

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA



**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA BIOACTIVIDAD DE LOS
MATERIALES BIOCERAMICOS EN ENDODONCIA**
**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE
DOCTOR EN ODONTOLOGIA**

Sustentantes
JOSÉ C. MÉNDEZ LLADÓ
WYDALY M. GINORIO AGUIRRE

“Los conceptos emitidos en el presente trabajo final son de exclusiva responsabilidad de sus sustentantes”

Docente Especializado
DRA. MARIA TERESA THOMAS KIPLING

Docente Titular
DRA. PATRICIA GRAU GUILLON

No. 2059

SANTO DOMINGO, D.N

21 DE JULIO DE 2020.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestros queridos padres, hermanos y abuelos quienes han sido el pilar fundamental en nuestras vidas y nos han apoyado siempre para que podamos cumplir con todos nuestros sueños y metas. Y a Mia, nuestra querida perrihija, donde quiera que estés, esto es para ti también. Gracias por acompañarnos durante los años más difíciles pero felices de nuestra carrera odontológica. Wydaly M. Ginorio Aguirre, José Carlos Méndez Lladó.

AGRADECIMIENTOS

Primero queremos darle las gracias a Dios por bendecirnos para que podamos hacer realidad nuestro sueño. A la Universidad Iberoamericana por darnos la oportunidad de estudiar y ser mejores profesionales. A la Dra. María Teresa Thomas y a la Dra. Patricia Grau por su apoyo y ayuda incondicional en todo momento. A todo el personal docente quienes con su esfuerzo, dedicación, conocimientos, paciencia y motivación han logrado que podamos terminar con nuestros estudios. A nuestros compañeros de clase, futuros colegas, por motivarnos y darnos aliento cuando más lo necesitábamos. A toda nuestra familia, pilar fundamental en nuestra vida, simplemente gracias por estar siempre cuando los necesitamos. Wydaly M. Ginorio Aguirre, José Carlos Méndez Lladó.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo comparar las propiedades de MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS analizando trabajos de investigación realizados hasta ahora por varios investigadores de todo el mundo. Durante los últimos años, se han realizado avances en la endodoncia utilizando biocerámicos en procedimientos de reparación de perforaciones radiculares, recubrimiento pulpar, apexificaciones, reabsorciones y como cementos selladores, atribuyendo grandes ventajas en comparación con los selladores tradicionales. Objetivo: Describir la bioactividad de los materiales biocerámicos; MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS en el área de Endodoncia. Marco Teórico: Los materiales biocerámicos han demostrado la capacidad de superar algunas de las limitaciones de las generaciones anteriores, pues presentan excelentes propiedades fisicoquímicas y biológicas por lo que en la actualidad su uso es recomendado en la práctica clínica. El biomaterial dental ideal debe poseer propiedades exclusivas, como la capacidad adhesiva adecuada, insolubilidad, estabilidad dimensional, biocompatibilidad, bioactividad, etc. Discusión: Biodentine se ha introducido recientemente como "el primer material todo en uno, bioactivo y biocompatible para el reemplazo de dentina dañada". Es hidrofílico; ya que puede establecerse en un ambiente húmedo. Presenta capacidad osteoinductiva intrínseca, logrando un sellado hermético al formar un enlace químico con la estructura del diente, y posee excelente radiopacidad y capacidad antibacteriana. Conclusión: Los fabricantes afirman que Biodentine tiene un tiempo de fraguado notablemente más corto en comparación con otros cementos de

silicato; como el agregado de trióxido mineral (MTA) y también tiene mejores propiedades mecánicas y de manejo.

Palabras claves: materiales biocerámicos, biovidrios, cementos cerámicos en Endodoncia.

ABSTRACT

This work aims to compare the properties of MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate and BioRoot RCS by analyzing research work carried out so far by various researchers around the world. In recent years, advances in endodontics have been made using bioceramics in root canal repair procedures, pulp coating, apexification, resorption and as sealants, attributing great advantages compared to traditional sealants. Objective: Describe the bioactivity of bioceramic materials; MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate and BioRoot RCS in the Endodontic area. Main Text: Bioceramic materials have demonstrated the ability to overcome some of the limitations of previous generations, since they have excellent physicochemical and biological properties, and therefore their use is currently recommended in clinical practice. The ideal dental biomaterial must have exclusive properties, such as adequate adhesive capacity, insolubility, dimensional stability, biocompatibility, bioactivity, etc. Discussion: Biodentine has recently been introduced as "the first all-in-one, bioactive and biocompatible material for the replacement of damaged dentin." It is hydrophilic; since it can be established in a humid environment. It has an intrinsic osteoinductive capacity, achieving a hermetic seal by forming a chemical bond with the tooth structure, and it has excellent radiopacity and antibacterial capacity. Conclusion: Manufacturers claim that Biodentine has a noticeably shorter setting time

compared to other silicate cements; as the added mineral trioxide (MTA) and it also has better mechanical and handling properties.

Key words: bioceramic materials, bioglass, ceramic cements in Endodontics.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
3. OBJETIVOS	15

3.1 OBJETIVO GENERAL

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4. MARCO TEÓRICO	16
-------------------------	-----------

4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

4.2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

4.2.1 Materiales biocerámicos en Endodoncia

4.2.1.1 Agregado de trióxido mineral (MTA). Original y modificaciones.

4.2.1.2 Biodentine

4.2.1.3 EndoSequence Root Repair Material

4.2.1.4 Bioaggregate

4.2.1.5 BioRoot RCS

4.2.2 Comparación de la bioactividad de los materiales
biocerámicos

5. ASPECTOS METODOLOGICOS	39
6. DISCUSIÓN	40
7. CONCLUSIÓN	44
8. RECOMENDACIONES	46
9. PROSPECTIVA	47
10.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1.INTRODUCCIÓN

Para lograr con éxito la efectividad del tratamiento endodóntico, se deben utilizar materiales que brinden propiedades positivas y favorables. A través del tiempo, se han estudiado e incorporado nuevos materiales que proveen un mejor rendimiento en la práctica odontológica con el objetivo de optimizar la atención de los pacientes. El cemento es uno de los materiales que debe poseer características idóneas por su gran utilización en la práctica odontológica. En los tratamientos endodónticos, el cemento es utilizado para sellar los conductos radiculares, por lo que estará en contacto directo con los tejidos periapicales. El cemento debe proveer o garantizar un sellado efectivo entre el sustrato dental y el material de restauración, tomando en cuenta sus propiedades biológicas y físico-químicas en un ambiente húmedo.¹ Se ha demostrado que el sellador de canales radiculares, es uno de los materiales esenciales para lograr una obturación exitosa, ya que el sellador debe adherirse a la dentina de las paredes de los conductos radiculares y cerrar el área periapical de los mismos. Sin embargo, el sellador convencional no es el material ideal ya que no tiene el efecto adhesivo con la dentina.² Actualmente, algunos de los materiales que son utilizados en el área de la endodoncia poseen un tiempo de fraguado prolongado, una manipulación deficiente, solubilidad en un ambiente demasiado húmedo, baja radioopacidad y alto costo. Es por esto, que se han desarrollado y comercializado nuevos cementos los cuales superan algunos de los inconvenientes de los cementos originales. Según los antecedentes históricos, los cementos catalogados como biocerámicos surgen a partir de la composición del cemento Portland. Los cementos biocerámicos fueron introducidos a principios de los años 90. Estos cementos comenzaron a utilizarse en la medicina para ser colocados en el cuerpo

humano brindando reparación, reconstrucción y devolver funciones del cuerpo humano. Los cementos biocerámicos se introdujeron primero como materiales de obturación retrógrada. Hoy día, presentan múltiples aplicaciones ya sea para utilizarse en pulpotomías, sellado de perforaciones radiculares, perforaciones en furca, sellado de reabsorciones cervicales y reabsorciones radiculares internas y externas, apicoformaciones, recubrimientos pulpaes directos, y endodoncia regenerativa o revascularización pulpar.³ Los materiales biocerámicos se han incorporado al campo de la endodoncia con propiedades importantes e interesantes. Estos materiales han contribuido significativamente al aumento de las tasas de éxito en el tratamiento endodóntico. Recientemente, el vidrio bioactivo, es una de las biocerámicas más utilizadas e investigadas en biomateriales en la endodoncia. Los biomateriales son materiales sintéticos o naturales que son capaces de reemplazar un tejido vivo o funcionar mientras está en contacto íntimo con los mismos.⁴ El requisito principal al seleccionar un biomaterial es su aceptabilidad biológica o biocompatibilidad y no ser rechazado por el tejido vivo o cuerpo humano. Para lograr esta biocompatibilidad, los biomateriales deber ser no tóxicos, no cancerígenos, químicamente inertes, estables y proveer fuerza mecánica.⁸ Varias investigaciones afirman que la toxicidad de un material sellador puede retardar la cicatrización de los tejidos pericaapicales o causar una reacción tisular inflamatoria. Algunos materiales biocerámicos tienen la capacidad de funcionar como tejidos humanos o de reabsorberse, mientras que otros tienen la capacidad de estimular la regeneración de tejidos.⁵ Una de las características principales de los materiales bioactivos es la habilidad para formar apatita.⁶ Hoy día, existen múltiples materiales biocerámicos en el mercado, siendo los materiales más reconocidos

el MTA y el Biodentine.³ El MTA fue el primer material biocerámico utilizado con éxito en la endodoncia. Este material cuenta con muchos beneficios, sin embargo el material ocasionaba la pigmentación de la corona clínica, una desventaja estéticamente. Años más tarde, introducen otro MTA eliminando este factor tan desfavorable. Biodentine se ha introducido recientemente como "el primer material todo en uno", es bioactivo y biocompatible. Los fabricantes afirman que Biodentine tiene un tiempo de fraguado más corto en comparación con otros cementos como el agregado de trióxido mineral (MTA) y también tiene mejores propiedades mecánicas y de manejo. EndoSequence Root Repair Material o por sus siglas ERRM es un cemento biocerámico que se ha desarrollado recientemente. Este material se presenta en forma de pasta e inyectable. Es un cemento altamente radiopaco, hidrofílico, posee estabilidad dimensional, no sufre contracción e induce la formación de hidroxiapatita. A diferencia de los cementos convencionales, utiliza la humedad que se encuentra de manera natural en los túbulos dentinarios para iniciar su reacción de fraguado. Este material permite lograr una correcta fijación celular y mejorar la estructura dentaria. BioRoot™ RCS es otro material biocerámico que se ha desarrollado recientemente. Es un cemento que se utiliza para sellar los conductos radiculares y ha sido mejorado en su capacidad de adherencia. Este material estimula el proceso fisiológico del hueso y la mineralización de la estructura dentinaria. Por lo tanto, crea un ambiente favorable para la cicatrización y curación periapical. Su presentación es en polvo y líquido.⁷ El presente trabajo de revisión de literatura, recopila información actualizada sobre los materiales biocerámicos. La revisión de información se basó en la búsqueda de información en revistas indexadas en MEDLINE®, SciELO, LILACS, Latindex, Google Scholar; con la utilización de descriptores como "biocerámicos",

“materiales biocerámicos”; “materiales biocerámicos en endodoncia”; “Biodentine”; “Mineral trioxide aggregate”; “MTA”; “biovidrios”; “Bioroot RCS”; “Endosequence Root Repair”; “Bioaggregate”; “MTA Fillapex”; “calcium silicate”; “tricalcium silicate”; en inglés y en español, de los cuales se seleccionaron 44 artículos que incluyen reportes de caso, ensayos clínicos, artículos originales, revisiones de literatura, se procedió a la lectura crítica y análisis de la información. El objetivo de este trabajo final de grado es describir la bioactividad de los materiales biocerámicos; MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS en el área de Endodoncia, definir los materiales biocerámicos, explicar sus principales usos y aplicaciones durante la terapia endodóntica, y describir las ventajas y desventajas del uso de los materiales MTA Repair, Biodentine, Endosequence Root Repair, Bioaggregate y BioRoot RCS.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Existe una gran variedad de cementos selladores que han sido utilizados a través del tiempo en el campo de la endodoncia. El cemento sellador debe poseer ciertas características que determinan el éxito del tratamiento endodóntico. Debido a que el cemento estará en contacto directo con los tejidos periapicales, su biocompatibilidad es de gran importancia. La toxicidad de un cemento sellador puede retardar la cicatrización de los tejidos periapicales o causar una reacción tisular inflamatoria. Actualmente, existen varios tipos de cementos selladores endodónticos con diferentes composiciones disponibles en el mercado. Estudios realizados tanto *in vitro* como *in vivo* han aportado evidencias de que la mayoría de los materiales de uso común, destinados a sellar los conductos radiculares, causan efectos citotóxicos sobre el tejido periapical. La toxicidad es mayor antes del fraguado del material, mientras que los componentes del cemento sellador pueden ser liberados lentamente y esto puede ocurrir durante largos períodos dependiendo de la solubilidad del material en los fluidos tisulares y el grado de exposición al organismo. Los materiales biocerámicos son capaces de funcionar como tejidos humanos o de reabsorberse y estimular la regeneración de los mismos. En la actualidad, los materiales biocerámicos han ido evolucionando en su aplicación en la endodoncia debido a sus propiedades fisicoquímicas y su perfil hidrofílico, biocompatibilidad y capacidad osteoinductiva. Es sumamente importante que estos materiales cumplan con sus características ideales ya que en el medio que van a ser colocados, deben responder favorablemente y cumplir con la función de regeneración y reparación de los tejidos. Conocer el comportamiento físico-químico y biológico de estos cementos endodónticos es de fundamental importancia, ya que se podrían considerar una excelente opción

cuando realizamos pulpotomías, sellado de perforaciones y otras complicaciones clínicas con el propósito de lograr una recuperación eficiente de la estructura dental.

Las preguntas que serán contestadas con este trabajo de final de grado son:

¿Cómo es la bioactividad de los materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS?

¿Cuáles son los principales usos en endodoncia de los materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS?

¿Cuáles son las ventajas y desventajas del uso de materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS?

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Describir la bioactividad de los materiales biocerámicos; MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS en el área de Endodoncia.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Explicar la bioactividad de los materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS.
2. Puntualizar los principales usos en endodoncia de los materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS.
3. Describir las ventajas y desventajas del uso de los materiales MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoo RCS.

4. MARCO TEORICO

4.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Los biomateriales se definen como materiales sintéticos o naturales que son capaces de reemplazar partes de un sistema vivo o funcionar mientras está en contacto íntimo con tejidos vivos. El requisito principal al seleccionar un biomaterial es su biocompatibilidad. Para lograr la aceptabilidad del biomaterial, estos materiales no deben ser tóxicos, no cancerígenos, estables, con propiedades químicas inertes y mecánicamente fuertes. Los biomateriales más comunes son los metales, polímeros y cerámicas. Éstos pueden usarse solos o en combinación. La cerámica es un material policristalino de baja densidad, muy resistente a la corrosión y al desgaste. Actualmente, se distinguen cuatro tipos básicos de biocerámicos:

1. Cerámicas bioenergéticas de alta resistencia (Ej. Alúmina, Zirconio y Carbono); que producen actividad inductiva biológica específica.
2. Cerámicas bioactivas; interactúan con los tejidos.
3. Cerámicas bioinertes; no interactúan con los tejidos.
4. Cerámicas biodegradables o reabsorbibles Ej. Fosfato tricálcico)

Para finales del año 60, varios investigadores describieron que algunos vidrios y cerámicas tenían la capacidad de adherirse al tejido óseo vivo, creándose un nuevo material llamado "Bioglass". Las investigaciones siguieron avanzando y a finales del siglo 19 se descubrieron los materiales bioactivos, con aplicación tanto en medicina como en odontología.⁸ Según Real Aparicio⁹, un material bioactivo es aquel material que provoca

una respuesta biológica específica en la interfaz del material, estimulando la regeneración de los tejidos vivos, como resultado de la unión formada entre los tejidos vivos y el material. Éstos son materiales que promueven la señalización celular y molecular, incorporando factores de crecimiento, lo cual regula la proliferación, migración, diferenciación, expresión de proteínas y la mineralización. De acuerdo con Llanos-Carazas⁴, los materiales bioactivos son aquellos que formarán apatita carbonatada después de sumergirse en una solución similar al suero, formando enlaces químicos directos con el hueso o tejidos blandos de un organismo vivo como resultado de la reacción del hidróxido de calcio con los fosfatos de calcio y fluidos tisulares. Los cementos biocerámicos son materiales biocompatibles, que fueron introducidos a principios de los años 90. Estos cementos comenzaron a utilizarse en el campo de la medicina para ser colocados en el cuerpo humano con la función de brindar reparación, reconstrucción y devolver funciones del cuerpo humano. Según los antecedentes históricos, los cementos catalogados como biocerámicos surgen a partir de la composición del cemento Portland. El cemento Portland es uno de los materiales más utilizados en construcción. Actualmente, el cemento Portland se fabrica mezclando sustancias que contienen cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Este cemento posee dos fases una de silicato tricálcico y otra de aluminato tricálcico, que cuando reacciona está en contacto cercano con los tejidos.⁴ El único inconveniente de este cemento es su radiopacidad. Los materiales biocerámicos se han incorporado al campo de la endodoncia como materiales con propiedades importantes e interesantes. En el área de la endodoncia, los cementos biocerámicos se introdujeron primero como materiales de obturación retrógrada. Hoy día, presentan múltiples aplicaciones ya sea para utilizarse

en pulpotomías, sellado de perforaciones radiculares, perforaciones en furca, sellado de reabsorciones cervicales invasivas y reabsorciones radiculares internas y externas, apicoformaciones, recubrimientos pulpaes directos, y endodoncia regenerativa o revascularización pulpar.¹⁰ Algunos materiales biocerámicos tienen la capacidad de funcionar como tejidos humanos o de reabsorberse, mientras que otros tienen la capacidad de estimular la regeneración de tejidos, los cuales incluyen alúmina y zirconio, vidrio bioactivo, cerámica de vidrio, silicatos de calcio, hidroxiapatita y fosfatos de calcio reabsorbibles.⁵ Las ventajas de los cementos biocerámicos en endodoncia están relacionados con sus propiedades físico-químicas y biológicas. Los cementos biocerámicos son biocompatibles porque no producen respuesta inflamatoria de los tejidos periapicales cuando entran en contacto con ellos, son químicamente estables en ambientes biológicos, no sufren contracción de fraguado; todo lo contrario, tienen una expansión de 0,002 mm y no se reabsorben.⁸ Una característica importante de estos materiales es que no ocurre una respuesta inflamatoria significativa si se produce una sobreobtención. Otra característica que poseen estos cementos biocerámicos es la capacidad de formar hidroxiapatita durante su proceso de fraguado. Estos favorecen un sellado entre el sustrato dentinario y el material de obturación, generando un enlace químico entre ambos. Esta unión ayuda a evitar una comunicación entre el tejido periodontal y el interior del órgano dental, llevando así a una recuperación eficiente de estas estructuras. Estos pueden utilizarse en ambientes húmedos y en contacto con sangre por lo que la presencia de humedad es necesaria para el fraguado de los materiales biocerámicos. La presencia de humedad dentro de los túbulos dentinarios puede iniciar y ayudar a un fraguado completo. Además presentan un pH de 10-12

aproximadamente, sumamente alcalino durante las primeras 24 horas de fraguado lo que genera un aumento en la actividad antibacteriana. Son fáciles de usar, ya que poseen un tamaño de partícula menor a 2 μm , lo que permite ser usados en una jeringa premezclada, teniendo un tiempo de trabajo aproximado de tres a cuatro horas a temperatura ambiente, se introducen directamente dentro del canal y tienen una duración aproximada de dos años.⁸ Otra propiedad importante que presentan es la radioopacidad, y esto es con el fin de evaluar la calidad de obturación mediante el diagnóstico radiográfico. De acuerdo con la norma ISO 6876, los cementos endodónticos deben tener una radiopacidad superior a 3,0 mm en relación con la escala de aluminio (Al). Esta condición implica que los materiales utilizados en la obturación posean una radiopacidad superior a los tejidos dentarios y a la del hueso. Actualmente, existen múltiples materiales biocerámicos en el mercado, siendo los materiales más reconocidos el MTA y el Biodentine.¹⁰ El primer material biocerámico utilizado con éxito en endodoncia fue el cemento MTA y fue introducido por el Dr. Torabinejad en 1993.⁵ Éste fue aprobado por la FDA (Food and Drug Association) en 1998. Históricamente se comercializó bajo la denominación de ProRoot MTA gris. Posteriormente, en 2002 sale al mercado el ProRoot MTA White el cual se le ha eliminado hierro ya que el ProRoot MTA pigmentaba los dientes. Recientemente, se lanzó al mercado dental un nuevo cemento biocerámico a base de silicato de calcio como sustituto de la dentina. Éste nuevo material es bioactivo, penetra a través de los tubulos dentinarios abiertos para cristalizar y entrelazarse con la dentina proporcionando propiedades mecánicas resistentes. Biodentine ha sido formulado utilizando la tecnología basada en el cemento biocerámico MTA. Por lo tanto,

Biodentine ha contribuido mejoras en algunas de sus propiedades físico-químicas y biológicas, incluyendo su manejo, aplicaciones clínicas, entre otras.¹¹

4.2 REVISION DE LITERATURA

Materiales Biocerámicos en Endodoncia

A nivel general, los materiales biocerámicos tendrán aplicaciones tanto a nivel coronal como a nivel radicular. Cuando nos encontramos con una exposición pulpar, ya sea por lesión de caries o traumatismo, podemos colocar un cemento biocerámico. El uso de estos materiales en las pulpotomías ayudará en la formación de un puente dentinario en la entrada de los conductos, permitiendo mantener la vitalidad de la pulpa radicular y un correcto desarrollo radicular. La apicoformación o apexificación se describe como el tratamiento que se realiza para inducir el cierre apical en dientes con ápice abierto o para continuar el desarrollo de una raíz parcialmente formada en dientes necróticos. Esta técnica nos aporta dos ventajas: podemos realizar la apicoformación en una sola visita, pudiendo hacer la restauración definitiva en la misma sesión de trabajo, y la obtención de un correcto sellado apical, favoreciendo una mejor regeneración ósea. Los procedimientos regenerativos pulpares están indicados en casos de dientes con ápice inmaduro, paredes frágiles y sin formar en dientes que han perdido la vitalidad pulpar, y por tanto, no pueden finalizar su crecimiento radicular. En este caso, se busca inducir un sangrado de la zona apical para que se rellene el conducto de sangre, que migren y se introduzcan las células madre en el interior del conducto para de esta forma se pueda continuar el desarrollo radicular. Una vez que se encuentre completamente lleno el conducto radicular con sangre, y se haya formado el coágulo, se colocará 4 mm de cemento biocerámico por debajo de la línea amelocementaria, y posteriormente

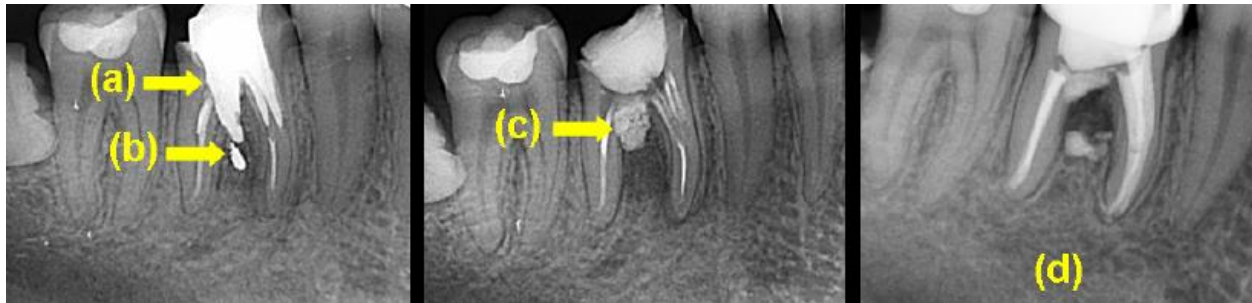
restauraremos la pieza.¹⁰ Sin embargo, dentro de la gran cantidad de materiales biocerámicos que existen para ser utilizados en la odontología, se describirán las propiedades de algunos cementos biocerámicos que han sido utilizados mayormente en endodoncia; el MTA, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate, BioRoot y MTA Fillapex.

4.2.1 Materiales biocerámicos en Endodoncia

4.2.1.1 Agregado de trióxido mineral (MTA). Original y modificaciones.

El agregado de trióxido mineral o conocido por sus siglas como MTA, es un material biocerámico derivado del cemento Portland, desarrollado en la Universidad de Loma Linda, California a principios de los años 90.¹² El MTA ha sido utilizado en endodoncia para sellar las vías de comunicación entre el sistema de conductos radiculares y los tejidos perirradiculares (ver figura 1). El MTA está compuesto de una mezcla mecánica de tres ingredientes en polvo; cemento Portland, constituido por un 75% en peso, 20% de óxido de bismuto y 5% de yeso. Al mezclar estas materias se producen silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), aluminato tricálcico ($\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaO}$), tetracalcio aluminoferrita (ver tabla 1) y trazas de otros óxidos minerales como óxido de silicio (SiO_2), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO), sulfato de potasio (K_2SO_4) y sulfato de sodio (Na_2SO_4), diferenciándose del cemento Portland por la adición de óxido de bismuto (Bi_2O_3), el cual le confiere radiopacidad y un tamaño de partículas más pequeño y uniforme.

Figura 1: Perforación radicular sellada con agregado de trióxido mineral (MTA).



(Fuente: Jitaru¹²)

Tabla 1: Composición del agregado de trióxido mineral (MTA)

Composition	Percentage
Powder	
Tricalcium silicate	66.1
Dicalcium silicate	8.4
Tricalcium aluminate	2.0
Tetracalciumaluminoferrite	-
Calcium sulphate	-
Bismuth oxide	14
Calcium oxide	8
Silicon oxide	0.5
Aluminium oxide	1.0

[Table/Fig-2]: Composition of MTA.

(Fuente: Kaur¹¹)

Originalmente, se comercializa el MTA gris (Grey ProRoot® MTA, Dentsply Tulsa Dental; Tulsa, Oklahoma, USA), el cual se modifica en 2002 MTA White (tooth-colored MTA o WMTA) con el objetivo de evitar los potenciales cambios de coloración.¹³ Estudios han demostrado que el MTA es un material biocompatible, con capacidad bacteriostática y antifúngica, con baja hidrosolubilidad, no reabsorbible, con un pH alcalino de 10-12.5 que fragua en ambiente húmedo y tiene un tiempo de trabajo largo. Respecto a su tiempo de fraguado, el MTA ProRoot tiene un tiempo de fraguado aproximado de 2 horas y 45 minutos, mientras que el MTA Angelus, tiene un tiempo de fraguado de 15 minutos. Por otro lado, a nivel celular, se ha demostrado que el MTA produce la liberación de iones calcio, induce la mineralización ósea, produce una reparación de los tejidos perirradiculares, activa los cementoblastos, induce la proliferación celular para formar un puente dentinario, activa los cementoblastos, reduce la inflamación y al ser colocado en

íntimo contacto con las células de la pulpa dental, las diferencia en odontoblastos. Varios estudios han demostrado que regula la expresión de colágeno tipo I y la osteocalcina en osteoblastos tras 24 horas y permite la unión y crecimiento de cementoblasto.¹⁰ El MTA no es mutagénico ni neurotóxico, posee efectos antiinflamatorios en el tejido de la pulpa, es cementoinductivo y osteoconductor.⁵ Recientemente se han introducido nuevos materiales como el MTA flow de Ultradent el cual es biocompatible de acuerdo a lo mencionado por Mondelli et al.¹⁴ ya que permite la proliferación de fibroblastos, formación de colágeno y la regresión del proceso inflamatorio en tejido subcutáneo a los 60 días.¹⁴ Existen casos particulares como ocurre con el MTA Fillapex el cual muestra mayor citotoxicidad durante las 24, 48 y 72 horas posteriores a la elución en comparación a otros materiales biocerámicos de acuerdo a Colombo *et al.* Estos resultados coinciden con lo reportado por Jung *et al.*, donde mencionan que el MTA Fillapex ejerce un impacto negativo en la viabilidad de las células pulpares, así como en los osteoblastos y células osteogénicas. Los productos de tipo MTA tienen un pH inicial de 10,2, que se eleva a 12,5 tres horas después de la mezcla, manteniéndose constante. Sin embargo, de acuerdo a las evaluaciones observadas por Colombo *et al.* en 2018, el cemento MTA Fillapex presenta un pH inicial de 7,68 a las 3 horas posteriores a su aplicación e incubación que fue seguido por un pH alcalino débil de 8,02 pasadas las 24 horas.⁴ La solubilidad para el MTA se asocia con la presencia de óxido de bismuto como radioopacificador, ya que éste aumenta la porosidad del cemento, disminuyendo su estabilidad mecánica y aumentando su solubilidad, así como también el incremento de agua en la mezcla.⁴ La resistencia a la compresión se correlaciona con la etapa de hidratación y la presión durante la aplicación del MTA. Se sabe que el MTA posee una

resistencia de 40 MPa a las 24 horas y 67 MPa a los 21 días.⁵ Con respecto al WMTA se reportó una resistencia a la compresión de 45,84 MPa a los 3 días y 86.02 MPa a los 28 días.¹⁵ La reacción del MTA se establece a través de una reacción exotérmica, que requiere la hidratación del polvo para producir la pasta de cemento que madura con el tiempo.⁵ La reacción de hidratación durante el fraguado ocurre entre el silicato tricálcico y el silicato dicálcico para formar hidróxido de calcio y gel de hidrato de silicato cálcico, produciendo un pH alcalino.¹⁰ Ocurre una segunda reacción entre el aluminato tricálcico, yeso y agua para formar sulfoaluminato de calcio o estringita con un alto contenido de sulfato. Esta reacción es esencial para controlar la velocidad de curado del MTA y del cemento Portland en general. La proporción de la mezcla o la relación de polvo y líquido recomendada para el MTA es 3:1 que mezclaremos en una loseta de vidrio. Para aplicarlo, lo haremos mediante portaamalgamas de pequeño diámetro o con jeringas específicas, como la MTA Gun o la MAP System, que tienen varias puntas con diferentes angulaciones y diámetros.¹⁰ El tiempo de mezcla es de 30 segundos, fragua después de aproximadamente 3 horas, pero después de este tiempo el material no está completamente hidratado. Es recomendable la colocación de una bolita de algodón húmedo al material, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, para proporcionarle la humedad adicional, lo cual se traduce en una cita adicional para remover la bolita de algodón y reemplazar la restauración temporal por una final. El MTA requiere de humedad para poder desarrollar sus propiedades de manera óptima. Sin embargo presenta inconvenientes de su “lavado” cuando entra en contacto con sangre durante tratamientos quirúrgicos, debido al tiempo de fraguado que es uno largo, con baja fuerza adhesiva y baja cohesión. De acuerdo a Torabinejad et al., el fraguado final

del cemento ProRoot es de 2 horas y 45 min (\pm 5 minutos). Para el ProRoot MTA blanco es de 140 minutos (2 horas y 20 minutos) y 175 minutos (2 horas y 55 minutos) para ProRoot MTA gris.⁴

4.2.1.2 Biodentine

En el transcurso de los últimos años, una nueva generación de cementos biocerámicos con mejoras en sus propiedades ha sido incorporada en la endodoncia. En 2009, se introduce un material bioactivo diseñado específicamente para ser utilizado como sustituto dentinario. Biodentine es un cemento biocerámico a base de silicato de calcio, bioactivo que promueve la dentinogénesis estimulando las células de la pulpa para formar una dentina reactiva. Sus propiedades son similares a las de la dentina sana, y puede reemplazarla tanto a nivel coronario como a nivel radicular, sin tratamiento previo de la superficie de los tejidos calcificados, por lo que son útiles en odontología restauradora y endodoncia. Otras propiedades de este material incluyen su biocompatibilidad, resistencia a la compresión, reacción de proceso de hidratación o tiempo de fraguado, pH alcalino, antibacteriano, liberación de calcio e hidroxiapatita, radiopacidad (menor que el MTA) y solubilidad. Éste material no es genotóxico y no presenta efectos adversos sobre la diferenciación celular y la función celular específica.⁵ Biodentine se caracteriza por la inducir una respuesta celular positiva con biomineralización por contacto directo favoreciendo la cicatrización al potenciar la proliferación, migración y adhesión de las células madre de la pulpa dental humana, lo cual se traduciría en ausencia de sensibilidad post-operatoria.¹⁶ Una de las principales desventajas de los cementos ya existentes basados en silicato de calcio son las bajas propiedades mecánicas, debido a la presencia de componentes como los aluminatos que

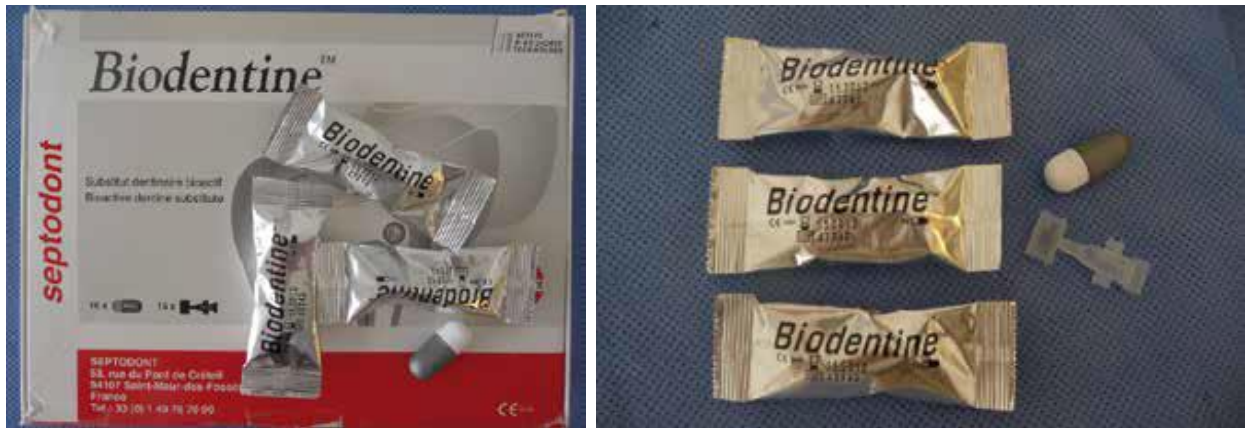
finalmente determinan la fragilidad del producto.¹⁷ Para mejorar esto se crea a Biodentine, que tiene la capacidad de alcanzar hasta 300 MPa después de un mes de su colocación, similar a la resistencia de compresión de la dentina natural que es de 297 MPa.⁵ La reacción de proceso de hidratación o tiempo de fraguado es similar a la del MTA con la formación de silicato de calcio, gel hidratado (C-S-H) e hidróxido de calcio. Donde el carbonato de calcio es el sitio de nucleación para el gel de hidrato de silicato de calcio, reduciendo la duración del período de inducción, con un tiempo de fraguado más rápido, reduciendo la viscosidad y mejorando su manipulación. Durante la reacción de fraguado se crea la zona de infiltración mineral, capa de intercambio iónico que aparece en la interfaz de la dentina y los cementos a base de silicato de tricálcico atribuido a un efecto doble del cemento liberador de hidróxido de calcio. En 2018, un estudio realizado por Loison-Robert *et al.*¹⁶, demostraron que el cemento Biodentine tiene un pH inicial de 12,24 que luego de 24 horas disminuyó a 8,18 ($\pm 0,8$) y que se mantuvo estable durante 8 días, lo cual inhibe el crecimiento de microorganismos y puede desinfectar la dentina.⁵ De acuerdo a una investigación realizada por Torres *et al.* en 2018, Biodentine mostró la mayor solubilidad en las muestras inmersas en agua destilada con un 6,72 % ($\pm 0,37$) ($p < 0,05$) a los 7 y a los 30 días en comparación con el White MTA Angelus. Biodentine posee un tiempo de fraguado inicial de 6 minutos y un tiempo de fraguado final aproximado de 10 a 12 minutos. Esta disminución en el tiempo de fraguado representa una ventaja en comparación a otros cementos biocerámicos y esto se debe al cambio en el tamaño de sus partículas, ya que a mayor superficie, menor es el tiempo de fraguado y a su vez la adición de cloruro de calcio, acelera la reacción y disminuye el contenido líquido.¹⁷ Se sugiere que las restauraciones se pueden realizar

pasado el tiempo de fraguado inicial, haciendo que los procedimientos restauradores sean en una sola visita. Biodentine se presenta en una caja que contiene 15 cápsulas con el polvo y 15 pipetas con el líquido (ver figura 2). Biodentine se encuentra disponible en forma de cápsula que contiene la proporción ideal de polvo y líquido (ver figura 3). El polvo contiene silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) siendo este el principal componente del polvo y es quien regula la reacción de fraguado, silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), carbonato de calcio (CaCO_2) que es el relleno, óxido de circonio (ZrO_2) que le otorga radiopacidad al cemento y óxido de hierro (Fe_2O_3) que es el agente colorante, (ver tabla 2) mientras que el líquido contiene cloruro de calcio que actúa como acelerador, agua y además contiene un polímero hidrosoluble basado en policarboxilato como agente reductor de agua.¹¹

Figura 2: Presentación comercial de Biodentine.



(Fuente: <https://www.septodontusa.com/products/biodentine>)



(Fuente: Cedrés¹⁷)

Figura 3: Cápsula de polvo y pipeta con el líquido.



(Fuente: Cedrés¹⁷)

Tabla 2: Composición del Biodentine.

Powder	Percentage
Tricalcium silicate ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (main core material)	80.1
Dicalcium silicate ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) (second core material)	-
Calcium carbonate (CaCO_2) (filler)	14.9
Zirconium Oxide (ZrO_2) (radioopacifier)	5
Iron oxide (colouring agent)	-

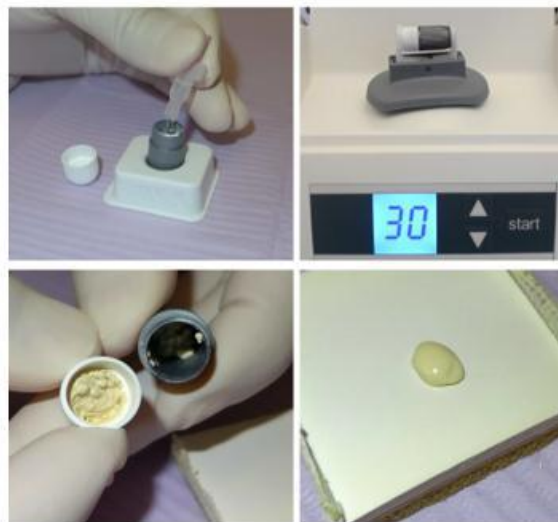
[Table/Fig-1]: Composition of Biodentine.

(Fuente: Kaur¹¹)

Este polímero hidrosoluble reduce la viscosidad del cemento, logra una alta resistencia a corto plazo, reduciendo la cantidad de agua requerida por la mezcla manteniendo su fácil manipulación.¹⁷ Para una dosis del producto son 5 gotas de agua y 1 cápsula de polvo. Esta cápsula debe ser incorporada en un amalgamador por 30 segundos con oscilaciones de 4,000-4,200 rpm (ver figura 4). Algunas investigaciones recomiendan realizar el procedimiento en dos citas. En la primera cita se debe llenar completamente la cavidad con el cemento y en la segunda cita se debe reducir la base. Eso debe realizarse después de una semana para colocar la restauración definitiva. Es muy importante que el recubrimiento de la cavidad selle e impida la contaminación bacteriana. Otro argumento de realizar la obturación en 2 citas es dejar que culmine el cristalizado completo del cemento que tarda en obtener el máximo endurecimiento hasta 28 días. Si se va a realizar la restauración con resina compuesta en la misma sesión es importante esperar de 12 a 15 minutos después de colocado el material.²¹ Sin embargo, durante el ajuste oclusal, el cemento Biodentine no debe ser manipulado con instrumentos rotatorios o con agua. Es muy importante tomar en consideración la manipulación y el terminado final para que el cemento no pierda sus propiedades. Se recomienda llevar el cemento a la cavidad con instrumentos condensadores realizando ligera presión, con los mismos instrumentos se ajusta la oclusión y se le puede dar una anatomía primaria. La presión excesiva durante la condensación del material o el exagerado recorte y terminado, puede alterar los cristales del cemento perdiendo dureza el material.¹⁷ Biodentine es suficientemente estable, por esto puede usarse como base cavitaria, y obturaciones temporales.¹⁵ Entre las principales indicaciones se incluye en el tratamiento de resorciones, perforaciones radiculares o reparación de piso de cámara pulpar,

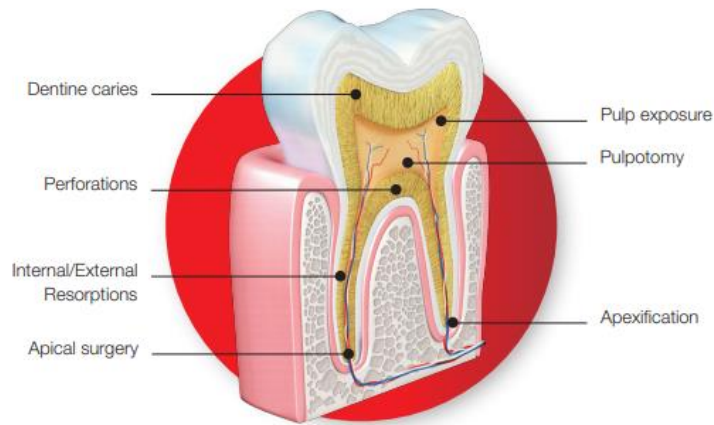
recubrimientos pulpaes directos luego de una exposición pulpar por caries o luego de un traumatismo dentoalveolar, apexificaciones, cirugía endodóntica retrógrada, pulpotomías en molares deciduos o temporarios y reemplazo de dentina.¹⁷ (ver figura 5 y 6). La ventaja principal que presenta este material respecto al MTA es que no produce tinción en la corona del diente, por lo que será el material de elección cuando nos encontremos con tratamientos pulpaes que involucren la zona coronal y cervical de dientes tanto anteriores como posteriores.¹²

Figura 4: Forma de preparación de Biodentine.



(Fuente: Wang⁶⁰)

Figura 5: Aplicaciones clínicas de Biodentine.



(Fuente: <https://www.septodont.co.uk/sites/default/files/brochureBiodentineHDUK.pdf>)

Figura 6: Biodentine en perforación de piso cameral.



(Fuente: Cedrés¹⁷)

4.2.1.3 EndoSequence Root Repair Material

El material EndoSequence Root Repair Material o por sus siglas ERRM es un cemento biocerámico que se ha desarrollado recientemente. Según el fabricante, el ERRM es derivado del silicato de calcio y está compuesto por silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), óxido de zirconio (ZrO_2), óxido de tantalio como relleno (TaO_2) y fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Este material se presenta en forma de pasta e inyectable (ver figura 7). Es un cemento

altamente radiopaco, hidrofílico, posee estabilidad dimensional, no sufre contracción e induce la formación de hidroxiapatita. A diferencia de los cementos convencionales, utiliza la humedad que se encuentra de manera natural en los túbulos dentinarios para iniciar su reacción de fraguado. Tiene un tiempo de fraguado de 30 minutos a 4 horas dependiendo de su localización y de la porción que será clocada. Su pH es de 12.4, alcalino lo que favorece a que no haya actividad microbiana.¹⁸ Su pH disminuye de forma constante durante un periodo de siete días y sus propiedades físicas y mecánicas son similares al cemento MTA, pero con mejores características en su manejo clínico. Este material permite lograr una correcta fijación celular y es mayormente utilizado en casos que se quiera realizar obturación retrógrada o retro obturación, apicectomías y para sellar perforaciones radiculares y resorciones, logrando mejorar la estructura dentaria.

Figura 7: Presentación comercial de EndoSequence Root Repair Material (ERRM).



(Fuente: <http://brasselerusadental.com/>)

4.2.1.4 Bioaggregate

Bioaggregate (BA) es un material biocerámico sintético basado de silicato de calcio. Se presenta en forma de polvo y tiene nano partículas agregadas (ver figura 8). Contiene en su composición silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), fosfato cálcico monobásico (CaHPO_4), dióxido de silicio amorfo (SiO_2) y pentóxido de tantalio (Ta_2O_5).¹⁸ Este material es utilizado en resorciones y perforaciones radiculares. Su tiempo de fraguado es 4 a 6 horas.

Figura 8: Presentación comercial de Bioaggregate



(Fuente: <http://www.ibioceramix.com/>)

4.2.1.5 BioRoot™ RCS

BioRoot™ RCS es otro material biocerámico que se ha desarrollado recientemente. Es un cemento que se utiliza para sellar los conductos radiculares. Ofrece ofrece muchas ventajas en términos de manipulación, propiedades y reacción de fraguado. Es un material biocompatible y ha sido mejorado en su capacidad de adherencia. BioRoot RCS es un material biocerámico bioactivo que estimula el proceso fisiológico del hueso y la mineralización de la estructura dentinaria. Por lo tanto, crea un ambiente favorable para

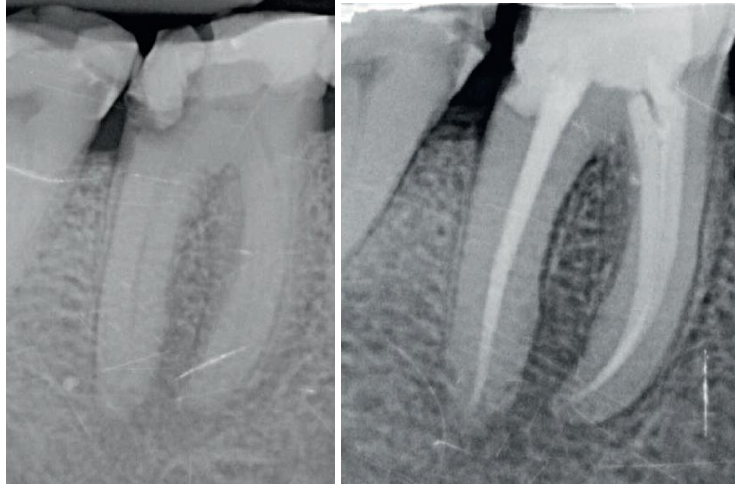
la cicatrización y curación periapical.⁷ BioRoot RCS está indicado para el sellado permanente del conducto radicular en combinación con conos de gutapercha y es adecuado para utilizarse en la técnica de cono único o condensación lateral convencional (ver figura 10). Presenta un pH alcalino e induce la formación de hidroxiapatita. Su presentación es en polvo y líquido (ver figura 9). El polvo contiene óxido de circonio (ZrO_2) como radioopacificador y un polímero hidrofílico. La parte líquida contiene principalmente agua, cloruro de calcio ($CaCl_2$) como un modificador de configuración y un agente reductor de agua. Se utiliza mezclando parte del polvo con la parte líquida. El tiempo de trabajo es de unos 15 minutos y el tiempo de fraguado es alrededor de 3 a 4 horas.

Figura 9: Presentación comercial de BioRoot RCS.



(Fuente: <https://www.septodontusa.com/products/bioroot-rcs>)

Figura 10: Aplicación clínica de BioRoot RCS.



(Fuente: Simon⁷)

4.2.2. Comparación de la bioactividad de los materiales biocerámicos

El término hidráulico se define como la propiedad de funcionar por la acción del agua o de otro líquido. Los cementos biocerámicos son hidráulicos ya que son materiales que pueden establecerse en ambientes húmedos, su reacción de curado tiene lugar cuando se mezcla con agua, pueden endurecerse en un ambiente húmedo y sus propiedades mejoran cuando entran en contacto con fluidos.¹⁵ Es de vital importancia tener esto en cuenta, ya que no todos los materiales que se usan en odontología se comportan de la misma manera, en este caso particular no deberán siempre estar en contacto con fluidos tisulares, saliva y sangre. La biomineralización puede influir positivamente en la fuerza adhesiva de inserción de este tipo de material aumentando la retención mecánica, con la formación de minerales dentro de los túbulos dentinarios, mejorando así la actividad biológica dentro del conducto radicular.¹⁹ Estos materiales se caracterizan por liberar iones de calcio, durante mucho tiempo después del fraguado y son los únicos materiales que garantizan una liberación continua de iones de calcio cuando están en contacto con la dentina y/o hueso húmedo.¹⁵ Luego, se forma una capa sobre la dentina denominada

“zona de infiltración mineral” producida por los subproductos de la hidratación del material bioactivo. Esta degradación conduce a la formación de una estructura porosa que facilita la permeabilidad y posteriormente habrá una liberación de iones de fosfato del diente, que reaccionarán con el calcio del material bioactivo incrementando la mineralización de esta región y produciendo adhesión del cemento en la superficie del diente.²⁰ A su vez, aumenta el pH local durante su reacción de hidratación relacionado a la liberación de hidróxido de calcio lo cual puede explicar las propiedades antibacterianas de estos materiales.¹⁵ Las propiedades antibacterianas y antifúngicas de los materiales biocerámicos, el MTA y Biodentine se pueden atribuir al aumento de su pH. Esta alcalinidad tiene un efecto inhibitor sobre el crecimiento de microorganismos y provoca la desinfección de la dentina. Kaur et al.¹¹ evaluaron la eficacia antimicrobiana de Biodentine, MTA y MTA Plus y encontraron que el MTA y Biodentine mostraron un efecto antimicrobiano significativo contra *Enterococcus faecalis*, mientras que el MTA Plus demostró ser un buen agente antifúngico contra *Candida albicans*. Otro estudio informó sobre las características antibacterianas y antifúngicas de los cementos Biodentine, MTA y el ionómero de vidrio y concluyó que Biodentine muestra una acción antimicrobiana superior al MTA y el ionómero de vidrio.¹¹ La biocompatibilidad de un material dental debe tenerse en cuenta ya que debemos evitar a toda costa un efecto tóxico en el tejido circundante. Real Aparicio et al.⁹, compararon la citotoxicidad de Biodentine con el MTA blanco y el ionómero de vidrio usando fibroblastos y observaron que Biodentine causó una reacción similar en comparación con el MTA blanco.⁹ Ambos materiales fueron menos citotóxicos que el ionómero de vidrio. De manera similar, Nuñez CMC et al., encontraron un patrón similar de expresión de citoquinas entre Biodentine y el MTA

mientras usaban fibroblastos. Cedrés et al.¹⁷, compararon la biocompatibilidad y la expresión genética de Biodentine y MTA usando cultivos esféricos multicelulares tridimensionales y observaron una respuesta similar entre estos dos materiales. Biodentine es un material seguro para su uso clínico, teniendo al menos una biocompatibilidad equivalente al MTA. González Villafuerte et al.²¹, realizaron un estudio sobre la porosidad y compararon el cemento Biodentine con IRoot BP, Ceramicrete y ProRoot MTA utilizando la caracterización de micro-CT. Los autores no encontraron diferencias significativas en la porosidad entre estos cementos de reparación que contienen silicato de calcio. Sin embargo, debido al bajo contenido de agua en la etapa de mezcla, Biodentine exhibe una menor porosidad que MTA. Grech et al., evaluaron la radiopacidad de Biodentine y Bioaggregate y descubrieron que ambos materiales tenían un valor de radiopacidad superior a 3 mm de aluminio. Sin embargo, Cuesta et al.²², observaron una menor radiopacidad en el cemento Biodentine en comparación con MTA Angelus.²² En comparación con el cemento Biodentine, el MTA White Angelus mostró el mayor aumento de solubilidad y porosidad después de 30 días 0,0242 ($\pm 0,0020$). Este resultado fue con respecto a la inmersión de las muestras en la solución salina balanceada de Hank (HBSS).¹ La resistencia a la flexión de cualquier material dental es un factor importante ya que disminuye el riesgo de fractura en el uso clínico. Walker MP *et al.*, encontraron que la resistencia a la flexión del MTA fue de 14.27 MPa cuando las muestras fueron expuestas a humedad después de 24 horas de tiempo de fraguado. Sin embargo, se ha encontrado que la resistencia a la flexión de Biodentine después de dos horas es de 34 MPa.¹⁵ La dentina natural agrega o integra los elementos liberados de los materiales bioactivos, calcio (Ca) y sílice (Si), y esta acción causa una modificación

estructural de la dentina, adquiriendo mayor resistencia. Se ha demostrado que esta incorporación de materiales en la dentina se da en mayor cantidad con el Biodentine que con el MTA.¹⁷ El hipoclorito de sodio es la solución ideal para lograr la hemostasia debido a que controla rápidamente el sangrado y al mismo tiempo desinfecta la cavidad. Biodentine mantiene un mejor comportamiento en presencia de diferentes irrigantes como el hipoclorito de sodio o la clorhexidina, mientras que el MTA ocurre una disminución en su fuerza de adhesión a la dentina, sobre todo en presencia de la clorhexidina (CHX).¹⁷ El ERRM, MTA y Biodentine mostraron diferentes resultados cuando se evaluaron cultivos de células de fibroblastos en un periodo de 24 y 48 horas. A las 24 horas, ambos materiales mostraron una mayor viabilidad celular. A las 48 horas, hubo una ligera disminución en la viabilidad celular. El MTA mostró un aumento significativo en la viabilidad celular en comparación con Endosequence Root Repair Material (ERRM) y Biodentine, esto quiere decir que el MTA muestra una mejor biocompatibilidad y puede estar indicado para sellar la comunicación entre el espacio periodontal y endodóntico.¹⁵

5. ASPECTOS METODOLÓGICOS

Este trabajo tipo revisión de literatura pretende hacer un recorrido por algunos aspectos básicos de los materiales biocerámicos. Para su elaboración, se partió de los conceptos presentados del artículo base; *Trujillo-Hernández M, Flores-Ventura RE, García-González L, Hernández-Torres J, Zamora-Peredo L, Suárez-Franco JL. Estudio comparativo de la bioactividad de dos materiales biocerámicos. Odovtos International Journal of Dental Sciences. 2019 Aug; 21(2):73-81.*

La revisión de información se basó en la búsqueda de información en revistas indexadas en MEDLINE®, SciELO, LILACS, Latindex, Google Scholar; con la utilización de descriptores como “biocerámicos”, “materiales biocerámicos”; “materiales biocerámicos en endodoncia”; “Biodentine”; “Mineral trioxide aggregate”; “MTA”; “biovidrios”; “Bioroot RCS”; “Endosequence Root Repair”; “Bioaggregate”; “MTA Fillapex”; “calcium silicate”; “tricalcium silicate”; en inglés y en español, de los cuales se seleccionaron 44 artículos que incluyen reportes de caso, ensayos clínicos, artículos originales, revisiones de literatura, se procedió a la lectura crítica y análisis de la información.

6. DISCUSIÓN

Los materiales biocerámicos se han incorporado al campo de la endodoncia con propiedades importantes e interesantes. Estos materiales han contribuido significativamente al aumento de las tasas de éxito en el tratamiento endodóntico. Actualmente, el vidrio bioactivo es una de las biocerámicas más utilizadas e investigadas en biomateriales en la endodoncia. Los biocerámicos son materiales cerámicos biocompatibles u óxidos metálicos con capacidad de sellado mejorada, actividad antibacteriana y antimicótica aplicada para ser usados en el campo de la medicina y la odontología³ cuyo prefijo “bio” se refiere a su biocompatibilidad.² Autores como Real et al.,⁹ definen el material bioactivo como ese material que incita una reacción orgánica particular en la interfaz del material, animando la recuperación de los tejidos vivos, debido a la unión enmarcada entre los tejidos vivos y el material.⁴⁶ Hakki et al.,²⁴ clasifican el material MTA repair como ni mutagénica ni neurotóxica, pero que tiene efectos calmantes sobre el tejido de puré, cementoso y osteoconductor. Se han descubierto nuevos materiales, por ejemplo, la corriente Ultradent MTA, que es biocompatible según lo indicado por Mondelli et al.,²⁵ ya que permite la multiplicación de fibroblastos, la disposición de colágeno y la recaída del procedimiento incendiario en el tejido subcutáneo a los 60 días. A pesar del hecho de que en el caso específico del MTA esto muestra una citotoxicidad más notable durante las 24, 48 y 72 horas después de la elución, en contraste con otros materiales biocerámicos, por ejemplo, BioRoot RCS, Totalfill BC Sealer como lo indica Camilleri et al.,²⁶ donde especifica que el MTA afecta negativamente la razonabilidad de las células dentales humanas puras, al igual que en los osteoblastos humanos y muestra impactos citotóxicos en células osteogénicas y

angiogénicas considerándose el material como no bioactivo. De esta manera, MTA no es bioactivo. Autores como Camilleri et al.,²⁶ sostienen que Biodentine es un material completamente nuevo en el mercado, clasificándolo como un posible sustituto dentinario completamente bioactivo. Es un sustituto dentinario bioactivo²⁷ a base de silicato tricálcico manufacturado por Septodont, Saint Maur des Fosses, producto de la innovación "Active Biosilicate Technology®" que vigoriza las células puras para formar una dentina receptiva, tiene propiedades mecánicas tanto a nivel coronario como radicular, sin un tratamiento superficial previo de los tejidos calcificados, está hecho con componentes minerales de alta inmaculación y no contiene monómeros, y es totalmente biocompatible.²⁷ Septodont et al.,²⁸ definen el material BioRoot RCS como un sellador para endodoncia recientemente introducido, basado en silicato tricálcico que se beneficia de la tecnología Active Biosilicate como Biodentine. Según Simon et al.,⁷ Biodentine está compuesto de silicato tricálcico agregado con óxido de circonio para mejorar la radiopacidad un polímero hidrófilo biocompatible mejorando la adhesión⁷ y excipientes¹⁸. El líquido contiene una solución acuosa de cloruro de calcio y policarboxilato²⁹. Park et al.,³⁰ manifiestan que el material biocerámico se considera una versión bastante modificada del MTA siendo el primer cemento de reparación de nanopartículas introducido en el mercado dental. De-Deus et al.,³¹ afirman que su uso en la endodoncia promueve la cementogénesis y forma un sellado hermético en el interior del sistema de conductos radiculares, aunque hay pocos estudios publicados que corroboran su eficacia. Autores como Hinbori et al.,³² recomiendan utilizar el material EndoSequence Root Repair como material de retrobturación demostrado por autores como Shi et al.,³³ afirmando que es un material adecuado para ser utilizado en cirugía endodóntica, así

también ha demostrado resultados favorables similares al MTA cuando se utiliza como agente de recubrimiento pulpar (otras recomendaciones de uso incluyen la formación de barreras apicales en situaciones en las que el ápice radicular este abierto, y reparación de perforaciones como lo afirma Charland et al.,³⁴ existen algunos estudios que explican acerca de la fuerza de unión de los selladores biocerámicos a las paredes de dentina con resultados variados. Según Simon et al.,³⁵ BioRoot RCS tiene una fuerza de unión similar a la de AH Plus⁹; mientras que el estudio realizado por Nagas et al.,³⁰ mostraron que la resistencia de unión de BioRoot RCS a la dentina radicular fue mayor que la de otros selladores en todas las condiciones de humedad³⁶. En cuanto a la resistencia de unión de Biodentine a la dentina radicular, esta es significativamente mayor a la del MTA, y aunque los irrigantes endodónticos no influyen en la resistencia al desprendimiento de Biodentine, la eliminación de la capa de barro dentinario si es perjudicial para la resistencia de la unión entre los cementos de silicato de calcio y la dentina.²⁵ Algunos de los problemas que plantea el MTA es su manipulación ya que necesita estar entrenado para conseguir la mezcla adecuada, así también como la dificultad para ser transportado y compactado en la cavidad. Frecuentemente, puede haber presencia de burbujas en algunas zonas de la interfase material-diente. La presencia de burbujas podría explicar la menor resistencia, especialmente en las muestras de 5 mm de grosor en algunos de los especímenes evaluados. En el estudio de Elnaghy,³⁷ se demostró que Biodentine™ presentaba una mayor resistencia que el MTA Angelus® Blanco (Londrina, Brasil). Se puede atribuir esta mayor resistencia mecánica a la diferencia en la composición del Biodentine™, ya que contiene otros radiopacificantes (óxido de zirconio en lugar de óxido de bismuto) y agentes de relleno como carbonato cálcico. De Deus et al.,³¹demostraron

que la resistencia mecánica de Biodentine™ aumenta con el tiempo. Simon et al.,³⁵ afirman que tanto el MTA Angelus® Blanco como la fórmula de MTA Angelus® han demostrado causar decoloración en la estructura dental con el tiempo, lo que lleva al fracaso estético del tratamiento. El óxido de bismuto, las trazas de metales pesados y el óxido férrico se han implicado en la decoloración. Los materiales más nuevos, como Endosequence Root Repair, BioRoot RCS, iRoot Sp y BioAggregate han eliminado el óxido de bismuto y los metales pesados de su composición. Estos materiales están compuestos principalmente por cementos trisilicatos y circonia como opacificantes, por lo que han mostrado menos o ninguna decoloración en comparación con MTA en varias investigaciones.³⁵ Los usos clínicos de la biocerámica han aumentado a lo largo de los años debido a su amplia gama de aplicabilidad en odontología restauradora y endodoncia. La introducción de MTA se consideró como un gran avance en la historia de la ciencia de los materiales y desde entonces las propiedades de este material se han improvisado para lograr sus máximos beneficios. Sin embargo, ha habido algunas limitaciones de este material que siempre han obligado a los investigadores de todo el mundo a buscar sus alternativas. Los materiales biocerámicos demuestran ser materiales muy prometedores que todavía necesitan investigaciones.

7. CONCLUSIÓN

Según la revisión de literatura de este proyecto de investigación, las conclusiones son:

- Los cementos biocerámicos Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS ofrecen una mayor versatilidad al momento de sellar conductos laterales o variaciones anatómicas que se pueden encontrar dentro de los conductos radiculares.
- Los materiales biocerámicos MTA Repair, Biodentine, EndoSequence Root Repair Material, Bioaggregate y BioRoot RCS son utilizados en perforaciones radiculares, grandes forámenes apicales y resorciones radiculares.
- Biodentine tiene mejores propiedades en comparación con el MTA en términos de fraguado. La presencia del acelerador en Biodentine da como resultado un fraguado más rápido, mejorando así propiedades de manejo y resistencia. Esta es una ventaja sobre el MTA el cual es de difícil manipulación y su tiempo de fraguado es lento conduciendo un mayor riesgo de pérdida de material y alteración de la interfaz durante la fase de finalización del procedimiento. Biodentine demostró mayor resistencia a la compresión y a la flexión en comparación con el MTA. Su manipulación es relativamente más fácil, alta biocompatibilidad y excelente bioactividad favoreciendo las ventajas de este material en comparación con MTA.
- No se encontraron diferencias significativas entre la capacidad de sellado de los diferentes cementos biocerámicos. Endosequence Root Repair Material presenta buena adaptación a la dentina, por lo que se recomienda para el tratamiento endodóntico. Bioaggregate muestra características beneficiosas como

biocompatibilidad, bioactividad, es antimicrobiano y antifúngico, estimula la diferenciación de osteoblastos e inhibe la formación de osteoclastos. Sin embargo, posee un tiempo de fraguado prolongado así como una resistencia a la unión más baja que la del MTA y su inestabilidad en cuanto al color en contacto con soluciones irrigantes. Endosequence Root Repair Material permite una fácil manipulación y presenta buenas propiedades biológicas aunque su microdureza se ve afectada en ambientes ácidos, por lo que no se recomienda en áreas inflamadas.

8. RECOMENDACIONES

Aunque las ventajas de estos materiales han contribuido a su rápida difusión en el área de la endodoncia, hoy en día, no son ampliamente utilizados, y comercialmente los productos disponibles en el mercado aún no son conocidos por muchos dentistas.

- Debido a las limitaciones de los estudios in vitro, se propone la realización de investigaciones in vivo.
- Se requieren más estudios respecto al tema de capacidad de sellado abarcando más aspectos referentes a la obturación, como por ejemplo; espesor del material y nivel de penetración en los túbulos dentinarios.
- Es necesario la realización de más estudios en humanos y a largo plazo para evaluar con más certeza todas las propiedades y características de estos tipos de materiales biocerámicos.

9. PROSPECTIVA

Dentro de los temas que pueden ser estudiados más adelante a partir de esta investigación se encuentran:

- Evaluar la radioopacidad de estos materiales.
- Analizar la composición química de los materiales biocerámicos mediante el uso de microscopios.
- Analizar la morfología del precipitado de hidroxiapatita.
- Comprobar si existe o no diferencia del tiempo de fraguado y trabajo.
- Evaluar la coloración resultante de estos materiales en ambientes húmedos y/o en presencia de sangre.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Trujillo-Hernández M, Flores-Ventura RE, García-González L, Hernández-Torres J, Zamora-Peredo L, Suárez-Franco JL. Estudio comparativo de la bioactividad de dos materiales biocerámicos. *Odvotos International Journal of Dental Sciences*. 2019 Aug; 21(2):73-81. <https://www.researchgate.net/publication/333244551>
2. Washio A, Morotomi T, Yoshii S, Kitamura C. Bioactive Glass-Based Endodontic Sealer as a Promising Root Canal Filling Material Without Semisolid Core Materials. *Materials*. 2019 Jan; 12(23):3967.
3. 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. *International endodontic journal*. 2016 Apr; 49(4):365-73.
4. Llanos-Carazas M. Evolución de los cementos biocerámicos en endodoncia. *CONOCIMIENTO PARA EL DESARROLLO*. 2019 Aug 6; 10(1):151-62. Disponible en: <https://revista.usanpedro.edu.pe/index.php/CPD/article/view/374>
5. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics—a review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*. 2017; 51(3 Suppl 1):S128.
6. Sanz JL, Rodríguez-Lozano FJ, Llena C, Sauro S, Forner L. Bioactivity of Bioceramic Materials Used in the Dentin-Pulp Complex Therapy: A Systematic Review. *Materials*. 2019 Jan; 12(7):1015.
7. Simon S, Flouriot AC. BioRoot™ RCS a new biomaterial for root canal filling. *J Case Studies Collection*. 2016; 13:4-11.

8. Geister, Álvaro. Cementos Selladores Biocerámicos. 2018 Disponible en: <https://www.clubensayos.com/Ciencia/CementosSelladoresBiocer%C3%A1micos/4531377.html>
9. Real Aparicio, María Constanza. "Comparison of the effectiveness of materials used as retrograde obturators in apical dental surgeries." *Revista del Nacional (Itauguá)* 11.2 (2019): 64-101.
10. Montero, Paloma. Cementos biocerámicos en endodoncia. Novedades e indicaciones. Espidient. 2017 Nov 15. Disponible en: <https://espidident.es/cementos-bioceramicos-en-endodoncia-novedades-e-indicaciones/>
11. Kaur M, Singh H, Dhillon JS, Batra M, Saini M. MTA versus Biodentine: review of literature with a comparative analysis. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR.* 2017 Aug; 11(8):ZG01. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5620936/>
12. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics-literature review. *Clujul Medical.* 2016; 89(4):470.
13. Badillo Perona V. Desarrollo y caracterización de dos materiales biocerámicos basados en β -CaSiO₃ (Wollastonita) para el tratamiento pulpar del diente temporal y permanente joven (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).
14. Mondelli, J. A. S., et al. "Biocompatibility of mineral trioxide aggregate flow and biodentine." *International endodontic journal* 52.2 (2019): 193-200.
15. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: biological perspectives and clinical applications. *Dental materials.* 2015 Apr 1; 31(4):351-70.

16. Loison-Robert, Ludwig Stanislas, et al. "In vitro effects of two silicate-based materials, Biodentine and BioRoot RCS, on dental pulp stem cells in models of reactionary and reparative dentinogenesis." *PloS one* 13.1 (2018).
17. Cedrés, Cecilia, Andrea Giani, and José Carlos Laborde. "Una Nueva Alternativa Biocompatible: BIODENTINE." *Actas Odontológicas (Publicación discontinuada)* 11.1 (2014): 11-15.
18. Shokouhinejad N, Nekoofar MH, Razmi H, Sajadi S, Davies TE, Saghiri MA, Gorjestani H, Dummer PM. Bioactivity of EndoSequence root repair material and bioaggregate. *International endodontic journal*. 2012 Dec; 45(12):1127-34. <https://www.researchgate.net/publication/229158884>
19. Yepes Delgado, Fanny Lucía, and César Augusto Castrillón Yepes. "Calcium Hydroxide As A Clinical Paradigm Is Surpassed By Mineral Trioxide Aggregate (MTA)." *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 25.1 (2013): 176-207.
20. Donnermeyer, David, et al. "Retreatability of three calcium silicate-containing sealers and one epoxy resin-based root canal sealer with four different root canal instruments." *Clinical oral investigations* 22.2 (2018): 811-817.
21. González Villafuerte AG. Análisis de la adaptación interfacial de cementos biocerámico, resinoso ya base de hidróxido de calcio mediante micro tomografía computarizada (Master's thesis, Quito: UCE). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17519>
22. Cuesta Zuccarelli, Luciana. "Estudio piloto de la aplicabilidad de Biodentine en la terapia pulpar de molares temporales." (2017).

23. Niu, L.; Jiao, K.; Wang, T.; Camilleri, J.; Bergeron, B.E.; Feng, H.-I.; Tay, F. 2014. NIH Public Access 6(5): 1– 31.
24. Hakki, S.S.; Bozkurt, B.S.; Hakki, E.E.; Belli, S. 2009. Effects of Mineral Trioxide Aggregate on Cell Survival, Gene Expression Associated with Mineralized Tissues, and Biomineralization of Cementoblasts. *Journal of Endodontics* 35(4): 513–519
25. Mondelli, J.A.S.; Hoshino, R.A.; Weckwerth, P.H.; Cerri, P.S.; Leonardo, R.T.; Guerreiro-Tanomaru, J.M.; Tanomaru-Filho, M.; da Silva, G.F. 2018. Biocompatibility of mineral trioxide aggregate flow and biodentine. *International Endodontic Journal*: 1–16.
26. Camilleri, J. Sealers and warm gutta-percha obturation techniques. *Journal of Endodontics* 41(1): 72–78. . 2015a.
27. Septodont. Biodentine – Instruction. 2015.
28. Septodont. 2017. BioRoot Instruction.
29. Siboni, F.; Taddei, P.; Zamparini, F.; Prati, C.; Gandolfi, M.G. 2017. Properties of bioroot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *International Endodontic Journal* 50(Special Issue 2): 120–136.
30. E. Nagas, M. O. Uyanik, A. Eymirli et al., “Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers,” *Journal of Endodontics*, vol. 38, no. 2, pp. 240–244, 2012.
31. De Deus G, Baptista Ferreira C, Silva Oliveira D, Fernandes Queros T, Miranda souza E, Depes de Gouvea CV, Nogueira Leal Silva E. Resistance of Hydraulic

Calcium Silicate Cements to Dislodgment in Short- and Long-term Assessment. *J Adhes Dent* 2016; 18: 157–160.

32. Hinbori N, Grama AM, Patel Y, Woodmansey K, He J. Clinical outcome of endodontic microsurgery that uses EndoSequence BC root repair material as the root-end filling material. *J Endod*. 2015; 41(5):607–12.
33. Shi S, Bao ZF, Liu Y, Zhang DD, Chen X, Jiang LM, et al. Comparison of in vivo dental pulp responses to capping with iRoot BP Plus and mineral trioxide aggregate. *Int Endod J*. 2016; 49(2):154–60.
34. Charland T, Hartwell GR, Hirschberg C, Patel R. An Evaluation of Setting Time of Mineral Trioxide Aggregate and EndoSequence Root Repair Material in the Presence of Human Blood and Minimal Essential Media. *J Endod*. 2013; 39(8):1071–2.
35. Simon, S.; Flouriot, A.-C. A new biomaterial for root canal filling Bioceramics properties. 2016. 1-8
36. Beast S, Porter A, Thian E, Huang J. Bioceramics: Past, present and for the future, *Journal of the European Ceramic Society*(2008); 28: 1319–1327
37. Elnaghy A. Influence of Acidic Environment on Properties of Biodentine and White Mineral Trioxide Aggregate: A Comparative Study. *J Endod* 2014; 40(7): 953-957.
38. Jeeruphan T, Jantararat J, Yanpiset K, et al. Mahidol Study 1: comparison of radiographic and survival outcomes of immature teeth treated with either regenerative endodontic or apexification methods: a retrospective study. *J Endod* 2012; 38:1330–1336.

39. Moore A, Howley MF, O'Connell AC. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dental Traumatology*. 2011 Jun; 27(3):166-73.
40. Ortolani Seltenerich PS. Evaluación del efecto de los selladores con base de biosilicatos en células madre de origen dental. <https://core.ac.uk/download/pdf/71056451.pdf>
41. Kosev D, Stefanov V. Ceramic-based sealers as new alternative to currently used endodontic sealers, *Roots International Magazine of Endodontology* (2009); 1:42-48.
42. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *Journal of dentistry*. 2013 Jul 1; 41(7):600-10.
43. Hench L. The story of Bioglass®, *J Mater Sci: Mater Med* (2006);17:967–978
44. Malhotra S, Hedge M, Shetty C. Bioceramic Technology in Endodontics, *British Journal of Medicine & Medical Research* (2014); 4(12): 2446-2454
45. Koch K, et al. A review of bioceramic technology in endodontics, *Roots International Magazine of Endodontology* (2013); 1: 6-13.
46. Koch K, et al. Bioceramics, Part I: The Clinician's Viewpoint, *Dentistry Today* (2012); 1: 130-136 7. Brave D, et al. A review of bioceramics technology in endodontics, *C.E. Article* (2012); 4: 6-12.
47. Herrera Sánchez CM. Uso de tres cementos de sellado endodóntico (biocerámico, resinoso y de hidróxido de calcio) para determinar la microfiltración apical; estudio in vitro (Bachelor's thesis, Quito: UCE). <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/17519>

48. Facchin Soto CV. Efecto de los cementos biocerámicos como barrera cervical en la estabilidad del color coronal. Estudio in vitro. <http://www.riuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/7171>
49. Camilleri J, Sorrentino F, Damidot D. Investigation of the hydration and bioactivity of radiopacified tricalcium silicate cement, Biodentine and MTA Angelus. *Dental Materials*. 2013 May 1; 29(5):580-93.
50. Morales-Cáceres LF, Reyes-Montenegro SI, Álvarez-Vanegas SJ, Hernández-Vigueras S. Resistencia a la Fractura de Dientes Tratados Endodónticamente Obturados con Selladores Biocerámicos Versus Selladores Resinosos. Revisión Sistemática. *International journal of odontostomatology*. 2019 Mar;13(1):31-9.. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718381X2019000100031&script=sci_ar_text&tlng=p
51. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *BioMed research international*. 2014;2014. <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/160951/?viewtype=print&viewclass=print.pdf>
52. Sanghavi T, Shah N, Shah RR. Comparative Analysis Of Sealing Ability Of Biodentin And Calcium Phosphate Cement Against Mineral Trioxide Aggregate (Mta) As A Furcal Perforation Repair Material (An In Vitro Study). *National journal of integrated research in medicine*. 2013 May 1; 4(3).
53. Brenes LR, Chacón AM. Comparación de la microfiltración de tres materiales biocerámicos en obturaciones retrodentarias: Estudio in vitro. *Odontología Vital*. 2014 Jul 1; 2(21):37-44.

54. Altamirano J, Karina D. Manejo clínico endodóntico de la reabsorción dentinaria interna en un incisivo lateral superior. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/11229>
55. Damián-Morales R, Jacinto-Alemán LF, Portilla-Robertson J, Mendoza-Espinosa BI, Tinajero-Morales C. Evaluación de la citotoxicidad de Biodentine, IRM y MTA en cultivos de fibroblastos del ligamento periodontal humano. *Revista ADM*. 2019 Mar 1;76(2):72-6. <http://132.248.76.197/sites/default/files/inline/files/4234%20Evaluación%20de%20la%20citotoxicidad.pdf>
56. Gurel M, Demiryurek E, Ozyurek T, Gulhan T. Antimicrobial activities of different bioceramic root canal sealers on various bacterial species. *International Journal of Applied Dental Sciences*. 2016; 2(3):19-22.
57. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*. 1993; 19:541-544.
58. Poggio, C.; Dagna, A.; Ceci, M.; Meravini, M.V.; Colombo, M.; Pietrocola, G. 2017. Solubility and pH of bioceramic root canal sealers: A comparative study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry* 9(10): 1189–1194
59. Park J-W, Hong S-H, Kim J-H, Lee S-J, Shin S-J. X-Ray diffraction analysis of White ProRoot MTA and Diadent BioAggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2010; 109(1):155–8.
60. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endodontic topics*. 2015 May; 32(1):3-0.

