGRAFIA

1. Surya Raghavendra S, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. BIOCERAMICS IN ENDODONTICS – A REVIEW. *J Istanb Univ Fac Dent.* 2017 Nov 17;51(0).
2. Song W, Sun W, Chen L, Yuan Z. In vivo Biocompatibility and Bioactivity of Calcium Silicate-Based Bioceramics in Endodontics. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020 Oct 29;8.
3. Chopra V, Davis G, Baysan A. Physico-Chemical Properties of Calcium-Silicate vs. Resin Based Sealers-A Systematic Review and Meta-Analysis of Laboratory-Based Studies. *Materials (Basel).* 2021 Jan 1;15(1).
4. Song W, Li S, Tang Q, Chen L, Yuan Z. In vitro biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics (Review). *Int J Mol Med.* 2021 Jul 1;48(1).
5. Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology.* 2019 Oct 1;107(4):421–36.
6. Pontoriero DIK, Ferrari Cagidiaco E, Cardinali F, Fornara R, Amato M, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of two bioceramic sealers used in combination with three obturation techniques. *J Osseointegr.* 2022;14(3):143-148.
7. Al-Haddad A, Che Ab Aziz ZA. Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *Int J Biomater.* 2016;2016:9753210.
8. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015 Apr 1;31(4):351–70.
9. Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. A phosphate-buffered saline intracanal dressing improves the biomineralization ability of mineral trioxide aggregate apical plugs. *J Endod.* 2010 Oct;36(10):1648–52.
10. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015 Apr 1;31(4):351–70.
11. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics - literature review. *Clujul Medical.* 2016;89(4):470–3.

12. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Antimicrobial and Antibiofilm Properties of Bioceramic Materials in Endodontics. *Materials (Basel)*. 2021 Dec 10;14(24).
13. Pontoriero DIK, Madaro G, Vanagolli V, Benedicenti S, Verniani G, Ferrari Cagidiaco E, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of a bioceramic sealer used in combination with cold and warm obturation techniques. *J Osseointegr* 2021;13(4):248-255.
14. Eid D, Medioni E, De-Deus G, Khalil I, Naaman A, Zogheib C. Impact of Warm Vertical Compaction on the Sealing Ability of Calcium Silicate-Based Sealers: A Confocal Microscopic Evaluation. *Materials (Basel)*. 2021 Jan 2;14(2):1–8.
15. Bhandi S, Mashyakhy M, Abumelha AS, Alkahtany MF, Jamal M, Chohan H, et al. Complete Obturation-Cold Lateral Condensation vs. Thermoplastic Techniques: A Systematic Review of Micro-CT Studies. *Materials (Basel)*. 2021 Jul 2;14(14).
16. Girelli CFM, Lacerda MFLS, Lemos CAA, Amaral MR, Lima CO, Silveira FF, et al. The thermoplastic techniques or single-cone technique on the quality of root canal filling with tricalcium silicate-based sealer: An integrative review. *J Clin Exp Dent*. 2022 Jul 1;14(7):e566–72.
17. Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *J Conserv Dent*. 2020 Sep 1;23(5):505–11.
18. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg*. 2010;8(5):336–41.
19. Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcís C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM. Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018 Feb 28;13(2):e0193162.
20. Landis JR, Koch GG. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 1977;33:363–74.

21. Eltair M, Pitchika V, Hickel R, Kühnisch J, Diegritz C. Evaluation of the interface between gutta-percha and two types of sealers using scanning electron microscopy (SEM). *Clin Oral Investig*. 2018 May 1;22(4):1631–9.
22. Angerame D, De Biasi M, Pecci R, Bedini R. Filling ability of three variants of the single-cone technique with bioceramic sealer: a micro-computed tomography study. *J Mater Sci Mater Med*. 2020 Nov 1;31(11).
23. Kim S, Kim S, Park JW, Jung IY, Shin SJ. Comparison of the Percentage of Voids in the Canal Filling of a Calcium Silicate-Based Sealer and Gutta Percha Cones Using Two Obturation Techniques. *Materials (Basel)*. 2017 Oct 12;10(10).
24. Mohamed El Sayed MA, Al Hussein H. Apical dye leakage of two single-cone root canal core materials (hydrophilic core material and gutta-percha) sealed by different types of endodontic sealers: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2018;21(2):147.
25. Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1;13(2).
26. Kim Y, Kim BS, Kim YM, Lee D, Kim SY. The Penetration Ability of Calcium Silicate Root Canal Sealers into Dentinal Tubules Compared to Conventional Resin-Based Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Materials (Basel)*. 2019 Feb 11;12(3).
27. Kaul S, Kumar A, Badiyani B, Sukhtankar L, Madhumitha M, Kumar A. Comparison of Sealing Ability of Bioceramic Sealer, AH Plus, and GuttaFlow in Conservatively Prepared Curved Root Canals Obturated with Single-Cone Technique: An In vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2021 Jun 1;13(Suppl 1):S857–60.
28. Bianco E, Calvelli C, Citterio CL, Pellegatta A, Venino PM, Maddalone M. Evaluation with Micro-CT of the Canal Seal Made with Two Different Bioceramic Cements: GuttaFlow Bioseal and BioRoot RCS. *J Contemp Dent Pract*. 2020 Apr 1;21(4):359-366.
29. Najafzadeh R, Fazlyab M, Esnaashari E. Comparison of bioceramic and epoxy resin sealers in terms of marginal adaptation and tubular penetration depth with different obturation techniques in premolar teeth: A scanning electron microscope and confocal laser scanning microscopy study. *J Family Med Prim Care*. 2022;11(5):1794.

30. Muedra P, Forner L, Lozano A, Sanz JL, Rodríguez-Lozano FJ, Guerrero-Gironés J, et al. Could the Calcium Silicate-Based Sealer Presentation Form Influence Dentinal Sealing? An In Vitro Confocal Laser Study on Tubular Penetration. *Materials (Basel)*. 2021 Feb 1;14(3):1–11.
31. Pawar SS, Pujar MA, Makandar SD. Evaluation of the apical sealing ability of bioceramic sealer, AH plus & epiphany: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2014 Nov 1;17(6):579–82.
32. Celikten B, F Uzuntas C, I Orhan A, Tufenkci P, Misirli M, O Demiralp K, et al. Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques. *J Oral Sci*. 2015;57(4):361–6.
33. De Angelis F, D’Arcangelo C, Buonvivere M, Argentino R, Vadini M. In Vitro Microleakage Evaluation of Bioceramic and Zinc-Eugenol Sealers with Two Obturation Techniques. *COATINGS*. 2021 Jun;11(6).
34. Casino-Alegre A, Aranda-Verdú S, Zarzosa-López JI, Rubio-Climent J, Plasencia-Alcina E, Pallarés-Sabater A. Intratubular penetration ability in the canal perimeter using HiFlow bioceramic sealer with warm obturation techniques and single cone. *J Clin Exp Dent*. 2022 Aug 1;14(8):639–45.
35. Casino Alegre A, Aranda Verdú S, Zarzosa López JI, Plasencia Alcina E, Rubio Climent J, Pallarés Sabater A. Intratubular penetration capacity of HiFlow bioceramic sealer used with warm obturation techniques and single cone: A confocal laser scanning microscopic study. *Heliyon*. 2022 Sep 1;8(9).
36. Gade VJ, Belsare LD, Patil S, Bhede R, Gade JR. Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2015 Mar 1;18(2):124–7.
37. Delong C, He J, Woodmansey KF. The effect of obturation technique on the push-out bond strength of calcium silicate sealers. *J Endod*. 2015 Mar 1;41(3):385–8.
38. Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of Warm Vertical Compaction Technique on Physical Properties of Root Canal Sealers. *J Endod*. 2016 Dec 1;42(12):1829–33.
39. Heran J, Khalid S, Albaaj F, Tomson PL, Camilleri J. The single cone obturation technique with a modified warm filler. *J Dent*. 2019 Oct 1;89.

40. Fernández R, Restrepo JS, Aristizábal DC, Álvarez LG. Evaluation of the filling ability of artificial lateral canals using calcium silicate-based and epoxy resin-based endodontic sealers and two gutta-percha filling techniques. *Int Endod J*. 2016 Apr 1;49(4):365–73.
41. Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Di Fiore PM. Dentinal Tubule Penetration of a Calcium Silicate-based Root Canal Sealer with Different Obturation Methods. *J Endod*. 2017 Apr 1;43(4):633–7.
42. Alshehri M, Alamri HM, Alshwaimi E, Kujan O. Micro-computed tomographic assessment of quality of obturation in the apical third with continuous wave vertical compaction and single match taper sized cone obturation techniques. *Scanning*. 2016 Jul 1;38(4):352–6.
43. Eymirli A, Sungur DD, Uyanik O, Purali N, Nagas E, Cehreli ZC. Dentinal Tubule Penetration and Retreatability of a Calcium Silicate-based Sealer Tested in Bulk or with Different Main Core Material. *J Endod*. 2019 Aug 1;45(8):1036–40.
44. Girelli CFM, Lacerda MFLS, Lemos CAA, Amaral MR, Lima CO, Silveira FF, et al. The thermoplastic techniques or single-cone technique on the quality of root canal filling with tricalcium silicate-based sealer: An integrative review. *J Clin Exp Dent*. 2022 Jul 1;14(7):566–72.
45. Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1;13(2).
46. Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod*. 2013 Oct;39(10):1281–6.
47. Akcay M, Arslan H, Durmus N, Mese M, Capar ID. Dentinal 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.
48. Yang R, Tian J, Huang X, Lei S, Cai Y, Xu Z, et al. A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques. *Clin Oral Investig*. 2021 Jun 1;25(6):4163–73.
49. Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J, Yelisela RK. Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *J Conserv Dent*. 2018 Jul 1;21(4):373–7.

50. Kuçi A, Alaçam T, Yavaş Ö, Ergul-Ulger Z, Kayaoglu G. Sealer penetration into dentinal tubules in the presence or absence of smear layer: a confocal laser scanning microscopic study. *J Endod.* 2014 Oct 1;40(10):1627–31.
51. El Hachem R, Khalil I, Le Brun G, Pellen F, Le Jeune B, Daou M, et al. Dentinal tubule penetration of AH Plus, BC Sealer and a novel tricalcium silicate sealer: a confocal laser scanning microscopy study. *Clin Oral Investig.* 2019 Apr 10;23(4):1871–6.
52. Bolles JA, He J, Svoboda KKH, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod.* 2013 May;39(5):708–11.
53. Bird DC, Komabayashi T, Guo L, Opperman LA, Spears R. In vitro evaluation of dentinal tubule penetration and biomineralization ability of a new root-end filling material. *J Endod.* 2012 Aug;38(8):1093–6.
54. Mueen Ahmed S, Sorte Gawali K, Paul P, Ismail PS, Abdullah Alkhelaiwi A, Abdullah Alkhelaiwi M. Comparative Evaluation of Apical Sealing Efficacy of Guttaflow Bioseal, Super-Bond Rc Sealer and Adseal Root Canal Sealer. *J Pharm Bioallied Sci.* 2022;14(Suppl 1):962.

13. ANEXOS

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

Base de datos	Búsqueda	Numero de artículos	Fecha
Pubmed	(((("tooth, nonvital"[MeSH Terms] OR ("bioceramic"[All Fields] OR "bioceramics"[All Fields]) AND ("sealer"[All Fields] OR "sealers"[All Fields])) OR ("bioceramic"[All Fields] OR "bioceramics"[All Fields]) OR ("calcium silicate"[Supplementary Concept] OR "calcium silicate"[All Fields]) OR "BioRoot"[All Fields] OR ("can rev sociol"[Journal] OR "rcs"[All Fields]) OR "CeraSeal"[All Fields] OR "Endosequence"[All Fields]) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication] AND (("root canal obturation"[MeSH Terms] OR ("single person"[MeSH Terms] OR ("single"[All Fields] AND "person"[All Fields]) OR "single person"[All Fields] OR "single"[All Fields] OR "singles"[All Fields]) AND ("retinal cone photoreceptor cells"[MeSH Terms] OR ("retinal"[All Fields] AND "cone"[All Fields] AND "photoreceptor"[All Fields] AND "cells"[All Fields]) OR "retinal cone photoreceptor cells"[All Fields] OR "cone"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ((("common cold"[MeSH Terms] OR ("common"[All Fields] AND "cold"[All Fields]) OR "common cold"[All Fields] OR "cold"[All Fields] OR "cold temperature"[MeSH Terms] OR ("cold"[All Fields] AND "temperature"[All Fields]) OR "cold temperature"[All Fields]) AND ("obturate"[All Fields] OR "obturated"[All Fields] OR "obturing"[All Fields] OR "obturation"[All Fields] OR "obturations"[All Fields] OR "obturator"[All Fields] OR "obturators"[All Fields] OR "obturing"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR	80	08.02.2023

(("functional laterality"[MeSH Terms] OR ("functional"[All Fields] AND "laterality"[All Fields]) OR "functional laterality"[All Fields] OR "laterality"[All Fields] OR "lateral"[All Fields] OR "lateralisation"[All Fields] OR "lateralisations"[All Fields] OR "lateralise"[All Fields] OR "lateralised"[All Fields] OR "lateralises"[All Fields] OR "lateralising"[All Fields] OR "lateralities"[All Fields] OR "lateralization"[All Fields] OR "lateralizations"[All Fields] OR "lateralize"[All Fields] OR "lateralized"[All Fields] OR "lateralizes"[All Fields] OR "lateralizing"[All Fields] OR "laterally"[All Fields] OR "laterals"[All Fields]) AND ("condensable"[All Fields] OR "condensables"[All Fields] OR "condensate"[All Fields] OR "condensated"[All Fields] OR "condensates"[All Fields] OR "condensation"[All Fields] OR "condensations"[All Fields] OR "condense"[All Fields] OR "condensed"[All Fields] OR "condenser"[All Fields] OR "condensers"[All Fields] OR "condenses"[All Fields] OR "condensing"[All Fields])) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) OR (((("thermoplasticized"[All Fields] AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("warm"[All Fields] AND ("gutta percha"[MeSH Terms] OR "gutta percha"[All Fields] OR ("gutta"[All Fields] AND "percha"[All Fields]) OR "gutta percha"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR ("warm"[All Fields] AND ("obturate"[All Fields] OR "obturated"[All Fields] OR "obturing"[All Fields] OR "obturation"[All Fields] OR "obturations"[All Fields] OR "obturator"[All Fields] OR "obturators"[All Fields] OR "obturing"[All Fields]) AND ("methods"[MeSH Terms] OR "methods"[All Fields] OR "technique"[All Fields] OR "methods"[MeSH Subheading] OR "techniques"[All Fields] OR "technique s"[All Fields])) OR

	<p>((("vertical"[All Fields] OR "verticality"[All Fields] OR "vertically"[All Fields] OR "verticals"[All Fields]) AND ("condensable"[All Fields] OR "condensables"[All Fields] OR "condensate"[All Fields] OR "condensated"[All Fields] OR "condensates"[All Fields] OR "condensation"[All Fields] OR "condensations"[All Fields] OR "condense"[All Fields] OR "condensed"[All Fields] OR "condenser"[All Fields] OR "condensers"[All Fields] OR "condenses"[All Fields] OR "condensing"[All Fields]))) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) AND (((("intratubular"[All Fields] AND ("penetrability"[All Fields] OR "penetrable"[All Fields] OR "penetrate"[All Fields] OR "penetrated"[All Fields] OR "penetrates"[All Fields] OR "penetrating"[All Fields] OR "penetration"[All Fields] OR "penetrations"[All Fields])) OR (("margin"[All Fields] OR "margin s"[All Fields] OR "marginal"[All Fields] OR "marginals"[All Fields] OR "margined"[All Fields] OR "margins"[All Fields]) AND ("acclimatization"[MeSH Terms] OR "acclimatization"[All Fields] OR "adaptation"[All Fields] OR "adaptations"[All Fields] OR "adapt"[All Fields] OR "adaptabilities"[All Fields] OR "adaptability"[All Fields] OR "adaptable"[All Fields] OR "adaptational"[All Fields] OR "adaptative"[All Fields] OR "adapte"[All Fields] OR "adapted"[All Fields] OR "adapting"[All Fields] OR "adaption"[All Fields] OR "adaptions"[All Fields] OR "adaptive"[All Fields] OR "adaptively"[All Fields] OR "adaptiveness"[All Fields] OR "adaptivity"[All Fields] OR "adapts"[All Fields])) OR ("sealed"[All Fields] OR "sealing"[All Fields] OR "sealings"[All Fields])) AND "2013/02/08 00:00":"3000/01/01 05:00"[Date - Publication])) AND (y_10[Filter])</p>		
Web of Science	<p>((((TS=(devitalized teeth OR bioceramic sealer OR calcium silicate OR BioRoot OR RCS CeraSeal OR Endosequence)) AND TS=(root canal obturation OR single cone technique OR cold obturation technique OR lateral condensation)) AND TS=(thermoplasticized technique OR warm gutta-percha</p>	16	08-02-2023

	techniques OR warm obturation techniques OR vertical condensation)) AND TS=(intratubular penetration OR marginal adaptation OR sealing)		
Scopus	(ALL (devitalized AND teeth OR bioceramic AND sealer OR bioceramics OR calcium AND silicate OR bioroot OR rcs OR ceraseal OR endosequence) AND ALL (root AND canal AND obturation OR single AND cone AND technique OR cold AND obturation AND technique OR lateral AND condensation) OR ALL (thermoplasticized AND technique OR warm AND gutta-percha AND techniques OR warm AND obturation AND techniques OR vertical AND condensation) AND ALL (intratubular AND penetration OR marginal AND adaptation OR sealing))	0	08-02-2023

Tabla 2: tabla con las variables propuestas en el apartado de extracción de datos de material y metodo

AUTOR /AÑO	TIPO DE ESTUDIO	NUMERO DE MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	TIPO DE BIOCERAMICO	CEMENTO TRADICIONAL	TECNICA TERMOPLASTIFICADA	TECNICA FRIA	PENETRACION INTRATUBULAR	CAPACIDAD DE SELLADO	METODO DE MEDICION	METODO DE EVALUACION
<i>Kaul y cols.(2021) (27).</i>	In vitro	125	Raices curvas de tercero molares maxilares y mandibulares	Endosequence BC; Guttaflow	AH PLUS , ceramica recubierta al 4%	/	Cono unico (SC)	/	mm	Penetración de colorante: azul de metileno 1%	Microscopio estereoscopico
<i>Alegre y cols. (2022) (34).</i>	In vitro	180	Dientes uniradiculares	TotalFill BC sealer HiFlow (HiFlow)	/	Onda continuaCW, condensacion vertical VC, GuttaCore GC	Cono unico (SC)	% --> tercio coronal, medio, apical	/	Rodamina B 0,1%	Microscopio laser confocal
<i>Blanco y cols. (2020) (28).</i>	In vitro	15	Dientes	GuttaFlow Bioseal, BioRoot RCS	/	/	Cono unico (SC)	/	mm3 de vacios entre tercios	/	micro-CT

Eid y cols. (2021) (14).	In vitro	44	Premolares mandibulares unirradiculares	Bio C, HiFlow	/	compactación vertical VC	Cono único (SC)	micra μm , a 1 y 5mm del apice	/	Rodamina B 0,1%	Microscopio de barrido laser confocal CLSM
Syed y cols. (2022) (54).	In vitro	36	Dientes unirradiculares	Guttaflow Bioseal	ZOE: super bond RC sealer, resina epoxi: sistema adseal sealer	/	condensación lateral	/	Microfiltración en micra μm a 2,3,5mm de longitud	penetración de colorante: azul de metileno 0,1%	Microscopio estereoscópico
Alegre y cols. (2022) (35).	In vitro	150	Dientes unirradiculares	TotalFill BC sealer HiFlow (HiFlow)	/	onda continua CW, condensación vertical VC	Cono único (SC)	area media de penetración en mm^2 entre tercios.	/	Rodamina B 0,1%	Microscopio de barrido laser confocal CLSM
Najafzadeh y cols. (2022) (29).	In vitro	82	Premolares unirradiculares	Endosequence BC	Resina epoxi: AH PLUS	/	Cono único (SC), condensación lateral	micra μm en los tercios	adaptación marginal en micra μm entre tercios	/	Microscopio electrónico de barrido (SEM) para Adaptación marginal y CLSM para

Muestra y cols. (2021)(30).	In vitro	60	Dientes uniradiculares	Endosequencia BC, BioRoot RCS	Resina epoxi: AH PLUS	/	Cono unico (SC)	% de perimetro penetrado entre tercios	/	Rodamina B 0,1%	la penetracion Microscopio de barrido laser confocal CLSM
Celikt en y cols. (2015) (32).	In vitro	30	Primeros premolares mandibulares	Endosequencia BC sealer	/	Thermafil	Cono unico (SC), condensacion lateral	/	% de huecos a segun de la obt y entre tercios	/	micro-CT
kim y cols. (2019) (26).	In vitro	60	Premolares uniradiculares	BioRoot RCS	Resina epoxi: AH PLUS , MTA endoseal	onda continuaCW	Cono unico (SC)	Intensidad de fluorescencia media de la rodamina MFI y suma SFI; y la maxima penetracion en micra μm	/	Rodamina B 0,1%	Microscopio de barrido laser confocal CLSM

Pawar y cols. (2014)) (31).	In vitro	75	Dientes uniradicales	Endosequencia BC	Resina epoxi: AH PLUS, Epiphany (real seal SE)	onda continuaCW	/	/	mm para la penetracion vertical del tinte, en micra para penetracion horizontal a 2,4,6mm de longitud	Penetracion de colorante: azul de metileno 1%	Microscopio estereoscopico
Pontoriero y cols. (2022) (6).	In vitro	100	Dientes anteriores uniradicales	BioRoot TM RSC, Cera Seal	/	thermafil, condensacion vertical	Cono unico (SC), condensacion lateral	/	fuga apical media en mm	/	Microscopia digital
Pontoriero y cols. (2021) (13).	In vitro	80	Premolares maxilares uniradicales	Kerr, BioRoot TM RCS	ZOE: pulp canal sealer	thermafil, condensacion vertical	Cono unico (SC)	/	fuga apical media en mm	nitato de plata	Microscopio estereoscopico

De Angeli y cols. (2021) (33).	In vitro	40	Inciivos centrales	BioRoot	ZOE: pulp canal sealer (kerr)	onda continuaCW	Cono unico (SC)	/	microfiltracion en mm entre el foramen apical y el punto mas coronal de infiltracion del colorante.	penetracion de colorante: azul de metileno 0,1%	Microscopio estereoscopico
Wang y cols. (2018) (25).	In vitro	42	Raices de incisivos inferiores	iRoot SP tambien llamado endosequenze BC Sealer	AH PLUS	compactacion vertical VC	Cono unico (SC)	% del segmento penetrado del conducto radicular en los niveles 2,4,6mm	% de areas vacias a nivel 2,4,6 mm	Rodamina B 0,1%	microscopio confocal de barrido laser (CLSM) para la penetracion y microscopio estereomicroscopico para la adaptacion de la pared
Dasari y cols	In vitro	90	Premolares inferiores	BioRoot RCS	/	condensacion vertical (WVC), OBT	condensacion	valor medio para cada	% de areas vacias	Rodamina B 0,1%	Microscopio de barrido laser

(2020)
(17).

uniradica-
les

termoplastifi-
cada
inyectable (sistema I-FILL GP)

lateral (LT)

sección en milimicras entre tercios y con puntos estandarizados bucales, lg, ms,dt

confocal CLSM para la penetración y microscopía electrónica de barrido (SEM) para la adaptación

PRISMA 2020 CHECKLIST

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	Portada
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	5-6
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	20
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	21
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	22-23
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	22
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	22-26
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	27
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	27-28
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	28-31
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	27-28
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	28-29
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	30-31
Synthesis methods →SINTESIS DE DATOS MATERIAL Y METODOS	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	27, 28-31
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	27,28-31
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	30-31
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
		heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	28-29
Certainty assessment	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	32-34
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	34
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	34-35
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	36-39
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	39-42
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	39-43
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	39-43
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	39-43
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	39-42
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	36-39
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	43-48
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	48-49
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	48-49
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	49
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from	

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
materials		included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71 (18).

NEW BIOCERAMIC MATERIALS AND THEIR SEALING POTENTIAL IN ROOT CANAL OBTURATION: SYSTEMATIC REVIEW AND META- ANALYSIS

**Running title: New bioceramic materials and their sealing potential in root canal
obturation: systematic review and meta-analysis**

Authors:

Gaia D'Amico ¹, Susana Muwaquet Rodriguez ²

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

*² DDS, PHD Lecturer of Resorative dentistry and endodontics, Faculty of Medicine and
Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain. Lecturer Catholic University
of Valencia, Valencia, Spain.*

Corresponding and reprints author

Susana Muwaquet Rodriguez

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia Susana.muwaquet@universidadeuropea.es

Abstract.

Introduction: Bioceramic sealers exhibit several beneficial properties for dental health, such as the ability to expand during setting, insolubility in the presence of tissue fluids, and biocompatibility. Moreover, they seem to interact positively with dentinal fluid, which could induce biomineralization.

Objectives: to evaluate the sealing ability and intratubular penetration of bioceramic sealers using warm obturation techniques compared to cold techniques.

Materials and Methods: An electronic search was conducted in PubMed, Scopus, and Web Of Science databases for endodontically treated teeth with bioceramics and their sealing capacity in root canal obturation, published up to February 2023.

Results: Out of 90 potentially eligible articles, 16 met the inclusion criteria, and only 10 were used for the meta-analysis, of which 4 addressed intratubular penetration, 4 addressed sealing capacity, and 2 articles addressed both variables. In the sealing capacity group, the meta-analysis concluded an SMD=-1.31 in favor of the test group (warm) with a certain non-significant trend ($p=0.081$); regarding intratubular penetration, the meta-analysis concluded an SMD=2.34 in favor of the test group (warm) with significantly greater penetration ($p=0.032$).

Discussion: The warm obturation technique presented significantly greater intratubular penetration than the cold technique and a remarkably superior sealing capacity to the cold technique, close to statistical significance.

Keywords: Bioceramic sealer, Root canal obturation, Cold obturation technique, Warm obturation techniques, Intratubular penetration, Marginal adaptation

Introduction:

The objective of creating calcium silicate-based sealers is to improve the obturation of root canals. They are considered a new and advanced class due to their excellent sealing properties (1) and the presence of calcium phosphate, which is the main reason for their excellent biocompatibility (2). For this reason, they appear to interact positively with dentinal fluid, potentially inducing biomineralization with the formation of mineral precipitates within the dentinal tubules, thus enhancing the biological activity within the root canal (3). Furthermore, this sealer exhibits high bioactivity and can promote chemical adhesion between dentinal walls and the obturation material through the formation of a structure similar to biological hydroxyapatite. To date, there is no consensus in the literature on which root canal obturation techniques should be chosen when using tricalcium silicate-based sealers (4).

Given that, this is a novel topic with different studies yielding varied results and explanations, I aim to focus my work on the importance of endodontic treatment with bioceramic sealers in root canal obturation. Specifically, the objective of this research was to systematically review the following question: "Do bioceramic sealers exhibit greater intratubular penetration and sealing ability in warm or cold obturation techniques for endodontically treated teeth?" To accomplish this, the advantages of using bioceramics in root canal obturation were evaluated through cold and warm techniques, considering their sealing ability and intratubular penetration capacity. Through a meta-analysis (MA), the intention is to integrate information from different studies and thus derive a general conclusion regarding the research objective.

Materials and Methods:

This systematic review was conducted following the PRISMA statement (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (5).

- **PICO question:** The question format was established according to the structured PICO question:

P (Population): Endodontically treated teeth with bioceramic sealers.

I (Intervention): Cold obturation technique.

C (Comparison): Warm obturation technique.

O (Outcome): Improved intratubular penetration and sealing ability.

- Eligibility Criteria:

The inclusion criteria were as follows:

- Study Type: In vitro experimental studies, studies on extracted human permanent uni/multiradicular teeth (≥ 15). Publications in English and published within the last 10 years.
- Patient Type: Studies on extracted endodontically treated permanent teeth with bioceramic sealers.
- Intervention Type: Bioceramic sealers used in cold obturation techniques of root canals.
- Comparison Type: Bioceramic sealers used in warm obturation techniques of root canals.
- Outcome Variables: Studies providing data related to the advantages of using bioceramic sealers in root canal obturation, as well as the intratubular penetration and sealing ability of bioceramic sealers using warm obturation techniques compared to cold techniques.

The exclusion criteria were reviews, case reports, letters or editorials, expert opinions, longitudinal studies, retrospective studies, studies on teeth with open apices, studies on animal teeth, endodontic retreatments, teeth with resorptions, calcified or fractured teeth, artificial teeth, teeth with simulated lateral canals, studies focused on the efficacy of gutta-percha used in conjunction with bioceramic sealers, push-out technique, and C-point obturation technique.

-Information Sources and data Search:

An electronic search was conducted in three major databases (PubMed, Scopus, and Web of Science) using the following keywords: "devitalized teeth," "bioceramic sealer," "bioceramics," "calcium silicate," "BioRoot," "RCS," "CeraSeal," "Endosequence," "Root canal obturation," "single cone technique," "cold obturation technique," "lateral condensation," "thermoplasticized technique," "warm gutta-percha techniques," "warm obturation techniques," "vertical condensation," "intratubular penetration," "marginal adaptation," and "sealing." The keywords were combined using the Boolean operators AND and OR, as well as controlled terms (MeSH terms for PubMed), in order to obtain the best and most comprehensive search results.

The search in PubMed was as follows: (((((((((((devitalized teeth[MeSH Terms]) OR (bioceramic sealer)) OR (bioceramics)) OR (calcium silicate)) OR (BioRoot)) OR (RCS)) OR (CeraSeal)) OR (Endosequence)) AND (((root canal obturation[MeSH Terms]) OR (single cone technique)) OR (cold obturation technique)) OR (lateral condensation))) OR (((thermoplasticized technique) OR (warm gutta-percha techniques)) OR (warm obturation techniques)) OR (vertical condensation))) AND (((intratubular penetration) OR (marginal adaptation)) OR (sealing)) Filters: in the last 10 years. In order to identify any eligible studies that the initial search might have missed, the search was supplemented by a review of the references provided in the bibliography of each of the studies. Furthermore, a manual search of scientific articles was conducted in the following journals: Journal of Conservative Dentistry (JCD), Dentistry Journal of Clinical and Experimental Dentistry, Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences.

- Search strategy:

A three-stage selection process was carried out. The selection of studies was performed by two reviewers (GDA, SMR). In the first stage, titles were screened to eliminate irrelevant publications. In the second stage, abstract screening was conducted, and studies were selected based on study type, type of bioceramic, type of intervention, number of extracted teeth, and outcome variable. In the third

stage, full-text screening was performed, and data extraction was carried out using a previously prepared data collection form to confirm study eligibility. Disagreements between the reviewers in each phase were resolved through discussion, and when necessary, a third reviewer was consulted. The degree of agreement regarding the inclusion of potential studies was calculated using kappa statistics (Cohen's kappa test) for the second and third stages of selection.

- Extraction data:

The following information was extracted from the studies and organized into tables based on the type of procedure (warm and/or cold technique): authors with publication year, study type (in vitro), sample size, type of bioceramic (names), comparison cement type, thermoplastic technique used, compared cold technique, intratubular penetration capacity (in percentage, microns, mm²), sealing capacity (in millimeters, percentage, microns, mm³), measurement method, evaluation method.

-Quality and risk of bias assessment:

The assessment of the risk of bias was conducted by two reviewers (GDA, SMR) to analyze the methodological quality of the included articles.

For measuring bias in the 10 articles used for the meta-analysis, the funnel plot and Egger's test were employed. The data from the articles were taken as a reference, and the standard error was related to the value of the direct measurement. In evaluating the bias of in vitro studies that could not be included in the meta-analysis, the authors used their own scale following the recommendations made in a previous study (Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcis C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardo A, Almerich-Silla JM. (2018) Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis (vol 13, e0193162, 2018) (6).

-Data Synthesis:

A meta-analysis study was conducted to assess two variables: intratubular penetration and sealing capacity comparing bioceramics in warm and cold techniques. The researchers performed an extensive literature review, resulting

in a final selection of 16 studies. Out of the 16 studies, 10 had a parallel two-arm design, with a test group (warm technique) and a control group (cold technique). The main outcomes of the investigation were the degree of intratubular penetration and sealing capacity. It is an intra-study comparative meta-analysis between the two types of techniques (test and control). Standardized mean differences (SMD) and 95% confidence intervals were calculated using random-effects models with maximum likelihood estimator. The I^2 index of heterogeneity (percentage of variability in the estimated effect that can be attributed to heterogeneity of the true effects) and the corresponding statistical test of nullity of Q were calculated. It is assumed that this information may have certain limitations since different measurement scales are involved, and the variability observed cannot be precisely attributed to differences between the studies. The software used for conducting the meta-analysis was R 3.5.1 (R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>). For the evaluation of methodological quality using Cohen's kappa test, the scale proposed by Landis and Koch (7) was followed.

Results:

- Study selection:

A total of 97 articles were obtained from the initial search process: Medline - PubMed (n=80), SCOPUS (n=0), and Web of Science (n=16). Additionally, 1 additional study was obtained through manual searching (reference lists and primary sources). Out of these publications, 20 were identified as potentially eligible articles through title and abstract screening. Full-text articles were subsequently obtained and thoroughly evaluated. As a result, 16 articles met the inclusion criteria and were included in the present systematic review, and out of these 16, only 10 were used for the meta-analysis (Figure 1). The value of k for interexaminer agreement on study inclusion was 0.93 (titles and abstracts) and 0.81 (full texts), indicating "good" and "substantial" agreement, respectively, according to Landis and Koch criteria (7).

- Study characteristics:

Out of the 16 articles included in the present review, 6 used only one obturation technique, either warm or cold, while the other 10 used both techniques. Of the 10 articles used for the meta-analysis, 4 examined intratubular penetration, 4 evaluated sealing capacity, and 2 articles investigated both variables. The measurement and evaluation methods were also assessed based on each of the 10 articles and the specific variable being studied, whether sealing capacity or intratubular penetration. The 10 articles eligible for the meta-analysis involved a total of 400 teeth, with 270 treated using warm techniques and 130 using cold techniques (Table 1).

- Risk of bias:

Regarding the assessment of bias in the articles included in the meta-analysis that examined sealing capacity, the presence of publication bias can be accepted ($p=0.015$), as detected from the funnel plot. For the articles investigating intratubular penetration, the Egger's test confirmed the presence of publication bias ($p=0.003$). For the 6 studies not included in the meta-analysis but used for the systematic review, the authors employed their own scale. These articles obtained scores ranging from 0 to 3 and were classified as low risk of bias. The value of k (Cohen's kappa test) was 0.89 according to the Landis & Koch scale.

- Synthesis of results:

Sealing Capacity:

Table 2 represents the final input for the meta-analysis: the initial impression derived from the table is that the mean values with the cold technique are generally higher (poorer sealing) than with the warm technique. In the current Forest plot (Figure 2), it was observed that, for all studies except Pontoriero-2021 (8) by a small margin, a negative SMD (Standardized Mean Difference) was estimated. This means that with the warm technique, the values were lower than with the cold technique (less voids, less leakage, etc.). The estimated SMD values are unitless. The meta-analysis concluded an SMD of -1.31 in favor of the test group (warm technique). Again, this SMD is not interpretable in terms of units;

only the sign and magnitude are of interest. The 95% confidence interval for this overall effect measure (-2.78 to 0.16) is marginally close to 0, leading to the conclusion of a certain nonsignificant tendency ($p=0.081$) in favor of the hot technique. It should be noted that the heterogeneity is high ($I^2=96.9\%$), statistically significant or nonzero ($p<0.001$). For example, it is evident that Dasari et al. (9) showed a much more pronounced advantage of the test technique over the control technique compared to the other authors.

Intratubular Penetration:

The following table (Table 3) represents the final input for the meta-analysis: an initial interpretation of the data suggested that the mean values are higher with the warm technique than with the cold technique. In the Forest plot (Figure 3), it was observed that for all studies, except Wang-2018 (10) by a small margin, a positive SMD (Standardized Mean Difference) was estimated. This means that with the warm technique, the values are higher than with the cold technique (more microns, greater mean area, higher percentage of penetration, etc.). Once again, the estimated SMD values are unitless. The meta-analysis concluded an SMD of 2.34 in favor of the test group (warm technique). The 95% confidence interval for this overall effect measure (0.21 to 4.47) excludes 0, leading to the conclusion that there is a significantly greater penetration ($p=0.032$) with the warm technique. The model makes these estimates in a context of considerable heterogeneity ($I^2=98.7\%$). Notably, authors like Kim (11) and Dasari (9) are reporting substantial advantages in the warm group compared to the cold group.

Discussion:

-Sealing Capacity:

Regarding the sealing capacity, the meta-analysis concludes an SMD of -1.31 in favor of the test group, which means the use of bioceramic with the hot technique. Our research confirms that the bioceramic BioRoot™ RCS (Septodont), used with the vertical condensation warm technique, achieves the lowest amount of apical dye penetration (0.450mm) compared to the cold single-cone technique (0.590mm)(8). Furthermore, the same bioceramic, along with CeraSeal

bioceramic, used with the same warm technique, showed less apical leakage (0.450mm) compared to Thermafil and the cold single-cone technique (12). These results are also confirmed when using BioRoot RCS with the vertical condensation warm technique compared to the injectable gutta-percha technique with intermediate adaptation and the lateral condensation technique, which showed poor adaptation with more voids (9). It is also shown that when using the continuous wave technique, BioRoot RCS achieves a value of 1.02mm compared to the single-cone technique, which is 2.33mm, indicating a higher number of voids. Traditionally, as stated in the study by DeLong et al. (13), it has been thought that bioceramic sealers should be used without heat, as heat could accelerate the reaction and increase the film thickness. In fact, according to Qu et al. (14), BC sealer is generally recommended with the single-cone technique because heat could deteriorate its physical properties by reducing the bond strength. However, Herán et al. (15) showed that calcium silicate-based sealers were not influenced by heat, while Fernández et al. (16) described better filling of lateral canals with hot vertical compaction. Indeed, temperatures above 100°C can degrade sealers due to water evaporation present in bioceramics, and the duration of heat treatment also affects their stability. However, in the root canal, the temperature of the instruments used for gutta-percha can never reach such high levels, and the heat generated can be counteracted by dental tissues, allowing the sealer to flow properly in both the main canal and lateral canals, creating a perfect apical seal without compromising its biochemical properties (12). This concept is also supported by the study by Jeong et al. (17).

-Intratubular Penetration:

Regarding intratubular penetration, the meta-analysis concluded an SMD of 2.34 in favor of the test group, i.e., the use of bioceramic with the warm technique. Our research shows that iRoot bioceramic, used with the cold single-cone obturation technique and the hot vertical condensation technique, penetrates and seals more radicular tubules at a 2mm level compared to the traditional AH Plus cement used with both techniques (18). These results are also confirmed in the study by

Wang et al. (19). This can be attributed to the high fluidity and smaller particle size, as explained in the study by Zhou et al. (20). In fact, we confirm that even when using BioRoot with the single-cone technique, there is greater penetration in the middle area of the root canal similar to AH Plus with the continuous wave technique (11). Our study supports the use of BioRoot RCS bioceramic in combination with the hot vertical condensation technique, as it shows a greater depth of sealer penetration compared to the injectable gutta-percha method and the cold lateral condensation technique. Additionally, within the same group, all three obturation techniques demonstrate significant penetration into the root dentin at the coronal level, followed by the middle third, while the lowest penetration is observed at the apical levels (9). It has also been shown that TotalFill BC Sealer HiFlow bioceramic achieves higher relative percentages of penetration in the hot continuous wave and vertical condensation techniques compared to the cold single-cone technique (21,22), and the area with the highest penetration is the coronal, followed by the middle and apical areas. Another study by Yang et al. (23) investigated the single-cone (SC) and continuous wave (CW) techniques using two bioceramic sealers, HiFlow and iRoot SP®, as well as the resin sealer AH Plus®. The results revealed that, in terms of penetration into the dentinal tubule area, HiFlow with continuous wave showed significantly greater effectiveness compared to iRoot SP with single cone at the apical level. These findings align with ours regarding the improved sealing of tubule penetration using hot obturation techniques. It is argued that this is due to heat compaction, apical pressure application, and sealer flow (22). After applying heat, sustained apical pressure is achieved following continuous wave compaction. This sustained pressure causes apical and lateral movement of gutta-percha due to compaction force, resulting in a three-dimensional obturation of the root canal space. This could be the reason why greater sealer penetration is observed in the group using the hot vertical condensation technique compared to the cold lateral condensation technique (9). Additionally, in the study by Arikatla et al. (24), it was found that the cold lateral condensation technique resulted in non-homogeneous

sealer flow along the root canal wall, which could explain the presence of large interface gaps. Tricalcium silicate sealers penetrate the tubules to a depth of up to 2000 microns (2mm) (10). Furthermore, as explained by the authors in the study by Bolles et al. (25), the tubular diameter, density, and number decrease at apical levels, which explains the tendency for sealer penetration to decrease from coronal to apical regions.

References:

- 1)Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*. 2019 Oct 1;107(4):421–36
- 2)Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater*. 2015 Apr;31(4):351-70.
- 3)Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. A phosphate-buffered saline intracanal dressing improves the biomineralization ability of mineral trioxide aggregate apical plugs. *J Endod*. 2010 Oct;36(10):1648-52.
- 4)Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *J Conserv Dent*. 2020 Sep-Oct;23(5):505-511.
- 5)Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg*. 2010;8(5):336–41.
- 6)Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcís C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM. Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018 Feb 28;13(2)
- 7)Landis JR, Koch GG. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 1977;33:363–74.
- 8)Pontoriero DIK, Madaro G, Vanagolli V, Benedicenti S, Verniani G, Ferrari Cagidiaco E, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of a bioceramic sealer

used in combination with cold and warm obturation techniques. *J Osseointegr* 2021;13(4):248-255.

9)Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *J Conserv Dent*. 2020 Sep 1;23(5):505-11.

10)Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1];13(2).

11)Kim Y, Kim BS, Kim YM, Lee D, Kim SY. The Penetration Ability of Calcium Silicate Root Canal Sealers into Dentinal Tubules Compared to Conventional Resin-Based Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Materials (Basel)*. 2019 Feb 11;12(3).

12)Pontoriero DIK, Ferrari Cagidiaco E, Cardinali F, Fornara R, Amato M, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of two bioceramic sealers used in combination with three obturation techniques. *J Osseointegr*. 2022;14(3):143-148.

13)Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of Warm Vertical Compaction Technique on Physical Properties of Root Canal Sealers. *J Endod*. 2016 Dec 1; 42(12):1829–33.

14)Heran J, Khalid S, Albaaj F, Tomson PL, Camilleri J. The single cone obturation technique with a modified warm filler. *J Dent*. 2019 Oct 1;89.

15)Fernández R, Restrepo JS, Aristizábal DC, Álvarez LG. Evaluation of the filling ability of artificial lateral canals using calcium silicate-based and epoxy resin-based endodontic sealers and two gutta-percha filling techniques. *Int Endod J*. 2016 Apr 1;49(4):365–73.

16)Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Di Fiore PM. Dentinal Tubule Penetration of a Calcium Silicate-based Root Canal Sealer with Different Obturation Methods. *J Endod*. 2017 Apr 1;43(4):633–7.

17)Alshehri M, Alamri HM, Alshwaimi E, Kujan O. Micro-computed tomographic assessment of quality of obturation in the apical third with continuous wave vertical compaction and single match taper sized cone

obturation techniques. *Scanning*. 2016 Jul 1;38(4):352–6.

18)Gade VJ, Belsare LD, Patil S, Bhede R, Gade JR. Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2015 Mar 1;18(2):124–7.

19)Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1;13(2).

20)Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical properties of 5 root canal sealers. *J Endod*. 2013 Oct;39(10):1281–6.

21)Casino-Alegre A, Aranda-Verdú S, Zarzosa-López JI, Rubio-Climent J, Plasencia-Alcina E, Pallarés-Sabater A. Intratubular penetration ability in the canal perimeter using HiFlow bioceramic sealer with warm obturation techniques and single cone. *J Clin Exp Dent*. 2022 Aug 1;14(8):639–45.

22)Casino Alegre A, Aranda Verdú S, Zarzosa López JI, Plasencia Alcina E, Rubio Climent J, Pallarés Sabater A. Intratubular penetration capacity of HiFlow bioceramic sealer used with warm obturation techniques and single cone: A confocal laser scanning microscopic study. *Heliyon*. 2022 Sep 1;8(9).

23)Yang R, Tian J, Huang X, Lei S, Cai Y, Xu Z, et al. A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques. *Clin Oral Investig*. 2021 Jun 1;25(6):4163–73.

24)Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J, Yelisela RK. Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *J Conserv Dent*. 2018 Jul 1;21(4):373–7.

25)Bolles JA, He J, Svoboda KKH, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod*. 2013 May;39(5):708–11.

Table 1: Information on the characteristics of the reviewed studies.

VARIABLES OF STUDY CHARACTERISTICS STUDY	STUDY TYPE:	SAMPLE SIZE	TOTAL NUMBER OF ARTICLES	MEASUREMENT METHOD	EVALUATION METHOD
<i>Sealing capacity</i>	In-vitro	400	10	- Dye penetration: 1% methylene blue n°: 2	- Stereoscopic microscope n°:3
				-Rodamine B 0,1% n°:2	-Micro-CT n°:1
				- Silver nitrate n°:1	- Scanning electron microscopy (SEM) n°:1
					- Digital microscopy: n°:1
<i>Intratubular penetration</i>				-Rodamine B 0,1% n°:6	- Confocal laser scanning microscope (CLSM) n°:6

Table 2: Input final for the meta-analysis on sealing capacity

AUTOR	TX=Warm			Control= Cold		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
Celikten y cols. (2015) (32).	10	1,000	0,370	20	1,320	0,470
Pontoriero y cols. (2022) (6)	80	0,517	0,191	20	0,590	0,197
Pontoriero y cols. (2021) (13).	80	0,651	0,260	20	0,590	0,197
De Angelis y cols. (2021)(33)	20	1,740	0,945	20	2,980	0,835
Wang y cols. (2018) (25).	20	0,107	0,157	20	0,553	0,773
Dasari y cols. (2020)(17).	60	5,055	0,685	30	9,450	1,170

n: number of teeth; m: mean; s: standard deviation

Table 3: Final input for the meta-analysis on the intratubular penetration capacity

AUTOR	TX=Warm			Control= Cold		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
Alegre y cols. (2022)(34).	150	69,93	42,50	30	45,17	46,35
Eid y cols. (2021)(14).	20	1026,98	471,03	20	696,39	417,35
Alegre y cols. (2022)(35).	120	0,056	0,013	30	0,031	0,011
Kim y cols. (2019)(26).	20	1091,7	83,3	40	741,7	55,0
Wang y cols. (2018) (25).	20	44,8	24,0	20	54,1	19,5
Dasari y cols. (2020)(17).	60	830,28	24,38	30	697,21	14,52

n: number of teeth; m: mean; s: standard deviation

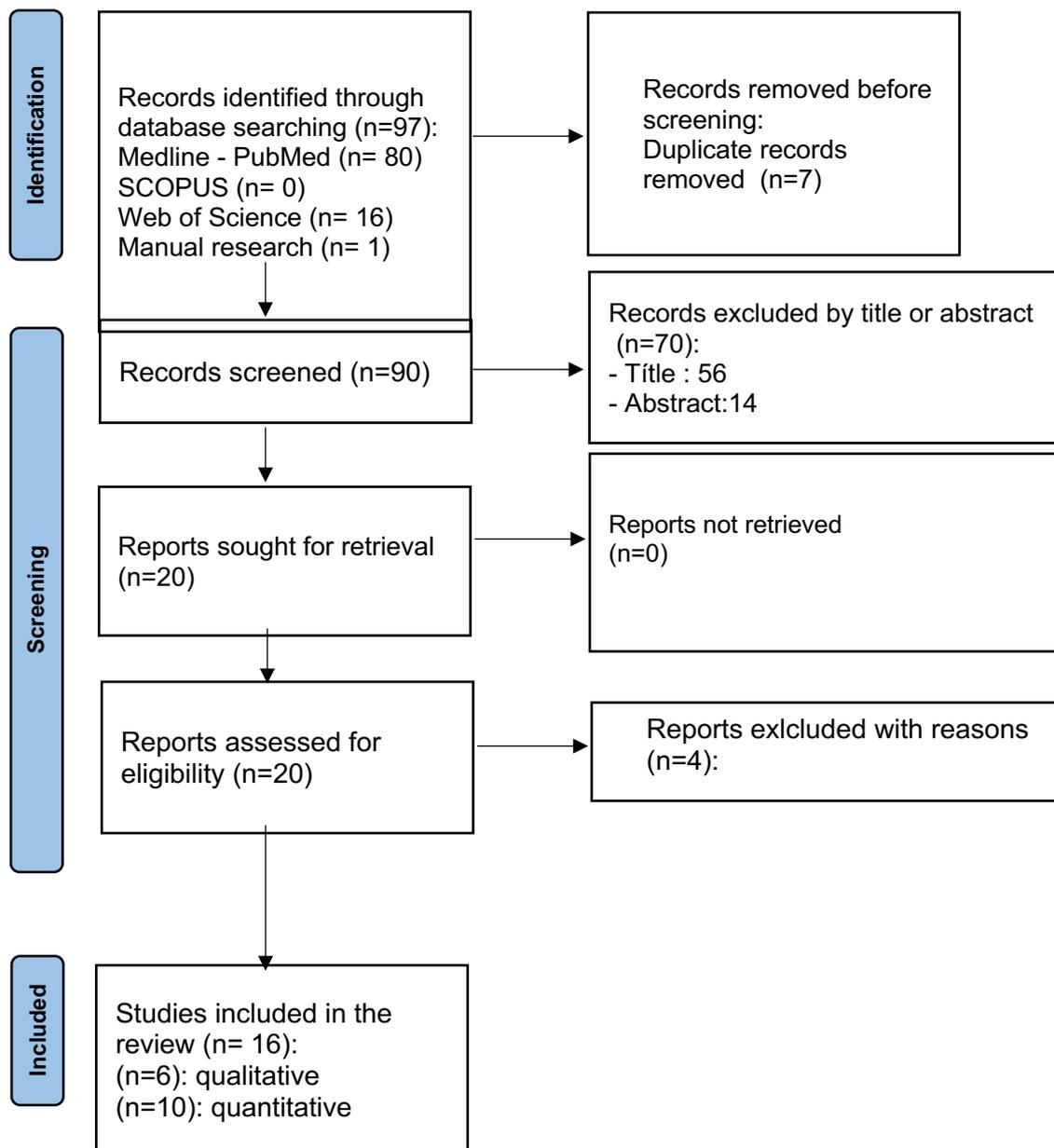


Fig.1: PRISMA flowchart of searching and selection process of titles during systematic review

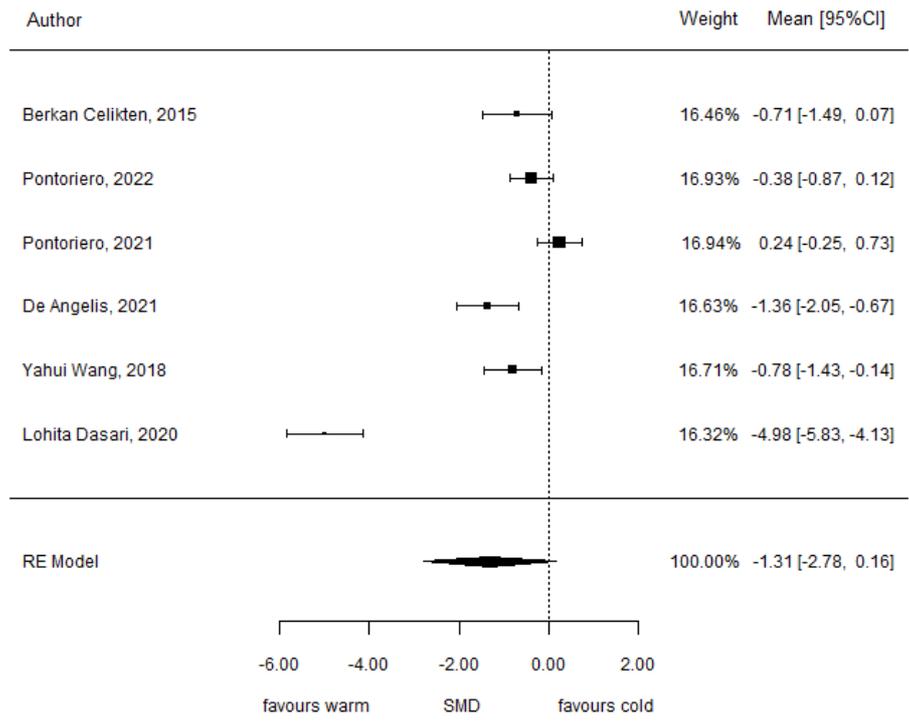


Fig 2: The result of the meta-analysis visualized using a Forest plot.

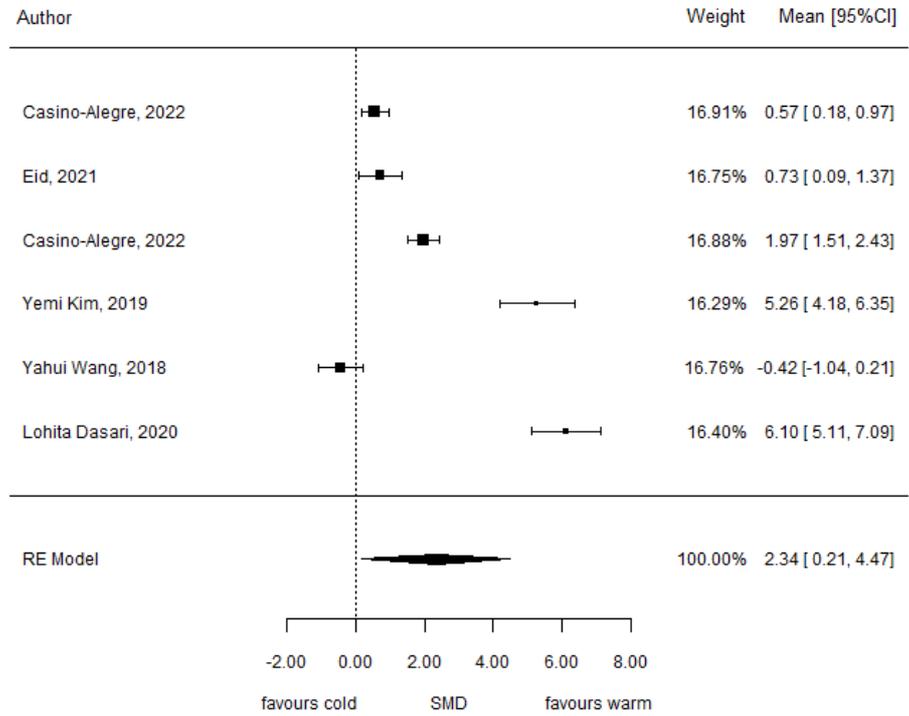


Fig. 3: The result of the meta-analysis visualized using a Forest plot.

**NUEVOS MATERIALES BIOCERAMICOS Y SU POTENCIAL DE SELLADO
EN LA OBTURACIÓN DE CONDUCTOS RADICULARES: REVISIÓN
SISTEMATICA Y METAANÁLISIS**

Titulo corto: Nuevos materiales bioceramicos y su potencial de sellado en la obturación de conductos radiculares: revisión sistematica y metaanálisis

Autores:

Gaia D'Amico ¹, Susana Muwaquet Rodriguez ²

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

² DDS, PHD Lecturer of Resorative dentistry and endodontics, Faculty of Medicine and Dentistry, European University of Valencia, Valencia, Spain. Lecturer Catholic University of Valencia, Valencia, Spain.

Correspondencia:

Susana Muwaquet Rodriguez

Paseo Alameda 7, Valencia

46010, Valencia Susana.muwaquet@universidadeuropea.es

Resumen

Introducción: Los selladores biocerámicos presentan diversas propiedades beneficiosas para la salud dental, como la capacidad de expandirse durante el fraguado, la insolubilidad en presencia de fluidos tisulares y la biocompatibilidad. Además, parece que interactúan positivamente con el fluido dentinario, lo que podría inducir la biomineralización,

Objetivo fue evaluar la capacidad de sellado y de penetración intratubular de los biocerámicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frío.

Material y método: Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Web Of Science sobre dientes endodonciados con biocerámicos y su capacidad de sellado y de penetración intratubular en obturación de conductos radiculares, publicados hasta febrero de 2023.

Resultados: De los 90 artículos potencialmente elegibles, 16 cumplieron con los criterios de inclusión y solo 10 fueron utilizados para el metaanálisis de los cuales 4 han tratado de la penetración intratubular, 4 de la capacidad de sellado y 2 artículos de ambas variables. En el grupo de la capacidad de sellado el metaanálisis concluyó una SMD=-1,31 a favor del grupo test, es decir con la técnica caliente; con una cierta tendencia no significativa ($p=0,081$); mientras que sobre la penetración intratubular el metaanálisis concluyó una SMD= 2,34 a favor del grupo test, es decir, siempre por la técnica caliente con penetración significativamente mayor ($p=0,032$).

Discusión: La técnica de obturación caliente presentó una penetración intratubular significativamente mayor que la fría y una capacidad de sellado remarcablemente superior a la fría, próxima a la significancia estadística.

Palabras claves: Sellador biocerámico, Obturación del conducto radicular, Técnica de obturación en frío, Técnicas de obturación en caliente, Penetración intratubular, Adaptación marginal

Introducción:

El objetivo de la creación de selladores basados en silicatos de calcio es mejorar la obturación de los conductos radiculares. Se consideran una clase nueva y avanzada debido a sus excelentes propiedades de sellado (1) y al hecho que contienen el fosfato de calcio el cual es la principal razón de esa excelente biocompatibilidad del biocerámico (2). Por esa razón, parecen interactuar positivamente con el fluido dentinario, induciendo potencialmente la biomineralización con la formación de precipitaciones de minerales dentro de los túbulos dentinarios, mejorando así la actividad biológica dentro del conducto radicular (3). Además, este sellador tiene alta bioactividad y puede promover la adhesión química entre las paredes dentinarias y el material de obturación, a través de la formación de una estructura similar a la hidroxiapatita biológica. Hasta la fecha, no existe un consenso en la literatura sobre qué técnica de obturación del conducto radicular debe elegirse cuando se utiliza el sellador a base de silicato tricálcico (4).

Dado que es un tema novedoso y hay diferentes estudios con resultados variados y explicaciones, quiero enfocar mi trabajo en la importancia del tratamiento endodóntico con los selladores biocerámicos en la obturación de conductos radiculares.

De hecho, el objetivo de la presente investigación fue revisar sistemáticamente la siguiente pregunta: ¿En los dientes endodonciados con los biocerámicos hay mayor capacidad de penetración intratubular y de sellado en la técnica de obturación caliente o fría? Para ello se evaluaron las ventajas de utilizar los biocerámicos en la obturación de conductos radiculares mediante técnicas frías y calientes valorando la capacidad de sellado y la capacidad de penetración intratubular. Mediante un metaanálisis (MA) se pretende integrar la información procedente de los diferentes estudios y obtener así una conclusión general sobre el objeto de investigación.

Material y método:

La presente revisión sistemática se llevó a cabo siguiendo la declaración de la Guía PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses)(5).

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

P (población): Dientes endodonciados con bioceramicos.

I (intervención): Técnica de obturación fría.

C (comparación): Técnica de obturación caliente.

O(resultados): Mejor capacidad de penetración intratubular y de sellado.

-Criterios de elegibilidad:

Los criterios de inclusión fueron:

- Tipo de Estudio: Experimental in vitro, estudios sobre dientes permanente uni/multirradiculáreses humanos extraídos, (≥ 15). Publicaciones en inglés y publicados en los últimos 10 años.
- Tipo de Paciente: Estudios sobre dientes permanentes extraídos endodonciados, con bioceramicos.
- Tipo de Intervención: Los bioceramicos utilizados en las técnicas frías de obturación de conductos radiculares.
- Tipo de Comparación: Los bioceramicos utilizados en las técnicas calientes de obturación de conductos radiculares.
- Tipo de Variables de Resultados: Estudios que proporcionaran datos relacionados con las ventajas de utilizar los bioceramicos en la obturación de conductos radiculares y la capacidad de penetración intratubular y de sellado de los bioceramicos con técnica de obturación en caliente respecto a las técnicas en frio.

Los criterios de exclusión fueron revisiones, a propósito de un caso, cartas o comentarios al editor, informes de expertos, estudios longitudinales, estudios retrógrados, estudios en dientes con ápice abierto, estudios en dientes en animales, retratamientos endodónticos, dientes con reabsorciones, dientes

calcificados o con fracturas, dientes artificiales, con conductos laterales simulados, estudios basados sobre la eficacia de las gutaperchas utilizadas secundariamente con bioceramicos, tecnica push out, técnica de obturación en punto C.

- Fuentes de información y estrategia de búsqueda:

Se llevó a cabo una búsqueda automatizada en tres importantes bases de datos (PubMed, Scopus y Web of Science) con las siguientes palabras clave: “ devitalized teeth”, “ bioceramic sealer”, “ bioceramics” “ calcium silicate”, “ BioRoot”, “RCS”, “ CeraSeal”, “Endosequence”, “ Root canal obturation”, “single cone technique”, “cold obturation technique”, “lateral condensation”, “thermoplasticized technique”, “warm gutta-percha techniques”, “warm obturation techniques”, “vertical condensation, “ intratubular penetration”, “marginal adaptation”, “sealing”. Las palabras claves fueron combinadas con los operadores booleanos AND y OR, así como con los términos controlados (“MeSH” para Pubmed) en un intento de obtener los mejores y más amplios resultados de búsqueda.

La búsqueda en Pubmed fue la siguiente: (((((((((((devitalized teeth[MeSH Terms]) OR (bioceramic sealer)) OR (bioceramics)) OR (calcium silicate)) OR (BioRoot)) OR (RCS)) OR (CeraSeal)) OR (Endosequence)) AND (((root canal obturation[MeSH Terms]) OR (single cone technique)) OR (cold obturation technique)) OR (lateral condensation))) OR (((thermoplasticized technique) OR (warm gutta-percha techniques)) OR (warm obturation techniques)) OR (vertical condensation))) AND (((intratubular penetration) OR (marginal adaptation)) OR (sealing)) Filters: in the last 10 years. Con el fin de identificar cualquier estudio elegible que la búsqueda inicial podría haber perdido, se completó la búsqueda con una revisión de las referencias proporcionadas en la bibliografía de cada uno de los estudios. Por otra parte, se llevó a cabo una búsqueda manual de artículos científicos de las siguientes revistas: Journal of Conservative: JCD, Dentistry Journal of Clinical and Experimental Dentistry, Journal of pharmacy & Bioallied sciences.

- Proceso de selección de los estudios:

Se realizó un proceso de selección en tres etapas. La selección de los estudios fue llevada a cabo por dos revisores (GDA, SMR). En la primera etapa se filtraba por los títulos con el objeto de eliminar publicaciones irrelevantes. En la segunda etapa se realizaba el cribado por los resúmenes y se seleccionaba según el tipo de estudio, tipo de biocerámicos, tipo de intervención, número de dientes extraídos, variable de resultados. En la tercera etapa se filtraba según la lectura del texto completo y se procedió a la extracción de los datos usando para ello un formulario de recogida de datos previamente elaborado para confirmar la elegibilidad de los estudios. Los desacuerdos entre los revisores, en cada una de las fases, se resolvieron mediante discusión y, cuando fue necesario, un tercer revisor fue consultado. El grado de acuerdo respecto a la inclusión de los estudios potenciales fue calculado por k-statistics (Cohen kappa test) para la segunda y la tercera etapa de selección.

- Extracción de datos:

La siguiente información fue extraída de los estudios y se dispuso en tablas según el tipo de procedimiento (técnica caliente y/o fría): autores con el año de publicación, tipo de estudio (in vitro), número de muestra, tipo de muestra, tipo de biocerámico (nombres), tipo de cemento de comparación, técnica termoplástica utilizada, técnica fría comparada, capacidad de penetración intratubular (en porcentaje, micra, mm²), capacidad de sellado (en milímetros, en porcentaje, micra, mm³), método de medición, método de evaluación.

- Valoración de la calidad:

La valoración del riesgo de sesgo fue evaluada por dos revisores (GDA, SMR) con el objeto de analizar la calidad metodológica de los artículos incluidos.

Para la medición del sesgo de los 10 artículos utilizados para el metaanálisis se ha utilizado el gráfico de Funnel y la prueba de Egger. Como referencia se han tomado los datos de los artículos y se ha relacionado el error estándar con el valor de la medida directa. Mientras que para la evaluación del sesgo de los estudios in vitro que no se han podido utilizar para el metaanálisis se utilizó una

escala propia de los autores siguiendo las recomendaciones realizadas en uno estudio previo (Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcis C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardo A, Almerich-Silla JM. (2018) Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis (vol 13, e0193162, 2018) (6).

- Síntesis de datos:

Se realizó un estudio de metaanálisis para valorar las 2 variables: penetración intratubular y capacidad de sellado comparando los biocerámicos en técnica caliente y fría. Las investigadoras han desarrollado una exhaustiva revisión de la literatura, llegando a una selección final de 16 estudios. De los 16 estudios, 10 han presentado un diseño paralelo two-arm, considerándose un grupo test (técnica caliente) y un grupo control (técnica fría). Los outcome principales de la investigación fueron el grado de penetración intra-tubular y la capacidad de sellado. Se trata de un metaanálisis comparativo intra-estudio entre los dos tipos de técnica (test y control). Se han calculado diferencias medias estandarizadas (SMD) e intervalos de confianza al 95% a partir de modelos de efectos aleatorios con estimador de máxima verosimilitud. Se ha calculado el índice I^2 de heterogeneidad (porcentaje de variabilidad del efecto estimado que puede ser atribuida a heterogeneidad de los verdaderos efectos) y la correspondiente prueba estadística de nulidad de Q. Se asume que esta información presentará ciertas limitaciones, pues al tratarse de diferentes escalas de medición, la variabilidad que se encuentre no puede atribuirse exactamente a diferencias entre los estudios. El software utilizado para la realización del metaanálisis ha sido R 3.5.1 (R Core Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>). Para la evaluación de la calidad metodológica, con la prueba kappa de Cohen, se siguió la escala propuesta por Landis y Koch (7).

-Resultados:

- Selección de estudios:

Se obtuvieron un total de 97 artículos del proceso de búsqueda inicial: Medline - PubMed (n=80), SCOPUS (n=0) y la Web of Science (n=16). Además, se obtuvo 1 estudio adicional a través de la búsqueda manual (lista de referencias y fuentes primarias). De estas publicaciones, 20 se identificaron como artículos potencialmente elegibles mediante el cribado por títulos y resúmenes. Los artículos de texto completo fueron posteriormente obtenidos y evaluados a fondo. Como resultado, 16 artículos cumplieron con los criterios de inclusión y fueron incluidos en la presente revisión sistemática y de estos 16 solo 10 fueron utilizados para el metaanálisis (figura 1). El valor k para el acuerdo interexaminador sobre la inclusión de los estudios fue de 0,93 (títulos y resúmenes) y 0,81 (textos completos) lo que indica un acuerdo "bueno" y "completo", respectivamente, según los criterios de Landis y Koch (7).

- Análisis de las características de los estudios revisados:

De los 16 artículos incluidos en la presente revisión 6 han utilizado solo una técnica de obturación, caliente o fría mientras que los otros 10 utilizaron ambas técnicas. De eso 10 artículos utilizados por el metaanálisis, 4 han tratado de la penetración intratubular, 4 de la capacidad de sellado y 2 artículos de ambas variables. Los métodos de medición y evaluación también se evaluaron en función de cada uno de los 10 artículos y de la variable específica estudiada, ya fuera la capacidad de sellado o la penetración intratubular. Los 10 artículos válidos para el metaanálisis incluyen un total de 400 dientes, 270 utilizados con técnicas calientes y 130 con fría. (Tabla 1).

- Evaluación de la calidad metodológica:

Sobre la valoración del sesgo de los artículos del metaanálisis que han tratado la capacidad de sellado se ha aceptado la presencia de sesgo de publicación ($p=0,015$), que se ha detectado a partir del gráfico de Funnel, y sobre los artículos que han tratado de la penetración intratubular el test de Egger ha confirmado la presencia de sesgo de publicación ($p=0,003$). Para los 6 estudios no utilizados para el metaanálisis sino que para la revisión sistemática se utilizó, una escala propia de los autores. Los nuestros artículos obtuvieron una puntuación entre 0

y 3 y se clasificaron como de bajo riesgo de sesgo. El valor k (Cohen kappa test) fue de 0,89 según la escala de Landis & Koch (7).

- **Síntesis de resultados:**

Capacidad de sellado:

La tabla (tabla 2) corresponde al input final para el metaanálisis: la primera impresión que se ha deducido de la tabla es que los valores medios con técnica fría son generalmente superiores (peor sellado) que con caliente. En la presente figura (figura 2) del gráfico de Forrest, se observó que, para todos los estudios, excepto Pontoriero-2021(8) por escaso margen, se estimó una SMD de valor negativo, esto es, con técnica caliente los valores fueron inferiores a técnica fría (hay menos vacíos, hay menos fuga, etc...). Los valores SMD estimados carecen de unidad, son adimensionales. El metaanálisis concluyó una $SMD = -1,31$ a favor del grupo test (caliente). De nuevo, esta SMD no es interpretable en términos de unidades, sólo interesa su signo y magnitud. El intervalo de confianza al 95% para esta medida de efecto global (-2,78 0,16) contiene al 0 por escaso margen y de ahí que se concluya una cierta tendencia no significativa ($p = 0,081$) a favor de la técnica caliente. Obsérvese cómo la heterogeneidad es elevada ($I^2 = 96.9\%$), estadísticamente significativa o no cero ($p < 0,001$). Es obvio, por ejemplo, que para Dasari y cols. (9), la ventaja de la técnica test frente al control fue mucho más acusada que para el resto de los autores.

Penetración intratubular:

La siguiente tabla (tabla 3) corresponde al input final para el metaanálisis: una primera interpretación a partir de los datos apuntó a que con técnica caliente los valores medios son más elevados que con técnica fría. En el gráfico de Forest, (figura 3), se ha notado que para todos los estudios, excepto Wang-2018 (10) por escaso margen, se estimó una SMD de valor positivo, esto es, con técnica caliente los valores son superiores a técnica fría (hay más micras, más área media, mayor porcentaje de penetración, etc...). De nuevo, los valores SMD estimados son adimensionales. El metaanálisis concluyó una $SMD = 2,34$ a favor del grupo test (caliente). El intervalo de confianza al 95% para esta medida de

efecto global (0,21 4,47) excluye al 0 y de ahí se ha concluido que hay una penetración significativamente mayor ($p=0,032$) con la técnica caliente. El modelo realiza las estimaciones en un contexto de bastante heterogeneidad ($I^2=98.7\%$). No en vano, autores como Kim y cols. (11). y Dasari y cols.(9) están reportando sustanciales ventajas en el grupo con calor respecto al frío.

Discusión:

Capacidad de sellado:

En cuanto la capacidad de sellado, el metaanálisis concluye una $SMD=-1,31$ a favor del grupo test ósea del uso del biocerámico con la técnica caliente. En nuestra investigación se confirma que el biocerámico BioRoot™ RCS (Septodont), utilizado con técnica caliente de condensación vertical, obtiene la menor cantidad de penetración de colorante apicalmente (0,450mm) a diferencia de la técnica fría de cono único (0,590mm) (8) y que el mismo biocerámico y además el biocerámico Cera Seal, utilizados con la misma técnica caliente, obtuvieron menor fuga apical (0,450mm) respecto a Thermafil y a la técnica fría de cono único (12). Los resultados obtenidos se confirman también utilizando siempre BioRoot RCS con la técnica caliente de condensación vertical con respecto a la técnica de gutapercha inyectable, con adaptación intermedia y la técnica de condensación lateral, con una mala adaptación con más espacios vacíos (9) y se muestra también que utilizándolo con la técnica de onda continua se obtiene un valor de 1,02mm con respecto a la de cono único que es 2,33mm dando más cantidad de espacios vacíos. Comúnmente, como se afirma en el estudio de DeLong y cols. (13) se ha pensado que los selladores biocerámicos tenían que ser utilizados sin calor, porque esto podía acelerar la reacción causando un aumento del grosor de la película. De hecho, según Qu y cols. (14) el sellador BC generalmente se recomienda con la técnica de un solo cono porque el calor podría deteriorar sus propiedades físicas al disminuir la fuerza de unión. Sin embargo, Herán y cols. (15) mostraron que los selladores a base de silicato de calcio no estaban influenciados por el calor, y Fernández y cols.(16) describieron llenar más los canales laterales con la compactación vertical

caliente. Efectivamente, temperaturas superiores a los 100°C pueden degradar los selladores debido a la evaporación del agua presente en los biocerámicos, y la duración del tratamiento térmico también afecta a su estabilidad. No obstante, en el conducto radicular, la temperatura de los instrumentos utilizados para la gutapercha nunca puede alcanzar niveles tan altos, y el calor generado puede ser contrarrestado por los tejidos dentales, lo que permite que el sellador fluya adecuadamente tanto en el conducto principal como en los conductos laterales, creando un sello apical perfecto sin comprometer sus propiedades bioquímicas. (12). Este concepto se confirma también en el estudio de los autores Jeong y cols. (17).

Penetración intratubular:

En cuanto a la penetración intratubular, el metaanálisis concluyó una SMD= 2,34 a favor del grupo test, es decir, del uso del biocerámico con la técnica caliente. En nuestra investigación se muestra que el biocerámico iRoot utilizado con las técnicas fría de obturación de cono único y la caliente de condensación vertical, respecto al cemento tradicional AH Plus, utilizado con ambas técnicas, penetra y sella más tubulos radiculares a nivel de 2mm (18). Los resultados obtenidos se confirman también en el estudio de Wang y cols(19). Eso, como se ha explicado en el estudio de Zhou y cols. (20) se relacionó a su alta fluidez y menor tamaño de partícula. De hecho, confirmamos que también utilizando BioRoot con técnica de cono único se muestra una mayor penetración en la zona media del área del conducto radicular similar a AH Plus con técnica de onda continua (11). Nuestro estudio respalda el uso del biocerámico BioRoot RCS en combinación con la técnica de condensación vertical en caliente, ya que se observa una mayor profundidad de penetración del sellador en comparación con el método de gutapercha inyectable y la técnica de condensación lateral en frío. Además, dentro del mismo grupo, las tres técnicas de obturación demuestran una significativa penetración en la dentina de la raíz a nivel coronal, seguida por el tercio medio, mientras que se observa la menor penetración en los niveles apicales (9) . Además se ha mostrado que el biocerámico TotalFill BC Sealer

HiFlow (HiFlow) obtuvo los porcentajes relativos a la penetración superiores en las técnicas de obturación en caliente onda continua y de condensación vertical respecto a la fría de cono único (21,22) y que el área con mayor penetración es la coronal, seguida de la medial y por último la apical. Otro estudio de Yang y cols. (23) investigó la técnica de cono único de SC y CW utilizando dos selladores biocerámicos, HiFlow y iRoot SP®, así como un sellador de resina AH Plus®. Los resultados revelaron que, en términos de penetración en el área del túbulo dentinario, HiFlow con onda continua mostró una significativa mayor efectividad en comparación con iRoot SP con cono único a nivel apical. Estos hallazgos concuerdan con los nuestros con relación al sellado mejorado de la penetración de los túbulos utilizando técnicas de obturación en caliente. Se argumenta que esto se debe a la compactación con calor, la aplicación de presión apical y el flujo del sellador (22). Después de aplicar calor, se logra mantener una presión apical sostenida después de la compactación con onda continua. Esta presión sostenida provoca el movimiento apical y lateral de la gutapercha debido a la fuerza de compactación, lo que resulta en una obturación tridimensional del espacio del conducto radicular. Esta podría ser la razón por la cual se observa una mayor penetración del sellador en el grupo que utiliza la técnica de condensación vertical caliente en comparación con la técnica fría de condensación lateral (9). Además, en el estudio de Arikatla y sus colegas (24), se encontró que la técnica de condensación lateral fría resultó en un flujo no homogéneo del sellador a lo largo de la pared del conducto radicular, lo cual podría explicar la presencia de grandes espacios interfaciales. Los selladores de silicato tricálcico penetran en los túbulos a una profundidad de hasta 2000 micras(2mm) (10). Además, como han explicado los autores en el estudio de A Bolles y cols. (25) el diámetro tubular, la densidad y el número disminuyeron en los niveles apicales, lo que explica la tendencia a disminuir la penetración del sellador desde coronal a apical.

Bibliografía

- 1) Donnermeyer D, Bürklein S, Dammaschke T, Schäfer E. Endodontic

sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*. 2019 Oct 1;107(4):421–36

2) Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater*. 2015 Apr;31(4):351-70.

3) Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. A phosphate-buffered saline intracanal dressing improves the biomineralization ability of mineral trioxide aggregate apical plugs. *J Endod*. 2010 Oct;36(10):1648-52.

4) Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *J Conserv Dent*. 2020 Sep-Oct;23(5):505-511.

5) Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Int J Surg*. 2010;8(5):336–41.

6) Astudillo-Rubio D, Delgado-Gaete A, Bellot-Arcís C, Montiel-Company JM, Pascual-Moscardó A, Almerich-Silla JM. Mechanical properties of provisional dental materials: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018 Feb 28;13(2)

7) Landis JR, Koch GG. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*. 1977;33:363–74.

8) Pontoriero DIK, Madaro G, Vanagolli V, Benedicenti S, Verniani G, Ferrari Cagidiaco E, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of a bioceramic sealer used in combination with cold and warm obturation techniques. *J Osseointegr* 2021;13(4):248-255.

9) Dasari L, Anwarullah A, Mandava J, Konagala RK, Karumuri S, Chellapilla PK. Influence of obturation technique on penetration depth and adaptation of a bioceramic root canal sealer. *J Conserv Dent*. 2020 Sep 1;23(5):505–11.

10) Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1;13(2).

11) Kim Y, Kim BS, Kim YM, Lee D, Kim SY. The Penetration Ability of

Calcium Silicate Root Canal Sealers into Dentinal Tubules Compared to Conventional Resin-Based Sealer: A Confocal Laser Scanning Microscopy Study. *Materials (Basel)*. 2019 Feb 11;12(3).

12) Pontoriero DIK, Ferrari Cagidiaco E, Cardinali F, Fornara R, Amato M, Grandini S, Ferrari M. Sealing ability of two bioceramic sealers used in combination with three obturation techniques. *J Osseointegr*. 2022;14(3):143-148.

13) Qu W, Bai W, Liang YH, Gao XJ. Influence of Warm Vertical Compaction Technique on Physical Properties of Root Canal Sealers. *J Endod*. 2016 Dec 1; 42(12):1829–33.

14) Heran J, Khalid S, Albaaj F, Tomson PL, Camilleri J. The single cone obturation technique with a modified warm filler. *J Dent*. 2019 Oct 1;89.

15) Fernández R, Restrepo JS, Aristizábal DC, Álvarez LG. Evaluation of the filling ability of artificial lateral canals using calcium silicate-based and epoxy resin-based endodontic sealers and two gutta-percha filling techniques. *Int Endod J*. 2016 Apr 1;49(4):365–73.

16) Jeong JW, DeGraft-Johnson A, Dorn SO, Di Fiore PM. Dentinal Tubule Penetration of a Calcium Silicate-based Root Canal Sealer with Different Obturation Methods. *J Endod*. 2017 Apr 1;43(4):633–7.

17) Alshehri M, Alamri HM, Alshwaimi E, Kujan O. Micro-computed tomographic assessment of quality of obturation in the apical third with continuous wave vertical compaction and single match taper sized cone obturation techniques. *Scanning*. 2016 Jul 1;38(4):352–6.

18) Gade VJ, Belsare LD, Patil S, Bhede R, Gade JR. Evaluation of push-out bond strength of endosequence BC sealer with lateral condensation and thermoplasticized technique: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2015 Mar 1;18(2):124–7.

19) Wang Y, Liu S, Dong Y. In vitro study of dentinal tubule penetration and filling quality of bioceramic sealer. *PLoS One*. 2018 Feb 1;13(2).

20) Zhou HM, Shen Y, Zheng W, Li L, Zheng YF, Haapasalo M. Physical

- properties of 5 root canal sealers. *J Endod.* 2013 Oct;39(10):1281–6.
- 21) Casino-Alegre A, Aranda-Verdú S, Zarzosa-López JI, Rubio-Climent J, Plasencia-Alcina E, Pallarés-Sabater A. Intratubular penetration ability in the canal perimeter using HiFlow bioceramic sealer with warm obturation techniques and single cone. *J Clin Exp Dent.* 2022 Aug 1;14(8):639–45.
- 22) Casino Alegre A, Aranda Verdú S, Zarzosa López JI, Plasencia Alcina E, Rubio Climent J, Pallarés Sabater A. Intratubular penetration capacity of HiFlow bioceramic sealer used with warm obturation techniques and single cone: A confocal laser scanning microscopic study. *Heliyon.* 2022 Sep 1;8(9).
- 23) Yang R, Tian J, Huang X, Lei S, Cai Y, Xu Z, et al. A comparative study of dentinal tubule penetration and the retreatability of EndoSequence BC Sealer HiFlow, iRoot SP, and AH Plus with different obturation techniques. *Clin Oral Investig.* 2021 Jun 1;25(6):4163–73.
- 24) Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J, Yelisela RK. Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *J Conserv Dent.* 2018 Jul 1;21(4):373–7.
- 25) Bolles JA, He J, Svoboda KKH, Schneiderman E, Glickman GN. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod.* 2013 May;39(5):708–11.

Tabla 1: información de las características de los estudios revisados

VARIABLES DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS	TIPO DE ESTUDIO	NUMERO DE MUESTRAS	Nº TOTAL DE ARTICULOS	METODO DE MEDICION	METODO DE EVALUACION
<i>Capacidad de sellado</i>	In-vitro	400	10	-Penetración de colorante: azul de metileno 1% nº: 2	-Microscopio estereoscópico nº:3
				-Rodamina B 0,1% nº:2	-Micro-CT nº:1
				- Nitato de plata nº:1	- Microscopio electronico de barrido (SEM) nº:1
					-Microscopia digital: nº:1
<i>Penetración intratubular</i>				-Rodamina B 0,1% nº:6	-Microscopio de barrido laser confocal CLSM nº:6

Table 2: input final for the meta-analysis on sealing capacity.

AUTOR	TX=Caliente			Control= fria		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
Celikten y cols. (2015) (32).	10	1,000	0,370	20	1,320	0,470
Pontoriero y cols. (2022) (6)	80	0,517	0,191	20	0,590	0,197
Pontoriero y cols. (2021) (13).	80	0,651	0,260	20	0,590	0,197
De Angelis y cols. (2021)(33)	20	1,740	0,945	20	2,980	0,835
Wang y cols. (2018) (25).	20	0,107	0,157	20	0,553	0,773
Dasari y cols. (2020)(17).	60	5,055	0,685	30	9,450	1,170

Tabla 3: Final input for the meta-analysis on intratubular penetration capacity.

AUTOR	TX=Caliente			Control= fria		
	nTX	mTX	sTX	nCT	mCT	sCT
Alegre y cols. (2022)(34).	150	69,93	42,50	30	45,17	46,35
Eid y cols. (2021)(14).	20	1026,98	471,03	20	696,39	417,35
Alegre y cols. (2022)(35).	120	0,056	0,013	30	0,031	0,011
Kim y cols. (2019)(26).	20	1091,7	83,3	40	741,7	55,0
Wang y cols. (2018) (25).	20	44,8	24,0	20	54,1	19,5
Dasari y cols. (2020)(17).	60	830,28	24,38	30	697,21	14,52

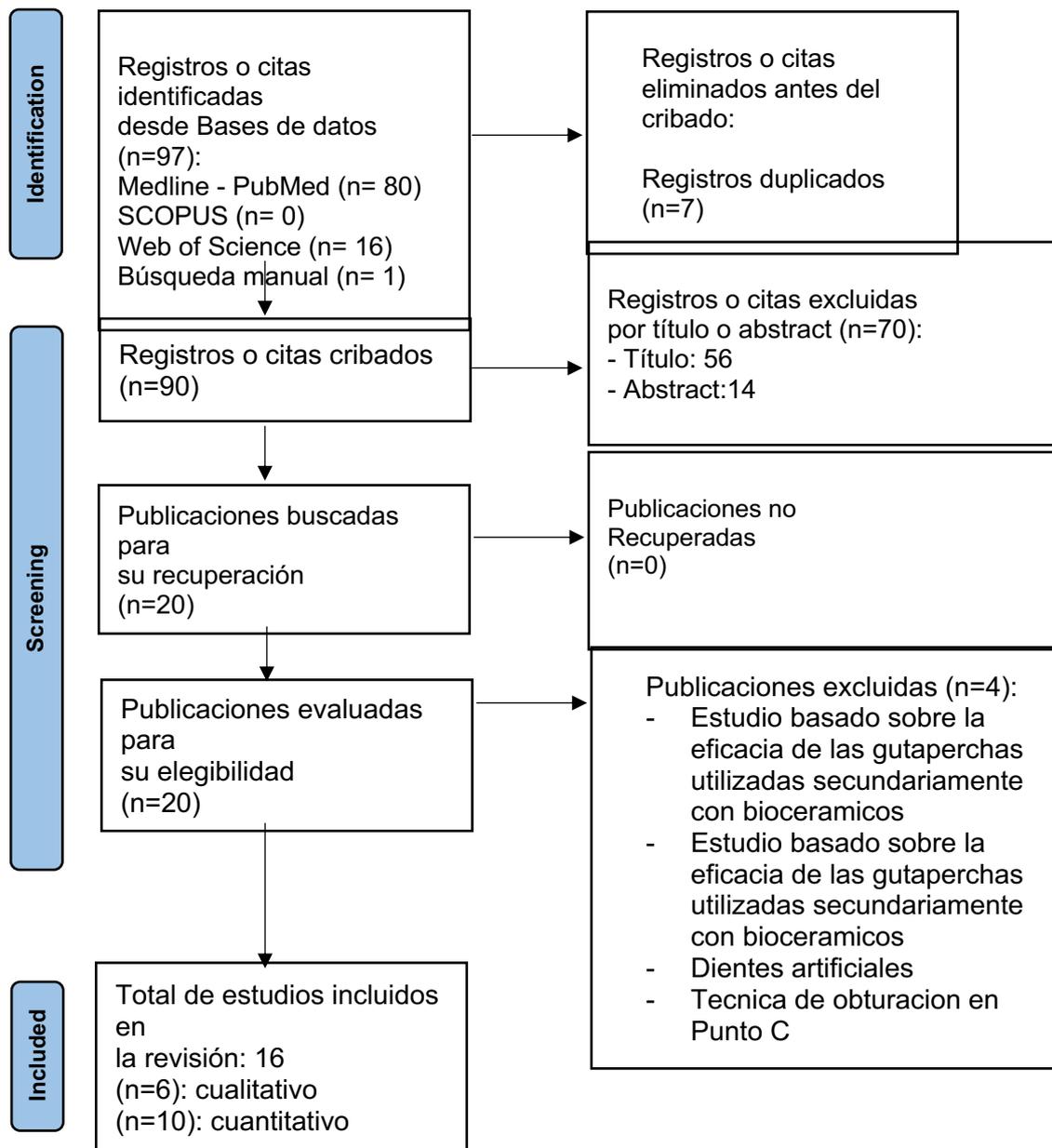


Fig. 1. Diagrama de flujo de búsqueda y proceso de selección de títulos durante la revisión sistemática.

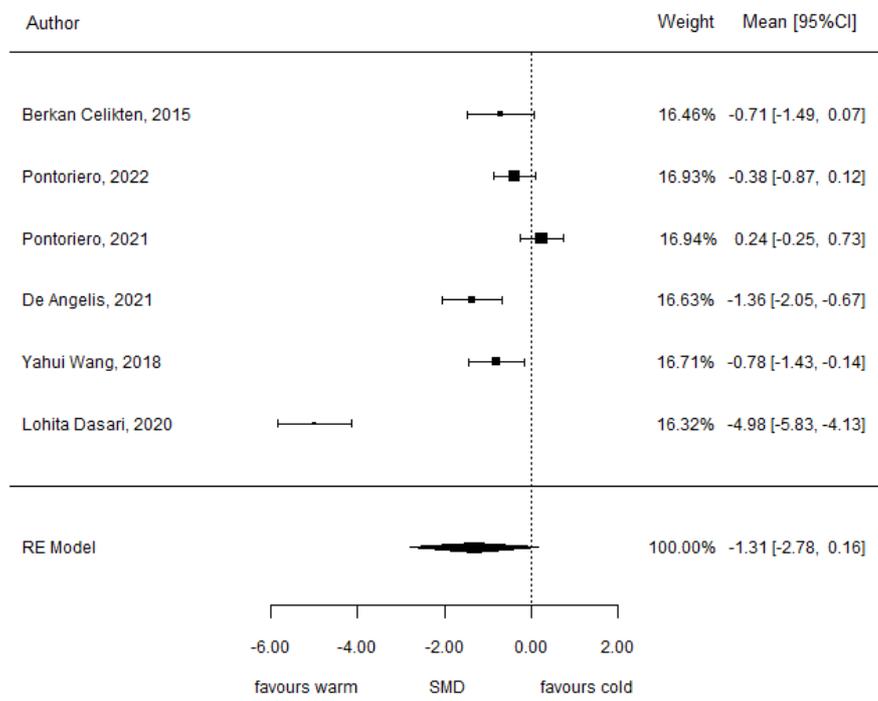


Fig 2: el resultado de los metaanálisis visualizados mediante el gráfico de Forest.

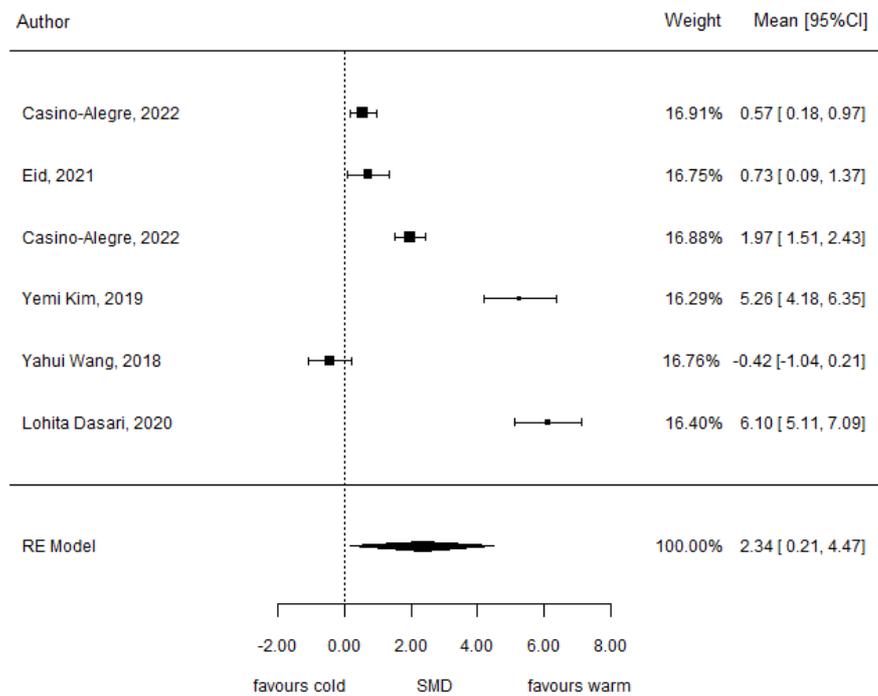


Fig 3: el resultado de los metaanálisis visualizados mediante el gráfico de Forest.