



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**BIOCERÁMICOS: EFECTOS BIOLÓGICOS Y  
APLICACIONES CLÍNICAS, REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

**T E S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**CIRUJANA DENTISTA**

**P R E S E N T A:**

**ROSALIA REYNA VALLEJO**

**TUTOR: Esp. ALEJANDRA RODRÍGUEZ HIDALGO**

**ASESOR: Esp. RICARDO ALFONSO ENRIQUE WILLIAMS  
VERGARA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

### **Dedicatorias.**

A mis hijas Renée y Arrojalí, por ser el motivo, mis compañeras de estudio y  
por el amor y la paciencia.

A mi madre, por enseñarme a seguir siempre adelante.

A mi hermana, por la ayuda y amor.

A mi abuela, por la fuerza.

## **Agradecimientos.**

A mi tutora, Esp. Alejandra Rodríguez Hidalgo y a mi Asesor, Esp. Ricardo Alfonso Enrique Williams Vergara, por el tiempo, apoyo y paciencia.

A Karen Meza, por ser mi compañera de carrera, de estudios, maestra, colega y amiga.

A todos mis profesores, por el apoyo, paciencia y dedicación.

A la UNAM, mi querida casa de estudios, por el cobijo.

A dios, porque a pesar de ser una meta cuesta arriba nunca me soltó.

# **BIOCERÁMICOS: EFECTOS BIOLÓGICOS Y APLICACIONES CLÍNICAS, REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.**

## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVO GENERAL.....	2
3.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	2
4.	DEFINICIÓN DE BIOCERÁMICOS.....	3
5.	ANTECEDENTES. ....	5
6.	CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.....	8
7.	ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS (MECANISMO DE ACCIÓN).....	14
8.	PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.....	18
8.1	Expansión.....	19
8.2	Fuerza compresiva. ....	19
8.3	Radiopacidad.....	20
8.4	Fraguado. ....	20
8.5	Liberación de iones de calcio.....	20
8.6	Propiedades alcalinas.....	21
8.7	Fluidez. ....	21
9.	PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.....	21
9.1	Biocompatibilidad.....	22
9.2	Bioactividad y Biomineralización.....	23
9.3	Capacidad antibacteriana. ....	25

10.	APLICACIONES DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.....	26
10.1	Tratamiento de perforaciones.....	27
10.2	Resorción radicular.....	33
10.3	Obturación retrógrada.....	37
10.4	Formación radicular incompleta.....	41
10.5	Recubrimiento pulpar.....	42
10.6	Pulpotomía y revascularización.....	47
10.7	Cemento sellador.....	48
11.	DISCUSIÓN.....	50
12.	CONCLUSIÓN.....	52
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

# 1. INTRODUCCIÓN.

La innovación e investigación constante de nuevos materiales en el área médica que puedan proporcionar beneficios en los pacientes brinda al profesional médico una oportunidad enorme para contar con recursos a la mano que coadyuven en sus tratamientos, y más aún si éstos tienen capacidad regenerativa; tal es el caso de los materiales biocerámicos cuyo objetivo inicial fue la reconstitución y regeneración ósea, sin embargo sus características únicas los hicieron ideales para aplicaciones en el área odontológica.

Al hablar de biocerámicos, obligatoriamente requerimos remontarnos al término “biomaterial”, si bien lo podemos definir a partir de su etimología: bios = vida y material =sustancia, el significado va más allá de lo que pudiera sugerir ésta definición. Es un término acuñado en el área médica en los años sesenta como: “material empleado en un dispositivo médico con el fin de interactuar con sistemas biológicos”. Sin embargo, no es sino hasta que se empezaron a conocer sus propiedades y cualidades derivadas de su uso, que éste término se amplió y se ha ido modificando desde entonces. Hasta la llegada de los materiales biocerámicos, materiales biocompatibles que han mostrado propiedades estables en entornos biológicos, no tóxicas pero sobre todo con capacidades de inducción de proliferación mineral, cualidad que los ha hecho ideales para su uso en la rama odontológica.

Los materiales biocerámicos derivan del cemento Portland del que dentro de sus componentes se encuentran: sílice, aluminio, hierro y magnesio; el uso de éste cemento se remonta desde la época romana en dónde era ampliamente utilizado en todo tipo de construcciones pero sobre todo puentes y acueductos, debido a su capacidad de fraguado aún en ambientes húmedos.

No es sino hasta los años noventa que se da el auge del uso en odontología de un derivado del cemento Portland: Agregado de Trióxido Mineral (MTA), siendo éste el gran precursor de una vasta variedad de cementos biocerámicos con los que contamos en la actualidad.

Evidencia científica reciente muestra que los materiales a base de silicato de calcio tienen la capacidad de fraguar en presencia de humedad, así como inducir la proliferación de fibroblastos y permitir la diferenciación de células de la pulpa dental, osteoblastos, células madre mesenquimatosas y cementoblastos, lo que puede inducir también a una reparación periapical. Debido a éstas razones los biocerámicos se han clasificado en tres categorías:

**a. Bioinertes**, capaces de rellenar tejidos y ser tolerados por el organismo.

**b. Bioactivos**, tolerados por el organismo con capacidad de osteoconducción y que establecen una fuerte unión con el tejido óseo; y

**c. Biodegradables**, con capacidad de ser degradados en ambiente biológico y reemplazados por tejido duro.

Independiente a las cualidades biológicas que los materiales biocerámicos han demostrado poseer, también cuentan con propiedades físico-químicas que los hacen ideales para su uso en el área odontológica como son una fuerza de unión suficiente para evitar longitudes de interfase indeseables, radiopacidad necesaria para ser identificados en estudios radiográficos, un tiempo de fraguado deseable que brinda al operador el tiempo necesario para su manipulación, estabilidad dimensional apta, que coadyuva al sellado necesario para evitar filtraciones y consecuentes contaminaciones en las piezas dentales tratadas, un pH lo suficientemente alcalino para mantener el medio inerte, y una resistencia a la fractura adecuada para las fuerzas ejercidas en el medio bucal.

A partir de estas propiedades es que se ha tratado de obtener el mayor provecho de los materiales biocerámicos para sus aplicaciones entre las que actualmente se encuentran:

1. Obturación retrógrada.
2. Tratamiento de perforaciones.
3. Resorciones radiculares.
4. Obturación retrógrada.
5. Formación radicular incompleta.
6. Recubrimiento pulpar.
7. Pulpotomía y revascularización; y
8. Uso como cemento sellador.

Actualmente en el mercado se puede disponer de una amplia variedad de materiales biocerámicos en dos principales presentaciones, aquellos que requieren ser mezclados previo a su colocación y los que ya vienen premezclados y no requieren mayor manipulación. Aún continúan siendo estudiadas y observadas las cualidades de éstos materiales, hasta ahora con buenos resultados y con una gran expectativa.

## **2. OBJETIVO GENERAL.**

Explicar las cualidades biológicas de los materiales biocerámicos para fundamentar sus aplicaciones clínicas a partir de una revisión bibliográfica.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Explicar qué son los materiales biocerámicos.
- Describir su interacción con el tejido dental.
- Describir sus aplicaciones clínicas.



## 4. DEFINICIÓN DE BIOCERÁMICOS.

A lo largo de décadas se ha realizado una constante redefinición de los materiales biocerámicos, lo que obedece al hecho de que su introducción en el área médica es relativamente reciente aunque su estudio y propiedades han venido siendo observadas con muchos años de antelación como se verá más adelante.

Para tener una mejor perspectiva de lo que son los materiales biocerámicos y entender su definición es necesario referirnos y conocer el término: Biomateriales. Si bien resulta sencillo definir éste término desde su origen etimológico, Bios=vida (vocablo griego), material=elemento, sustancia o ingrediente en algunos compuestos (1), su connotación tiene un mayor alcance. De acuerdo al diccionario de la Real Academia Española (RAE) “un biomaterial, es un material que el organismo está en condiciones de tolerar”, sin embargo, la integración de elementos importantes para construir una definición completa de biomaterial resulta necesaria para identificar la relación que tiene con los biocerámicos.

Desde una perspectiva médica los biomateriales pueden ser: (2)

- a) **Sintéticos:** como metales, polímeros, cerámicos y composites.
- b) **Derivados naturales:** de plantas y animales.
- c) **Semi-sintéticos o materiales híbridos.**

De acuerdo a lo anterior entendemos que si bien el biomaterial como lo define la RAE es un material, ahora sabemos también que éste puede tener un origen natural o sintético.

Inicialmente los biomateriales fueron considerados únicamente de origen sintético, pero como ha quedado establecido, su uso fue lo que marcó pauta para que otro tipo de materiales quedaran considerados dentro de este rubro. Y su principal propósito fue considerado para ser explotado en el área médica dentro de un sistema biológico ya fuera de manera directa o indirecta. (3)

La primera definición médica y estructurada de “biomateriales” aparece en los años noventa y fue realizada por Williams (1987): “material inocuo usado en un servicio médico, destinado a interactuar con sistemas biológicos”, pero no es hasta que se amplía el uso de estos, y que se empiezan a observar sus propiedades, que el término se va definiendo con base en ello. Actualmente desde una perspectiva de cuidado de salud se les define como:

“Cualquier material natural o sintético destinado a ser introducido en un tejido vivo, especialmente como parte de un elemento quirúrgico o implante.” (3)

“Materiales que poseen algunas propiedades nobles que los hace apropiados para estar en contacto inmediato con tejido vivo sin provocar alguna reacción adversa o rechazo por parte del sistema inmune” <sup>(2)</sup>

En otro tenor, los materiales cerámicos de acuerdo a The Clay Minerals Society (Sociedad de minerales Arcillosos), se definen como “Material producto de diversas materias primas, especialmente arcillas, que se fabrican en forma de polvo o pasta y que al someterlo a cocción sufre procesos físico-químicos por los que adquiere consistencia pétrea”

Las propiedades que éste tipo de materiales poseen son:

- Comparados con los metales y plásticos son duros, no combustibles y no oxidables.
- Dureza, lo que los hace un material ampliamente utilizado como abrasivo y como puntas cortantes de herramientas.
- Gran resistencia a altas temperaturas, con gran poder de aislamiento térmico y, también, eléctrico.
- Gran resistencia a la corrosión y a los efectos de la erosión que causan los agentes atmosféricos.
- Alta resistencia a casi todos los agentes químicos.

De acuerdo a lo anterior e integrando ambos conceptos, concebimos a los materiales biocerámicos como un biomaterial, primero porque es un material ajeno a un organismo cuya función principal es desempeñar un rol tendiente al restablecimiento de la salud de dicho organismo y segundo porque su inocuidad lo convierte en un elemento que cumple con uno de los principios de los biomateriales, y por último dentro de la clasificación de biomateriales, tenemos que los materiales cerámicos se encuentran entre aquellos que tienen un origen sintético. Se definen como:

“Materiales cerámicos, inorgánicos, no metálicos y biocompatibles diseñados para uso médico y odontológico, están constituidos por alúmina, zirconio, vidrio bioactivo, cerámica de vidrio, silicato de calcio, hidroxiapatita y fosfatos de calcio reabsorbibles. <sup>(4)</sup>

“Materiales cerámicos con una composición química tal que poseen la propiedad de inducir y conducir la mineralización de los tejidos.” <sup>(5)</sup>

Con objeto de obtener un panorama más amplio de este tipo de materiales, a las anteriores definiciones debemos agregar que de acuerdo a la interacción que tienen con los tejidos se pueden clasificar como:

- **Bioinertes:** No interactúan con los sistemas biológicos (alúmina y zirconio producen una respuesta insignificante en el tejido circundante).

- **Bioactivos:** Son aquellos que no se degradan pero interactúan con el tejido circundante (vidrio, fosfato de calcio, hidroxiapatita).

- **Biodegradables:** Son solubles o reabsorbibles <sup>(4)</sup>.

Este tipo de materiales fue desarrollado como se verá más adelante, como producto de la necesidad de obtener un sellado tridimensional en el sistema de conductos en endodoncia, sin embargo sus características únicas y su capacidad regenerativa abrieron múltiples opciones de aplicaciones y usos, tanto que a la fecha se encuentran en varias marcas y presentaciones, y su desarrollo e investigación continúa siendo observada.

## 5. ANTECEDENTES.

El mayor reto en materia endodóncico siempre ha sido lograr un sellado tridimensional en el sistema de conductos, aunado a la eliminación de un ambiente que favorezca el desarrollo bacteriano y de ser posible estimular una reparación ósea, todo ello, con objeto de evitar un fracaso en el tratamiento endodóncico y en el peor de los casos la pérdida de la pieza sujeta al tratamiento, aunque esto no se puede llevar a cabo en todos los casos, primero por las dificultades que nos presenta la anatomía del sistema de conductos y dental, y segundo porque los materiales de los cuales disponemos para realizar el sellado no siempre cumplen con las características completas que deberían poseer; con el advenimiento de los BC éstas metas se están alcanzando y no solo eso sino que están favoreciendo a que se dé una importante reparación tisular. Para el caso de los selladores, las propiedades ideales que se buscan en ellos son ya bien conocidas y de acuerdo con Grossman: <sup>(15)</sup>

1. Deben proporcionar adhesión entre el material y la pared del conducto al fraguar.
2. Deben producir un sellado hermético.
3. Ser radiopaco de manera que se observe radiográficamente.
4. Poseer una facilidad de manipulación.
5. Poseer estabilidad dimensional.
6. No debe pigmentar la estructura dental.
7. Debe ser bacteriostático.
8. Brindar un tiempo de trabajo adecuado que permita su manipulación y colocación sin dificultad.
9. Insoluble al medio bucal.
10. Debe ser biocompatible.
11. No tóxico.
12. Soluble, de manera que permita ser retirado con facilidad en caso de ser necesario.

En el ámbito médico siempre se ha mantenido un crecimiento en la innovación y desarrollo de nuevos materiales tendientes a sanar y reparar el cuerpo humano, los materiales biocerámicos (BC) no fueron ni son la excepción. Si bien forman parte de los llamados “biomateriales” (cuyo más antiguo registro se tiene cerca del 3000 a.C. con suturas de lino encontradas en momias en Egipto <sup>(6)</sup>, los BC tienen una más reciente aparición.

Sin embargo, de acuerdo a los antecedentes presentes en la literatura, los BC derivan del cemento Portland y éste tiene una historia más antigua en la historia humana.

Hacia el año 500 a. C., los griegos utilizaban en sus construcciones una mezcla de materiales provenientes de depósitos volcánicos, con caliza, agua y arena. Este mortero ofrecía los mejores niveles de resistencia. Tiempo después, para el siglo II a. C., en la región de Pozzuoli (cerca del Vesubio), los romanos desarrollaron el llamado cemento romano o puzolánico a partir de la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico o cenizas volcánicas (lo que hoy se conoce como puzolana). <sup>(10)</sup>

La puzolana contiene sílice y alúmina, que al combinarse químicamente con la cal da como resultado el cemento puzolánico; material que ha demostrado tener un gran desempeño, tanto respecto a su resistencia como a su durabilidad. Como ejemplos de construcciones en donde se empleó este material, se encuentran el Coliseo Romano edificado en el año 82 a. C., y el Teatro de Pompeya, edificado hacia el año 75 a. C. <sup>(10)</sup> Muchos años después es que se lograría mejorar las características de éste cemento y su subsecuente incursión en el área médica como precursor de los BC. Pero la mayor cualidad que demostró poseer éste material, fue que fraguaba aún en medios húmedos.

El descubrimiento de la composición ósea, dental y otro tipo de tejidos calcificados es realizada en 1769 por el químico y metalúrgico sueco Johan Gottlieb Gahn y no es hasta el año 1771 que el químico farmacéutico sueco-alemán Carl Wilhelm Scheele la da a conocer, <sup>(7)</sup> pero la importancia de éste hecho es que por primera vez se destaca al fosfato de calcio como componente del tejido duro en los seres vivos, para años después, formar a su vez, el principal componente de los materiales biocerámicos. A partir de éste momento se dan una serie de sucesos que conllevan a la aparición de lo que hoy conocemos como cementos biocerámicos:

**1750** (aprox). James Parker crea un cemento de manera accidental, al quemar unas piedras calizas. Este descubrimiento fue bautizado como cemento romano porque entonces se pensaba que era el que se había utilizado en los tiempos de esta civilización, empezando a ser usado en diversas obras en el Reino Unido. <sup>(10)</sup>

**1824.** Joseph Aspdin y James Parker patentaron el primer Cemento Portland, obtenido a partir de caliza arcillosa y carbón calcinados a alta temperatura. <sup>(10)</sup>

**1807.** Se desarrollan varios procesos de preparación de deficiencia de calcio hidroxapatita. <sup>(7)</sup>

**1808.** Nicholson reporta las diferencias entre los tejidos duros que componen el cuerpo humano: esmalte, dentina, hueso. <sup>(7)</sup>

**1814.** Se establecen los principios generales de la formación ósea y dental (mineralización). <sup>(7)</sup>

**1827.** El mineralogista alemán Gustav Rose da a conocer la composición química de las apatitas. <sup>(7)</sup>

**1832.** Se introduce por primera vez el término “fosfato trifásico”, correspondiente al término ocupado en la actualidad. <sup>(7)</sup>

**1845.** Isaac Johnson, mejora el proceso de obtención del cemento Portland aumentando la temperatura de calcinación, obteniendo con ello, el prototipo del cemento moderno, por ésta razón se le conoce como el padre moderno del cemento Portland. <sup>(10)</sup>

**1872.** Junios Cravens mezcla polvo de fosfato de calcio con ácido láctico y lo aplica en tejido pulpar expuesto. Mezcla que sería comercializada por S.S. White Company (Lakewood, NJ, USA), con el nombre comercial “cemento de Lacto Fosfato” el cual fue considerado como el primer reporte de biocomposite artificial basado en fosfato de calcio considerado un biomaterial híbrido. <sup>(7)(8)</sup>

**1920.** Se realiza primer implante a base de fosfato de calcio como material quirúrgico en reparación de fracturas de hueso en conejos de laboratorio, en el que se observó un crecimiento óseo más rápido. <sup>(7)</sup>

**1930.** Se reporta la estructura cristalina de las apatitas. <sup>(7)</sup>

**1931.** Se define el fenómeno de la osteoinducción a partir de experimentos previos en los que el fosfato de calcio era inyectado en brechas de fracturas de conejos. <sup>(7)</sup>

**1948.** Se establece que sólo ciertos tipos de fosfatos de calcio inducen osteoconducción. <sup>(7)</sup>

**1952.** Per-Ingvar Brånemark acuña el término oseointegración mediante un experimento en el que utiliza un implante óptico de titanio para estudiar el flujo sanguíneo en hueso de conejos, y al finalizar el experimento notó que el

hueso se había integrado al implante, tanto que éste no podía ser removido.<sup>(7)</sup>

**1969.** Larry Hench, en busca de un material que pudiera unirse al hueso, desarrolla lo que se conoció como “vidrios bioactivos” (vidrios de silicato), que tiempo después (1985) se comercializó con el nombre de Bioglass®.<sup>(5)</sup>

A partir de éste momento se da el auge importante de los materiales biocerámicos proyectados para ser usados en el área dental sobre todo en endodoncia por las propiedades regenerativas que presentaban.

En **1993** El Dr. Torabinejad desarrolló el primer cemento biocerámico a base de trióxido mineral agregado (MTA, ProRoot Dentsply) para el sellado de perforaciones accidentales del conducto radicular.<sup>(9)</sup> A Partir de entonces se le consideró como un cemento bioactivo cuya capacidad principal era inducir la formación de tejido mineralizado el cual podría rellenar defectos como perforaciones, inicialmente fue pensado y usado en obturaciones retrógradas en cirugías apicales, posteriormente se amplió su uso para el tratamiento de ápices inmaduros.

Su mecanismo de acción se basa en la liberación de iones calcio que activan la adhesión y proliferación celular, además de contar con un pH elevado que inhibe el crecimiento bacteriano.<sup>(9)</sup>

Posteriormente debido a la pigmentación que provocaba en las piezas dentales, aparece ProRoot MTA White®, al cual se le eliminó el hierro para evitar la mencionada pigmentación; MTA Angelus®, 2009 Biodentine® cuyas características superaron al MTA en su versión inicial, ya que presenta una mayor resistencia a la compresión, alta fuerza de adhesión y capacidad de sellado, su liberación de iones resultó superior a otros cementos a base de silicato de calcio y el tiempo de fraguado resultó mucho más corto; entre otros.

También se desarrollaron cementos selladores a base de materiales biocerámicos, cuyo principal propósito es la obturación de los conductos radiculares en combinación con gutapercha.

## **6. CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.**

A partir de la aparición de los materiales biocerámicos en el mercado, son 2 las principales presentaciones de las que se pueden disponer:

1. Biocerámicos Bifásicos, requieren ser mezclados (polvo-líquido).
2. Biocerámicos premezclados, no requieren ser mezclados para su manipulación.

## Biocerámicos Bifásicos disponibles en el mercado:

**Abreviaturas:** **PC-** recubrimiento pulpar y pulpotomía; **Ag-** apicogénesis; **REA-** apicectomía y obturación retrógrada; **RCS-** sellador de conductos; **RP-** perforaciones y reabsorciones radiculares; **Af-** apexificación.

MARCA COMERCIAL	PRODUCTO	ADITIVOS	TIEMPO FRAG.	TIEMPO TRAB.	VEHÍCULO	RADIO-PACIFICADOR	USOS	PIGMENTACIÓN
<b>Pro ProRoot MTA gris</b> (Dentsply, Tulsa Dental, Johnson, USA).	 <p>(Dentsply Sirona, 2021)</p>	Silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto tricálcico, aluminato, sulfato de calcio dihidratado o yeso, aluminoferrito de calcio.	5 min	4 hrs	Agua	Óxido de bismuto	Pc, Ag, REA, RP, Af	Si
<b>ProRoot MTA blanco</b> (Dentsply, Tulsa Dental, Johnson, USA).	 <p>(Dentsply Sirona, 2021)</p>	Silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto tricálcico, aluminato, sulfato de calcio dihidratado o yeso	5 min	4 hrs	Agua	Óxido de bismuto	Pc, Ag, REA, RP, Af	si
<b>MTA Angelus gris</b> (Angelus Londrina PR, Brasil).	 <p>(Angelus, 2021)</p>	Silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto tricálcico, aluminato, óxido de calcio, óxido de aluminio, dióxido de silicio.	10 min	80 min	Agua	Óxido de bismuto	Pc, Ag, REA, RP, Af	Si
<b>MTA Angelus blanco</b> (Angelus Londrina PR, Brasil).	 <p>(Ayushi Density, 2021)</p>	Silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de bismuto tricálcico, aluminato, óxido de calcio, óxido de aluminio, dióxido de silicio.	10 min	80 min	Agua	Óxido de bismuto	Pc, Ag, REA, RP, Af	Si

<p><b>MTA Angelus HP</b> (Angelus Londrina PR, Brasil).</p>	 <p>(Pareja Lecaros , 2021)</p>	<p>Silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de calcio, tungstato de calcio.</p>	<p>5 min</p>	<p>15 min</p>	<p>Agua y plastificante</p>	<p>Tungstato de calcio</p>	<p>Pc, Ag, REA, RP, Af</p>	<p>no</p>
<p><b>MTA Angelus Fillapex</b> (Angelus Londrina PR, Brasil).</p>	 <p>(Universum Dental, 2021)</p>	<p>Resina de salicilato, resina diluida, resina natural, trióxido de bismuto, nano partículas de sílice, MTA, pigmentos.</p>	<p>130 min</p>	<p>2 min</p>	<p>no aplica</p>	<p>Trióxido de bismuto</p>	<p>RCS, Af</p>	<p>si</p>
<p><b>Endo-Eze MTAFlow</b> (Ultradent, South Jordan, Utah, USA)</p>	 <p>(Ultradent, 2021)</p>	<p>Silicato tricálcico, silicato dicálcico, sulfato de calcio, sílice, trióxido de bismuto.</p>	<p>15 min</p>	<p>15 min</p>	<p>Gel soluble en agua a base de silicona</p>	<p>Trióxido de bismuto</p>	<p>PC, REA, Af, RP</p>	<p>si</p>
<p><b>Biodentine Septodont</b>, Saint-Maurdes-Fossés, Francia)</p>	 <p>(Dental Cost, 2021)</p>	<p>Silicato tricálcico, carbonato de calcio, óxido de calcio, óxido de zirconio.</p>	<p>6 min</p>	<p>9 min</p>	<p>Solución acuosa de cloruro de calcio y policarboxilato modificado.</p>	<p>Óxido de zirconio</p>	<p>Pc, Ag, REA, RP</p>	<p>si</p>
<p><b>Bioroot RCS Septodont</b>, Saint-Maurdes-Fossés, Francia)</p>	 <p>(Imfohsa Dental Center, 2021)</p>	<p>Silicato tricálcico, óxido de zirconio, povidona.</p>	<p>10 min</p>	<p>4 hrs</p>	<p>Solución acuosa de cloruro de calcio y policarboxilato.</p>	<p>Óxido de zirconio</p>	<p>RCS</p>	<p>no</p>



<p><b>MTA CPM</b> (EGEO SRL, Buenos Aires, Argentina).</p>	 (EGEO Dental, 2021)	<p>Silicato tricálcico, óxido tricálcico, aluminato tricálcico y otros óxidos.</p>	<p>15 min</p>	<p>27 min</p>	<p>Solución salina y cloruro de calcio</p>	<p>Trióxido de bismuto</p>	<p>Pc, Ag, REA, RP, Af</p>	<p>si</p>
<p><b>Tech BioSealer Endo</b> (Isasan SRL, Revello Porro, Italia).</p>	 (Franco Dental, 2021)	<p>Mezcla de cementos blancos, sulfato de calcio, óxido de bismuto, montmorillonita, fluoruro de sodio.</p>	<p>Sin información</p>	<p>Sin información</p>	<p>Solución salina fosfatada.</p>	<p>Óxido de bismuto</p>	<p>RP, RCS, Af</p>	<p>si</p>
<p><b>Retro MTA</b> (BioMTA, Seoul, Republic of Korea)</p>	 (Pearson Dental, 2021)	<p>Silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica, óxido de bismuto.</p>	<p>630 min</p>	<p>180 seg</p>	<p>Agua desionizada.</p>	<p>Óxido de bismuto</p>	<p>REA, RP</p>	<p>si</p>
<p><b>Ortho MTA</b> (BioMTA, Seoul, Republic of Korea)</p>	 (Denta Carts.com, 2021)	<p>Silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica,.</p>	<p>150 seg</p>	<p>15 seg</p>	<p>Agua desionizada.</p>	<p>óxido de bismuto</p>	<p>RCS, Af</p>	<p>si</p>
<p><b>Ledermix MTA</b> (Riemser, Riems, Alemania)</p>	 (Wawibox, 2021)	<p>Silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica, terroaluminato tricálcico, óxido de calcio.</p>	<p>15 min</p>	<p>15 min</p>	<p>Agua</p>	<p>Óxido de bismuto</p>	<p>Pc, Ag, REA, RP, Af</p>	<p>no</p>

## Biocerámicos premezclados disponibles en el mercado:

MARCA COMERCIAL	PRODUCTO	ADITIVOS	TIEMPO FRAG.	TIEMPO TRAB.	RADIO-PACIFICA DOR	USOS	PIGMENTACIÓN
<b>TotalFill BC Sealer (FKG Dentaire SA La Chaux-de-Fonds, Suiza).</b>	 (redev, 2021)	Óxido de zirconio, silicato de calcio, fosfato monocálcico, hidróxido de calcio, agentes de relleno y espesantes.	4 hrs	4 hrs	Óxido de bismuto	RCS	no
<b>TotalFill BC RRM Paste (FKG Dentaire SA La Chaux-de-Fonds, Suiza).</b>	 (AMERICAN Dental Systems, 2021)	Silicatos de calcio, óxido de zirconio, óxido de tántalo, fosfato de calcio monobásico.	2 hrs min	30 min	Óxido de zirconio	Pc, Ag, REA, RP, Af	no
<b>TotalFill BC RRM Putty (FKG Dentaire SA La Chaux-de-Fonds, Suiza).</b>	 (FKG swiss endo, 2021)	Silicatos de calcio, óxido de zirconio, óxido de tántalo, fosfato de calcio monobásico.	2 hrs	30 min	Óxido de zirconio	Pc, Ag, REA, RP, Af	no
<b>BIO-C Sealar (Angelus Londrina PR, Brasil).</b>	 (Prodontomed, 2021)	Silicato de calcio, aluminato de calcio, óxido de calcio, óxido de zirconio, óxido de hierro, dióxido de silicio y agente de dispersión.	120 min	60 min	Óxido de zirconio	Pc, Ag, REA, RP, Af	no
<b>CeraSeal (Meta Biomed Korea)</b>	 (Meta Biomed, 2021)	Silicato de calcio, aluminato de calcio y óxido de calcio, óxido de zirconio, óxido de hierro, dióxido de silicio.	3.5 hrs	3.5 hrs	Sin información.	RCS, Af	Sin información

<p><b>I-Root SP</b> (IBC Canadá)</p>	 <p>(Innovate Bioceramic Inc., 2021)</p>	<p>Silicato de calcio libre de aluminio, fosfato de calcio, hidróxido de calcio, óxido de niobio, óxido de zirconio.</p>	<p>4-10 hrs</p>	<p>4 hrs</p>	<p>Óxido de bismuto</p>	<p>RCS, Af</p>	<p>no</p>
<p><b>Endosequenc e BC Sealer</b> (Brasseler USA)</p>	 <p>(Brasseler USA, 2021)</p>	<p>Silicato de calcio, fosfato de calcio monobásico, hidróxido de calcio, óxido de zirconio, óxido de tántalo.</p>	<p>4-10 hrs</p>	<p>4 hrs</p>	<p>Trióxido de bismuto</p>	<p>REA, RP</p>	<p>no</p>
<p><b>EndoSeal MTA</b> (Maruchi Wonju Korea)</p>	 <p>(Maruchi, 2021)</p>	<p>Cemento puro natural Dióxido de circonio Ácido cítrico anhidro.</p>	<p>10-12 min</p>	<p>9 min</p>	<p>Óxido de zirconio</p>	<p>RCS, RP</p>	<p>no</p>
<p><b>Well-Root ST</b> (Vericom, Gangwon-Do, Korea)</p>	 <p>(vericom, 2021)</p>	<p>Mezcla de aluminato de calcio, óxido de zirconio</p>	<p>25 min-2.5 hrs</p>	<p>25 min-2.5 hrs</p>	<p>Óxido de zirconio</p>	<p>PC, RP, Af, REA</p>	<p>no</p>
<p><b>TheraCal</b> (Bisco Inc, Schaumburg, IL, USA)</p>	 <p>(Dental World Oficial, 2021)</p>	<p>Relleno de silicato de calcio modificado con resina fotopolimerizable, sílice piroginada, monómeros hidrófobos como dimetacrilato de uretano (UDMA), metacrilato de bisfenol A</p>	<p>45 min</p>	<p>20 seg – 5 min</p>	<p>Trióxido de bismuto</p>	<p>RP, RC</p>	<p>no</p>
<p><b>MM MTA</b> (Micromega, Besancon, Francia)</p>	 <p>(Micro- Mega, 2021)</p>	<p>Mineral trióxido agregado y óxido de bismuto, carbonato de calcio.</p>	<p>20 min</p>	<p>20 min</p>	<p>Óxido de bismuto.</p>	<p>RP, REA, PC</p>	<p>no</p>

## 7. ASPECTOS BIOLÓGICOS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS (MECANISMO DE ACCIÓN).

Los cementos radiopacos Portland, frecuentemente denominados agregados de trióxido mineral (MTA) o biocerámicos (BC), son materiales terapéuticos de silicato de calcio (compuestos químicos formados a base de óxido de calcio y sílice, insolubles en agua pero al contacto con medios húmedos forman un gel hidratado), inicialmente estaban destinados para reparaciones endodóncico sin embargo, actualmente tienen otros usos: como protectores pulpares y cementos selladores, debido a las magníficas cualidades que han demostrado poseer. De manera general y a groso modo se sabe que los cementos MTA presentan actividad conductora del tejido calcificado y favorecen la diferenciación de las células madre mesenquimatosas; adicionalmente y en el mismo nivel de importancia, se ha observado que tampoco generan residuos tóxicos en interacción con el organismo. <sup>(20)</sup>

Los biomateriales cerámicos, se componen principalmente de alúmina, zirconio, vidrios cerámicos, hidroxiapatita y fosfatos de calcio reabsorbibles. Es menester recordar las tres categorías bien definidas que existen de BC y que previamente se describieron. <sup>(20)</sup>

- Bioinertes: capaces de rellenar tejidos y ser tolerados por el organismo.
- Bioactivos: tolerados por el organismo con capacidad de osteoconducción y que establecen una fuerte unión con el tejido óseo
- Biodegradables: con capacidad de ser degradados por el organismo y de ser reemplazados por tejido duro.

En condiciones normales, el organismo suele formar una capa de tejido fibroso alrededor de cualquier material ajeno a él <sup>(20)</sup>, haciendo inevitable la existencia de una interface que puede presentar múltiples problemáticas para el organismo, para el caso de la materia endodóncica, una colonización bacteriana por ejemplo.

La característica principal de los BC es que al entrar en contacto con tejido duro en el cuerpo humano tienen la capacidad de formar una capa de fosfato de calcio tipo apatita sobre su superficie, lo que permite una estrecha unión con el tejido óseo. <sup>(20)</sup>

Es por esto que hasta ahora ésta característica de los BC ha resultado conveniente y favorable y por lo que también se le atribuye el término de bioactividad, así como tiene la capacidad de liberar iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y producir precipitados cristalinos de tipo apatita cuando tienen contacto con fluidos fisiológicos que contienen fosfato. <sup>(12)</sup>

Se ha observado que cuando los BC entran en contacto con fluidos corporales, se disuelven y forman un grupo silanol (SiOH), que reacciona y forma un “gel” de sílice sobre la superficie de los BC, posteriormente se presenta una disolución del vidrio y se liberan iones de calcio y fósforo con lo que se crea una capa amorfa de fosfato sobre el gel de sílice y debido al pH alcalino de la interface vidrio-solución, una de las capas cristaliza en una apatita hidrocarbonatada, que se enlaza fácilmente al tejido óseo.

Éste proceso (dependiendo del tiempo que se encuentre en contacto con el organismo) consta de cinco etapas sucesivas:

**Etapas 1:**

**Hidrólisis de los grupos de sílice y creación de silanol (Si-OH), con formación de una capa rica en SiO<sub>2</sub> (óxido de silicio) en la superficie del material.**

El intercambio iónico entre el fluido biológico y la matriz amorfa del biovidrio conduce a la hidrólisis de los grupos de sílice y a la creación de silanol (Si-OH) sobre la superficie del biomaterial. Esta reacción se produce muy rápidamente, en cuestión de minutos de exposición del material a los fluidos corporales. El resultado es la formación de una capa superficial con carga eléctrica negativa con disolución de la red vítrea y un aumento de pH debido al consumo de iones hidrógeno (H<sup>+</sup>).<sup>(20)</sup>

**Etapas 2:**

**Formación de ácido silícico.**

El aumento del pH conduce a la disolución de sílice en forma de ácido silícico en la solución y en la formación continua de grupos silanoles (Si-OH) sobre la superficie del biomaterial. Esta etapa involucra la pérdida de sílice soluble y la formación de silanoles (Si-OH) en la interface de la solución del vidrio. Larry Hench ha propuesto que esta pérdida de sílice soluble de la superficie, podría ser la responsable de estimular la proliferación de las células osteoprogenitoras y conducir a la angiogénesis.<sup>(20)</sup>

**Etapas 3:**

**Capa amorfa rica en óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).**

Se da una condensación y polimerización de una capa amorfa rica en óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) (normalmente 1-2 mm de espesor) en la superficie del biomaterial.<sup>(20)</sup>

**Etapas 4:**

**Migración de los grupos de calcio (Ca<sup>2+</sup>) y fosfato (PO<sub>4</sub>)<sup>3-</sup> a la superficie a través de la capa rica en óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).**

Se da la formación de una capa rica en óxido de calcio (CaO) - óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en la superficie del vidrio a través de la incorporación de calcio y fósforo del implante y del óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), para después realizarse una cristalización de la película amorfa de óxido de calcio y óxido de fósforo (CaO-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en la superficie del biomaterial. (20)

Debido al intercambio de iones alcalinos, la capa a base de gel de sílice aumenta de espesor. Además, la capa basada en silicio (SiO<sub>2</sub>) con carga negativa recién formada actúa como andamio para la recolección de iones de calcio y fosfato, ya presentes en los fluidos corporales. Y de ésta manera se crea un estrato rico en fosfato de calcio amorfo en la parte superior del gel de sílice. (20)

### **Etapa 5:** **Formación de hidroxiapatita.**

Continúa la disolución del biovidrio y la capa de fosfato de calcio amorfo incorpora iones hidroxilo (OH)<sup>-</sup> y carbonato (CO<sub>3</sub>)<sup>2-</sup>, cristalizando como una capa de hidroxiapatita. Hench LL consiguió descubrir que algunos vidrios, en determinadas proporciones de sus componentes, constituían una fase soluble bioactiva, cuando eran instalados en un medio biológico y sometidos al bombardeo iónico del entorno. Los biovidrios son mezclas de óxidos que deben cumplir ciertas características para serlo, como la cantidad de óxido de silicio, ésta debe ser 60% menor en relación al calcio-fósforo, así el biomaterial es capaz de reaccionar y mediante intercambio iónico con los fluidos corporales disolverse y formar hidroxiapatita, actuando como implante temporal y sirve de soporte para que las células óseas se adhieran al material y proliferen. (20)

El sistema está compuesto específicamente por cuatro compuestos químicos que son:

**Óxido de Silicio (SiO<sub>2</sub>)**, su principal característica es su resistencia química, en otras palabras, resistencia contra ambientes o medios ácidos, alta resistencia a la compresión y baja expansión térmica, absorben la humedad presente en el medio en que se encuentre y es soluble en agua. (21)

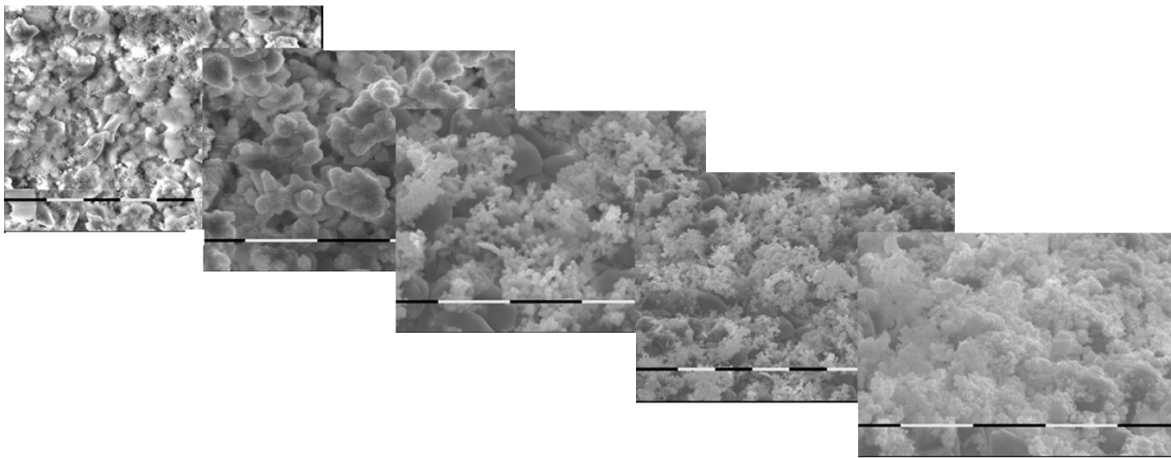
**Óxido de calcio (CaO)**, es un producto derivado de la piedra caliza, misma que es sometida a un proceso de descomposición térmica a grandes temperaturas para obtener como producto final: óxido de calcio (CaO) o “cal viva” es un tipo de cal no hidratada; o hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) o “cal muerta o apagada”, cuyas principales propiedades son el efecto antibacteriano debido a su pH elevado (>12). (22)

**Óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O)**, es un sólido soluble en agua, absorbe humedad y su propiedad irritante estimula la capacidad regenerativa celular. (23)

**Óxido de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**. A pesar de que representa solo el 1% del peso corporal de una persona, el fósforo es uno de los minerales más abundante en el cuerpo; los BC poseen en su estructura óxido de fósforo un sólido cristalino, inorgánico soluble en soluciones, al entrar en contacto con un medio acuoso se disuelve de manera lenta y forma ácido fosforoso (H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>) uniendo uno de sus enlaces al fósforo. <sup>(7)</sup>

En la siguiente imagen de microscopia electrónica de barrido se monitoreó un cemento a base de silicato de calcio sumergido en una simulación de líquidos corporales desde el primer contacto con éstos hasta 28 días después, en la que se logró observar un aumento en el espesor de la superficie del cemento, que se fue cubriendo con pequeñas “esferulitas” [agregados esféricos que van de un tamaño submicroscópico a milímetros de diámetro, se forman por lo general en rocas ígneas vítreas <sup>(24)</sup>].

Mientras que con una espectroscopia de rayos X de dispersión de energía se observó que la superficie del cemento cambió de una composición de silicato de calcio a una composición de fosfato de calcio. A los 28 días, el silicio (Si) desapareció por completo, mientras que el fósforo (P) aumentó. <sup>(14)</sup>



**Fig 1.** “Cinética de la formación de apatita en simulación de líquidos corporales.” (Prati, 2015)

Algunos estudios sugieren que los materiales BC podían actuar como tejidos humanos, inclusive llegando a estimular una respuesta regenerativa como la osteoinducción. A nivel celular y tisular se han mostrado múltiples respuestas como:

- Inflamación de severa a moderada al séptimo día de la aplicación que desaparece de manera paulatina en el transcurso del tiempo. <sup>(29)</sup>
- Respuesta inflamatoria aguda que estimula la biomineralización. <sup>(29)</sup>
- Infiltración celular de macrófagos y células gigantes multinucleadas. <sup>(29)</sup>

- Inhibición en la expresión de citosinas IL-1 $\alpha$  e IL-1 $\beta$ , asociadas con degradación tisular. <sup>(29)</sup>
- Inducción de la producción de células similares a odontoblastos. <sup>(28)</sup>
- Inducción de producción de dentina terciaria. <sup>(28)</sup>
- Inducción de tejido mineralizado. <sup>(28)</sup>
- Formación completa de un puente calcificado sin inflamación pulpar. <sup>(28)</sup>
- Incremento en el número de células polimorfonucleares y células mononucleares, abundante deposición de colágeno y tejido de granulación. <sup>(28)</sup>
- Inducción de la formación de tejido mineralizado nuevo sin reabsorción ósea ni infiltración celular inflamatoria. <sup>(28)</sup>
- Mejorar la regeneración de cemento, hueso y ligamento periodontal con una menor respuesta inflamatoria. <sup>(28)</sup>
- Inducción de cierre apical y resolución de lesión periapical. <sup>(28)</sup>

Si bien muchos estudios de las respuestas tisulares y celulares que se realizan a los materiales BC se realizan *in vitro*, las respuestas enlistadas previamente han sido realizadas *in vivo*, apoyándose para ello con animales como ratas, perros, hurones y monos, cuyos tejidos dentales son lo más semejante a los humanos y los hallazgos fueron favorables y alentadores en materia odontológica para continuar con el uso de éstos materiales. <sup>(28)</sup>

## 8. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.

Actualmente no existe ningún cemento sellador endodóncico que cubra todas las cualidades enunciadas por Grossman que previamente se enunciaron, sin embargo, los cementos a base de silicato de calcio han ganado gran popularidad debido a los buenos resultados que han mostrado en los tratamientos para los que fueron empleados y también a que han mostrado eficacia en múltiples aplicaciones que se detallarán más adelante; pero quizá la mayor de sus cualidades es la capacidad de fraguar en ambientes con humedad lo que los hace ideales para el uso en el medio bucal ya que no solo se encuentra presente la saliva, en el caso de otro tipo de tratamientos o inclusive en perforaciones puede haber sangrado que comprometa el sellado tridimensional. Ésta es la razón por la que se está prestando mayor atención a los materiales BC.

Eventualmente también las casas comerciales han sacado a la venta presentaciones en las que el manejo es más fácil y el tiempo de fraguado reducido en comparación con presentaciones previas, pero en general la mayoría de las características que poseen éstos materiales muestran ser favorecedoras en odontología, específicamente en el área endodoncia, éstas son las siguientes:



## **8.1 Expansión.**

El que la mayoría de sus componentes sean higroscópicos es favorecedor debido a que al absorber agua del medio en lugar de repelerla, se presenta una expansión benéfica en los materiales que componen a los BC y que contribuye al cierre de la interfaz que pudiera existir refiriéndonos específicamente al sistema de conductos en los que como ya se mencionó con anterioridad se busca un sellado tridimensional con la finalidad de evitar cualquier filtración que propicie un desarrollo bacteriano y que eventualmente conlleve a un fracaso en el tratamiento.

Por otra parte recordemos que los sistemas de conductos están rodeados por los túbulos dentinarios en los que también se encuentran alojados microorganismos, a pesar de realizar una adecuada y minuciosa instrumentación, e incluso un protocolo de irrigación profuso difícilmente se puede realizar una limpieza total en éstas estructuras de modo que la expansión que sufren los materiales BC puede llegar a alcanzar espacios en los que los instrumentos difícilmente tienen acceso y aunado a su propiedad alcalina contribuirán también a frenar el desarrollo microbiano. <sup>(12)</sup>

Cabe resaltar para este apartado, que este tipo de materiales cumplen con la norma internacional de estandarización que especifica los requisitos de prueba de los materiales de sellado del conducto radicular (endodóncico) que fragua con o sin la presencia de humedad y se utilizan para la obturación permanente del conducto radicular, ISO 6876/2012, que exige una disminución o nula filtración posterior a la colocación del material del que se trate. También por ésta cualidad de expansión, los materiales BC poseen estabilidad dimensional al no presentar contracción en sus componentes por lo anteriormente expuesto. <sup>(12)</sup>

## **8.2 Fuerza compresiva.**

Existen diversos métodos para la síntesis de silicato de calcio, sin embargo, la constante en todos ellos es el uso de altas temperaturas, el proceso comprende la mezcla y homogeneización de una fuente de calcio y una de silicio y un posterior tratamiento térmico de la mezcla a temperaturas entre 400°C y 900°C <sup>(25)</sup>, para después realizar la pulverización de dichos productos. Lo que esto conlleva es a un tamaño pequeño de partícula con la normal consecuencia de un mejor ordenamiento al momento de la compactación del producto, rellenando los espacios que pudieren existir proporcionando con esto una mayor fuerza compresiva en comparación con productos como postes de fibra de vidrio y gutapercha. <sup>(26)</sup>

En estudios realizados in vitro en los que se sumergieron durante 21 días en fluido corporal simulado los materiales BC, éstos mostraron una resistencia a la compresión semejante a la del hueso trabecular 10-30 mega pascales. <sup>(30)</sup>

### **8.3 Radiopacidad.**

Puede que la radiopacidad no sea una propiedad *per se* de éste tipo de materiales porque no es una característica intrínseca de éstos, pero su composición permite que otro tipo de radiopacificadores puedan ser agregados sin sufrir una modificación en su fórmula, como óxido de bismuto, óxido de zirconio, sulfato de bario, tungsteno de calcio etc. Sin embargo, en el caso del óxido de bismuto se ha encontrado que si bien no modifica la composición de los BC, si reduce la biocompatibilidad de los cementos por lo que en algunos casos los fabricantes han decidido omitir al agente radiopacificador sobre todo para el caso de los productos en la que su aplicación se limita a recubrimientos pulpaes. <sup>(14)</sup>

### **8.4 Fraguado.**

Ésta es una de propiedades más importantes que poseen los BC y que ha obtenido captar la atención en materia odontológica: fraguado completo aún en ambientes con presencia de humedad, como se mencionó con antelación los BC son materiales hidrofílicos, si bien el sílice no es soluble en agua, al momento de entrar en contacto con tejido dental e hidratarse con el agua presente en los túbulos dentinarios, se forma un “gel” en el que posteriormente se precipitan iones calcio e hidroxiapatita uniéndose física y químicamente a las estructuras dentales remanentes. Ésta estructura confiere también la fuerza compresiva que poseen estos materiales. <sup>(12)</sup>

Por lo general los materiales existentes en el mercado poseen un tiempo de fraguado promedio de entre 40 hasta 120 minutos, a excepción de Theracal® cuyo fraguado se da en aproximadamente 0.3 minutos por ser fotopolimerizable; y Biodentine® del que el fabricante logró que el fraguado se lleve a cabo en tan solo 9 minutos. <sup>(12)</sup>

Independiente al tiempo que requieren diversos materiales para un completo fraguado establecido por los fabricantes, éste siempre va a depender de múltiples factores como la cantidad de humedad y el pH presentes en el medio en el que se encuentren.

### **8.5 Liberación de iones de calcio.**

A los selladores biocerámicos se les confiere la propiedad de la bioactividad porque estimulan el proceso fisiológico del hueso y la mineralización de la estructura dentinaria. Múltiples estudios en diferentes materiales a base de silicato de calcio han demostrado una liberación prolongada de iones calcio

hasta 30 días posteriores a la colocación en tejido dental así como iones flúor que inducen a la formación de hidroxiapatita <sup>(17)</sup>, materiales como Biodentine® y MTA Repair HP®, mostraron en los estudios realizados en tejido dental en imágenes de microscopía electrónica de barrido aposiciones de precipitados de apatita distribuidos de manera irregular en la que la interfaz dentina-material había desaparecido casi por completo. <sup>(27)</sup>

### **8.6 Propiedades alcalinas.**

Todos los materiales BC poseen propiedades alcalinas, esto debido a que en el proceso de hidratación al momento de su colocación, se libera hidróxido de calcio (material bien conocido por su pH básico) afectando el medio en el que se encuentra, el pH de estos materiales puede fluctuar llegando hasta 12.4 y desciende de manera progresiva hasta el día 28 posterior a su aplicación, <sup>(17)(14)</sup> la alcalinización del medio es favorecedora por la acción antimicrobiana que es conferida a ésta propiedad como se detallará más adelante.

### **8.7 Fluidez.**

En los tratamientos endodóncicos la fluidez es una característica y propiedad que cobra una gran importancia debido al campo de trabajo en ésta materia, el sistema de conductos siempre ha sido un reto debido a las ramificaciones y variaciones anatómicas dispuestas en los tejidos dentales, y pasando desde el irrigante, apósitos medicados y llegando hasta el sellador, todos y cada uno de los materiales de los que debe disponer el profesional en odontología deben contar con una baja tensión superficial que permita alcanzar sino todos, al menos sí, la mayoría de las estructuras presentes dentro de las piezas dentales, siempre con la meta específica de una buena limpieza y desinfección. Para el caso de los cementos selladores, la fluidez es indispensable para lograr el sellado tridimensional que se requiere, para el caso que nos ocupa, los BC poseen ésta característica debido a su comentado proceso de síntesis (pulverización de componentes a altas temperaturas), dicho proceso se traduce en que el tamaño de partícula sea pequeño, alrededor de 2  $\mu$  <sup>(12)</sup> y facilite la fluidez y por tanto sellado de una mayor cantidad de espacios dentro del sistema de conductos.

## **9. PROPIEDADES BIOLÓGICAS DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.**

Si bien las propiedades físico químicas de un material en odontología son importantes, las propiedades biológicas constituyen un papel decisivo para su uso y aplicación, y en endodoncia no es la excepción, ya con antelación se enlistaron las propiedades que los materiales para ésta área deben aportar, pero por la naturaleza los tratamientos que se realizan y el avance tecnológico que ha supuesto el hallazgo de los BC, ahora ya no solo no solo

se busca que los materiales a emplear carezcan de toxicidad, sino que también se requiere que cuenten con biocompatibilidad y mejor aún posean propiedades bioactivas que estimulen a la mineralización de los tejidos dentales. Afortunadamente ya se cuenta en el mercado con diversos productos que han demostrado brindar éstas cualidades y que han superado expectativas.

## 9.1 Biocompatibilidad.

Anteriormente se estableció que el término “biocompatible” que se le atribuye a un material hace referencia a la capacidad que éste posea de interactuar y producir una respuesta favorable en el huésped, es decir, no van a ser pasivos, deben poseer una función específica y para lograrla deben inducir una respuesta en los tejidos con los que estén en contacto.

La Organización Internacional de Estandarización en su documento ISO 10993-1 describe la evaluación biológica obligada a cualquier tipo de material que sea diseñado con un enfoque médico como implante ajeno al organismo, además de las pruebas físicas, químicas y mecánicas, deben realizarse necesariamente pruebas *in vitro* y *ex vivo* en animales, sin embargo aunque los resultados sean positivos o favorables deben ser tomados con cautela, primero porque no se puede concluir que ocurra la misma respuesta biológica en humanos y segundo porque las respuestas no solo dependen de la aplicación sino del estado sistémico del paciente. <sup>(31)</sup>

Existen múltiples factores que van a influir en la respuesta e interacciones que un material posea, su entorno biológico y los resultados finales; características como mecanismos químicos, bioquímicos, físicos y fisiológicos, así como la dimensión, composición, presentación, inclusive, cuando ello aplique, la forma del dispositivo, van a ocasionar variaciones y diversas respuestas. <sup>(31)</sup>

Debemos tomar en cuenta también que la actividad celular durante la cicatrización de heridas dependerá de varios factores, como la extensión de la lesión, la pérdida de las estructuras de la membrana basal, las interacciones del material sanguíneo, la formación de la matriz provisional y la extensión de la respuesta inflamatoria. Además, estos factores influyen a su vez en la extensión o grado de formación de tejido de granulación, reacción a cuerpo extraño, extensión / grado de necrosis celular, fibrosis o desarrollo de cápsulas fibrosas. <sup>(31)</sup>

Los BC son considerados como materiales biocompatibles debido a la inocuidad que representan en el organismo al ser colocados, es decir, no generan una respuesta de rechazo al estar en contacto con fluidos corporales, también por la respuesta benéfica que generan en aplicaciones clínicas específicas para las cuales son aplicados.

La principal característica por la cual son considerados biocompatibles es la presencia de fosfato de calcio en su composición que como ya se mencionó anteriormente es el principal componente de tejido duro en el organismo, específicamente óseo y dental.

## **9.2 Bioactividad y Biomineralización.**

Es necesario evocar nuevamente en este apartado la propiedad del sellado tridimensional que se busca en un cemento endodónico, en múltiples ocasiones se ha hecho mención de lo que ésta propiedad confiere en un tratamiento de conductos: un mayor porcentaje de éxito; también ya se mencionó que éste éxito es debido a que se reduce considerablemente la interfaz entre tejido dental y material de sellado lo que inhibe de manera importante la multiplicación y/o filtración bacteriana. Para el caso de los BC ésta propiedad se debe a que sus componentes son capaces no solo de ocupar el espacio que resulta posterior a un tratamiento de conductos, sino también de inducir una bioactividad y la consecuente biomineralización de tejido dental.

El término bioactividad se define como la capacidad de un biomaterial para inducir una respuesta biológica específica, y es aplicable a materiales duraderos con una solubilidad baja y que además tienen la capacidad de sufrir cambios interfaciales [superficie de contacto entre dos medios <sup>(1)</sup> en los tejidos circundantes, para el caso de los BC la bioactividad no solo se ha limitado al tejido intraconductos, también se ha observado en tejido pulpar y perirradicular. <sup>(12)(32)</sup>

La bioactividad de los selladores de silicato de calcio, se da a partir de su hidratación, ésta se basa en la formación de hidróxido de calcio al reaccionar el H<sub>2</sub>O con el óxido de calcio presente en el biomaterial, que posteriormente se hidroliza en grupos hidroxilos así como iones de calcio. <sup>(20)</sup>

La biomineralización es el proceso mediante el cual los organismos vivos producen minerales; los tejidos mineralizados se van a formar gracias a un proceso fisiológico de interacción entre minerales, moléculas extracelulares y los propios genes, un principal componente de éstos tejidos mineralizados va a ser el fosfato de calcio en forma de hidroxiapatita. El mecanismo molecular de la biomineralización tiene lugar en las vesículas de matriz que van a ser liberadas a partir de la superficie de condroblastos, osteoblastos, odontoblastos y cementoblastos, estos fosfatos de iones de calcio se acumularán de manera progresiva dentro de éstas vesículas de las que eventualmente precipitarán para alojarse en fibras de colágena tipo I conformando una estructura hexagonal, dando como resultado cristales de hidroxiapatita que crecerán en arreglos de espiral, ulterior al ordenamiento de

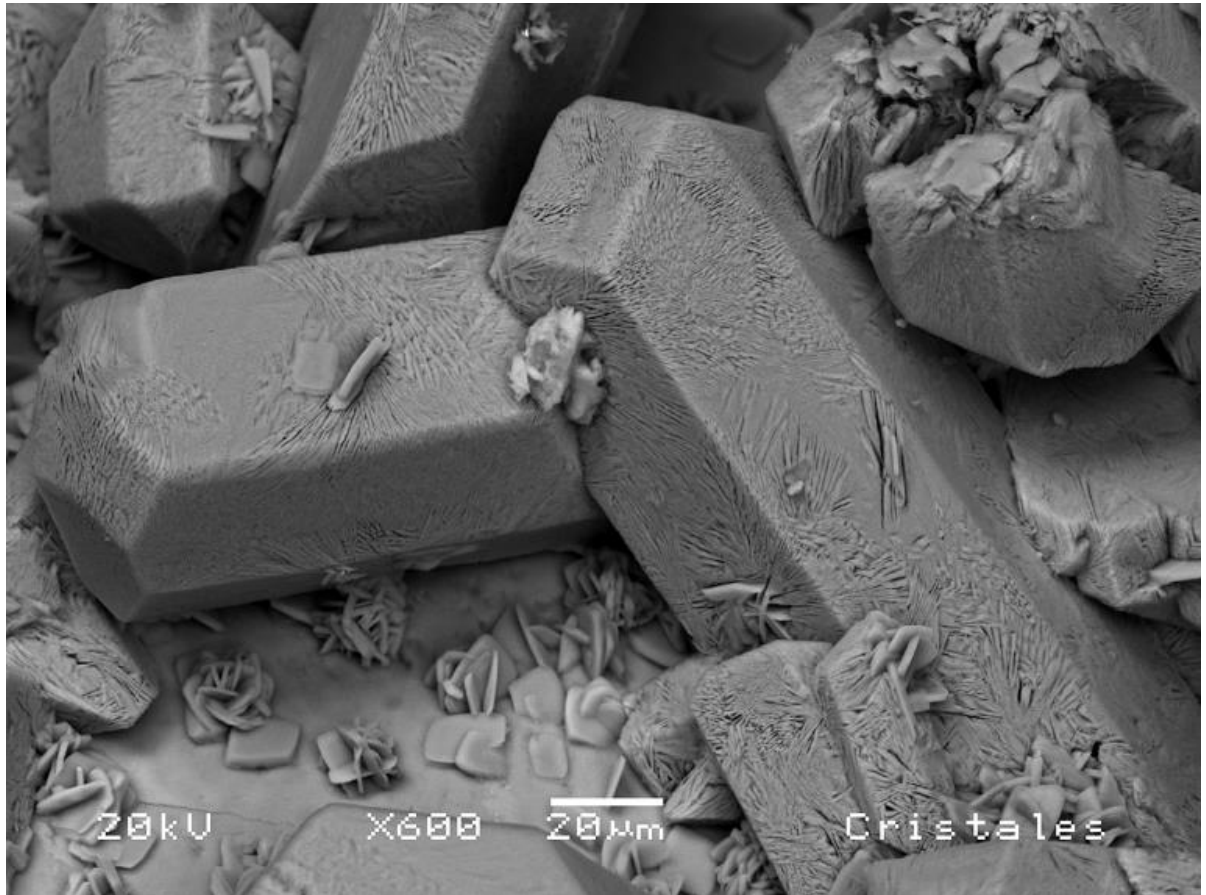
los cristales continuará su mineralización la cual estará determinada por el tipo de tejido que vayan a conformar, lo que conferirá su dureza final. <sup>(33)(34)</sup>

Generalmente, los biomateriales artificiales implantados en el organismo son encapsulados por un tejido fibroso denso que los aísla del medio circundante, sin embargo, con los BC se logró una interacción química favorable con el organismo que se traduce en una buena integración misma que se obtiene por la formación de una capa de fosfato de calcio tipo apatita sobre la superficie del biomaterial, que permite una estrecha unión con el tejido óseo, sin la aparición de tejido fibroso a su alrededor. <sup>(20)</sup>

Múltiples estudios sugieren que la biomineralización inducida por los BC se debe a que éstos inducen a una respuesta inflamatoria controlada que si bien varía entre diferentes tipos, marcas y presentaciones de materiales, el resultado suele ser muy similar: activación de una serie de vías de señalización y eventos celulares que promueven dicha biomineralización.

Dentro de los hallazgos también se encontró que cuando se implantaron materiales como el MTA en tejido subcutáneo en ratas, se mejoraba potencialmente la polarización de macrófagos M2 involucrados en la resolución de la inflamación y la cicatrización tisular, y que además poseen propiedades anti-inflamatorias, inhiben la producción de interferón gama: INF  $\gamma$ , y antagonizan las respuestas a ésta, se adaptan a diferentes necesidades dependiendo el estímulo al que sean expuestos, que van desde la inducción de la tolerancia hasta la regulación de la inflamación, remoción de debris y regeneración de tejido; lo que sugirió que este material proporcionaba un entorno de cicatrización contribuyendo a la biocompatibilidad y biomineralización. <sup>(28)(35)</sup>

Otros estudios han reportado que materiales como Pro-Root MTA <sup>®</sup>, aumenta la diferenciación de osteoblastos, fibroblastos, cementoblastos. Y en diversas compilaciones de los estudio de biocompatibilidad y biomineralización que se han realizado a múltiples BC se ha identificado la expresión génica de marcadores osteogénicos, odontogénicos e incluso angiogénicos, tales como la osteopontina, Runx2 (se constituye como uno de los reguladores más potentes de la diferenciación osteoblástica), DSPP (establece la manera en que las proteínas deben formar la dentina), DMP1 (fosfoproteína que regula la formación de matriz mineralizada en osteoblastos), VEGFA (factor de crecimiento endotelial vascular), entre otros. <sup>(36)(37)</sup>



**Fig. 2** Cristales obtenidos In Situ por sobresaturación bajo condiciones ácidas, durante una prueba experimental de mineralización. Por análisis Espectroscopia de energía dispersiva, se determinó que químicamente tienen Ca y P. Imagen de Microscopía Electrónica de Barrido. (Gil-Chavarría, 2015)

### 9.3 Capacidad antibacteriana.

Para que un medio ambiente sea propicio para el desarrollo bacteriano se requieren básicamente de los mismos elementos que para cualquier otro ser vivo: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, así como elementos esenciales; hierro, calcio, magnesio, potasio, sodio y cloro, entre otros, como vitaminas. Muchos de estos nutrientes se encuentran de manera abundante en el sistema de conductos. La pulpa y el tejido dentinario conforman un sustrato rico en nutrientes apto para el desarrollo bacteriano, <sup>(38)</sup> sin olvidar que el medio ambiente ahí presente también coadyuva por la humedad que existe al interior de los órganos dentales que funge como medio de transporte de las sustancias alimenticias en solución hacia las bacterias, elimina el desperdicio que producen y mantiene la humedad necesaria de su entorno; la temperatura y falta de oxígeno también son factores determinantes para favorecer dicha circunstancia, sin embargo, en condiciones de salud, nuestro organismo cuenta con la capacidad necesaria para controlar este desarrollo bacteriano descontrolado, aunque en

ocasiones le resulta difícil a nuestro sistema inmune inhibir la multiplicación de diversos patógenos.

Inicialmente las bacterias al obtener nutrientes del medio en el que se establezcan aprovechan aquellos relativamente simples y pueden ser disueltos fácilmente. Sin embargo, para hacer más solubles y adecuados para la alimentación los compuestos más complejos, secretan enzimas extracelulares que catalizan la hidrólisis de los compuestos, convirtiéndolos en alimentos solubles más simples. La actividad de las enzimas se ve influida por la temperatura, presencia de sales, pero principalmente por el pH.

La capacidad antibacteriana de los materiales BC deriva de la liberación de Hidróxido de calcio durante el proceso de hidratación de sus componentes, específicamente por la hidratación de óxido de calcio, un producto de la descomposición térmica del carbonato de calcio presente en los BC; <sup>(39)</sup> y las propiedades antimicrobianas de éste proviene de su disociación en iones de calcio e hidroxilo. Los iones hidroxilo crean un pH alcalino aproximadamente de 12.4 que es desfavorable para las bacterias que quedan en la cavidad. Los iones hidroxilo son radicales libres altamente oxidantes que muestran una alta reactividad, afectando el crecimiento, la estructura, el metabolismo y la división celular bacteriana, <sup>(40)</sup> realizan una desnaturalización proteínica, producen daños en el ADN y en las membranas citoplasmáticas. <sup>(41)</sup>

El uso generalizado del hidróxido de calcio, se basa en gran medida en la larga duración de la alcalinidad y el bloqueo a la difusión de nutrientes a las bacterias residuales. <sup>(41)</sup>

Al ser aplicado sobre una pulpa vital, su acción cáustica provoca una zona de necrosis estéril y superficial, con hemólisis y coagulación de las albúminas que estimula la formación de una capa subyacente compacta, compuesta de carbonato de calcio debida al CO<sub>2</sub> de los tejidos y de proteínas, producto de la estimulación dentinaria. <sup>(41)</sup>

## **10. APLICACIONES DE LOS MATERIALES BIOCERÁMICOS.**

Con el descubrimiento del MTA se marcó una pauta muy importante para la regeneración tisular en odontología, inicialmente éste producto fue considerado para el tratamiento de perforaciones, sin embargo, posteriormente debido a las propiedades y resultados que se observaron en el tejido dónde había sido aplicado, se empezó a utilizar como recubrimiento pulpar y eventualmente se desarrollaron BC derivados de sílice con múltiples y variadas aplicaciones.



## 10.1 Tratamiento de perforaciones.

Dentro de las complicaciones que suelen ocurrir durante el tratamiento de conductos, las perforaciones son de las más usuales ya sea como iatrogenia o de forma accidental.

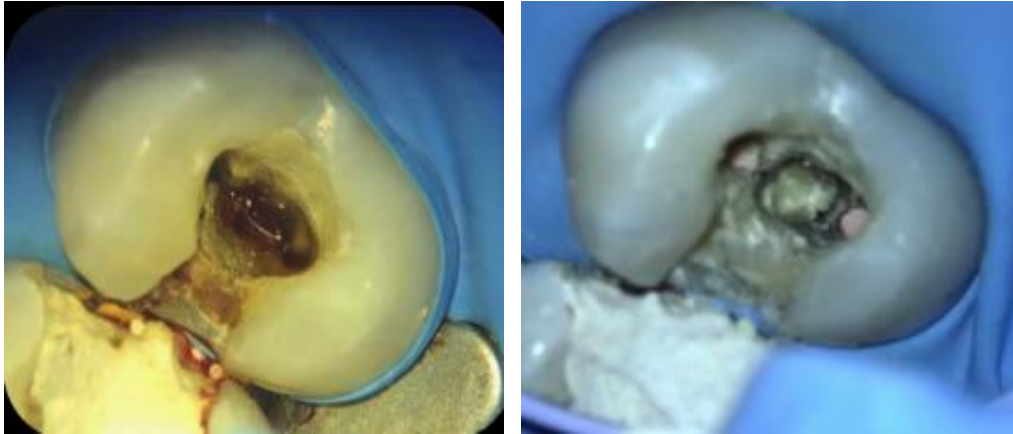
Estas pueden ser definidas como una comunicación entre el conducto radicular y la superficie externa del diente o el ligamento periodontal y su incidencia oscila entre el 2 y el 12% de los casos durante los tratamientos; se clasifican en: <sup>(42)</sup>

- + coronal con buen pronóstico
- + coronal a cresta ósea-unión epitelial con mal pronóstico;
- y
- + coronal hacia apical de la cresta ósea con buen pronóstico

En cuanto a la reparación de perforaciones se han utilizado materiales como la amalgama de plata, gutapercha, composite, ionómero de vidrio, súper EBA®, IRM®, Cavit®, pero con el surgimiento de los BC el tratamiento de primera elección para ésta complicación está siendo conferido principalmente a este tipo de materiales, debido a que favorecen la cicatrización y cuando se aplican directamente sobre tejido pulpar vital, aumenta la proliferación, migración y adhesión de células madre <sup>(42)</sup> y se produce el mecanismo de remineralización que ya ha sido previamente expuesto.

En algunos casos en perforaciones a nivel coronal, se pueden usar materiales como las resinas compuestas o ionómeros, pero cuando la perforación involucra tejido perirradicular en el que existe presencia de humedad, los BC son una excelente opción debido a su ya comentada capacidad de fraguado en ambientes con ésta característica. Para el caso de perforaciones extensas la literatura sugiere el uso de membranas de colágeno reabsorbibles como matrices contenedoras del material, sin embargo una ligera extrusión del material no cobra una relevancia significativa debido a su reabsorción y propiedades regenerativas. <sup>(12)</sup>

Múltiples investigaciones han descrito las propiedades inductivas de regeneración tisular de diferentes productos BC, en las que detallan el entorno favorable que proporcionan por ejemplo, para la proliferación de fibroblastos provenientes del ligamento periodontal. <sup>(14)</sup>



**Fig. 3** Perforación de furca en 1er premolar superior. **Fig. 5** Reparación del defecto con Biodentine® Fuente Propia, asesoría: Esp. Alejandra Rodríguez H.

Takuma Shinkawa y Cols. Reportaron en 2018 un caso de perforación accidental de furca durante el tratamiento de conductos y su resolución favorable con Biodentine® en un paciente masculino de 47 años. <sup>(42)</sup>



**Fig. 4** Obturación de la pieza 36 con técnica de compactación vertical (Takuma, 2018).



**Fig. 5** Radiografía final con la aplicación de Biodentine® (Takuma, 2018).



**Fig. 6** Control radiográfico a los tres meses (Takuma, 2018).

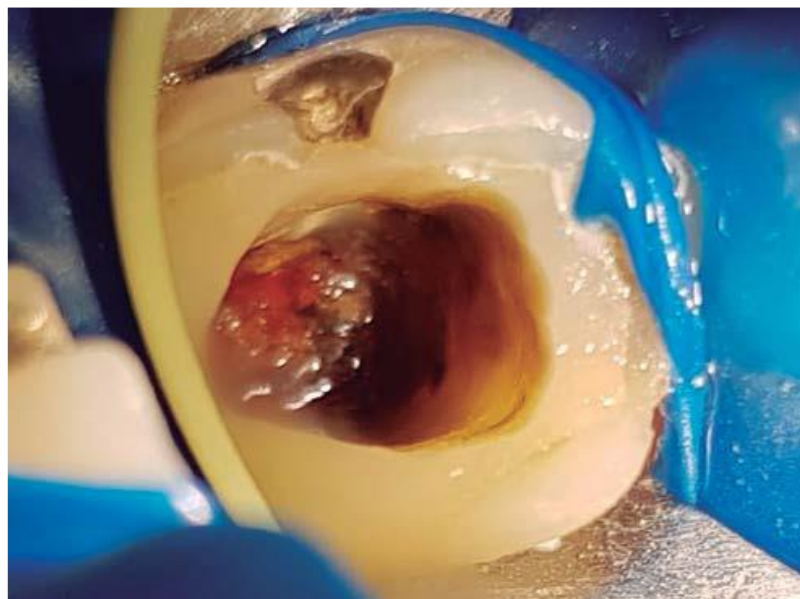
En el 2020 Calero-Hinostroza Gisella Gaby, et. al. reportaron un caso de un paciente de 60 años al que previamente le intentaron realizar un tratamiento de conductos, sin embargo, no logró llevarse a cabo y al examen radiográfico se evidenció una perforación de furca en la pieza 46. Se le informó al paciente el diagnóstico y se sugirió exodoncia de la pieza. Finalmente el paciente optó por que se le realizara tratamiento de conductos debido a que

refirió tomar medicamento anticoagulante (Warfarina) y no deseaba suspenderlo.

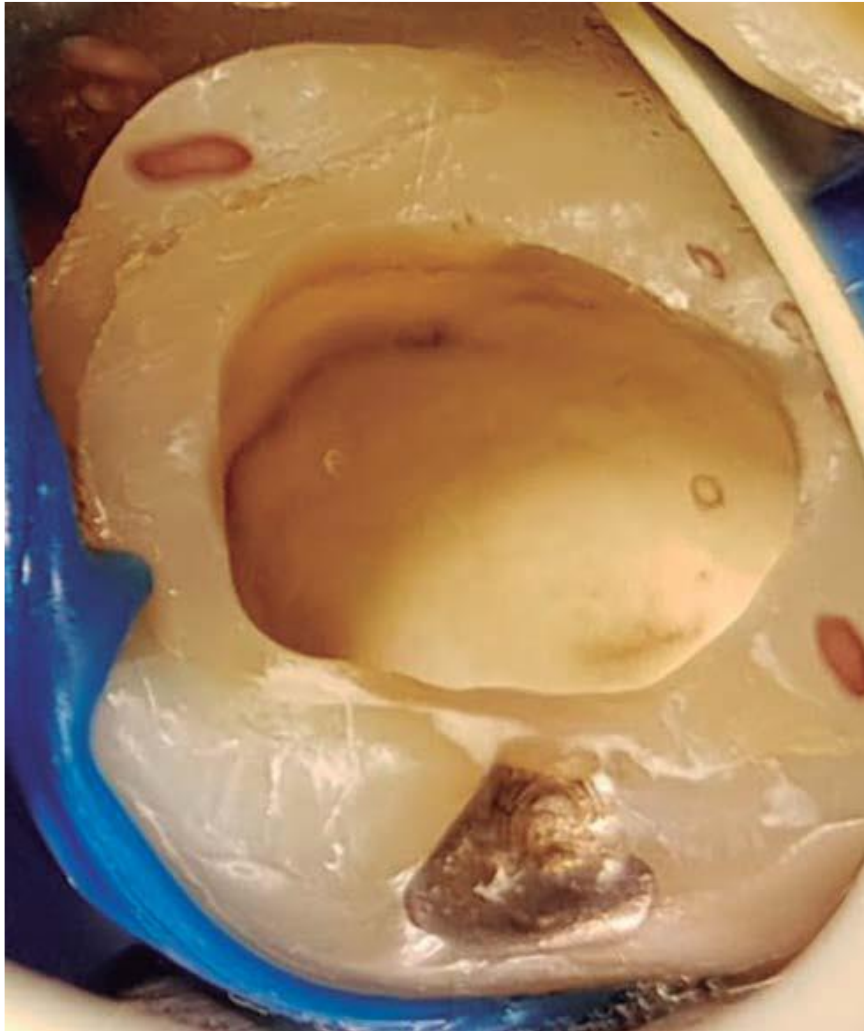
Para éste caso el protocolo que se siguió fue retirar tejido granulomatoso a nivel de furca, lavado profuso con solución salina y colocación de Biodentine® , en una cita posterior se realizó el tratamiento de conductos y obturación de los mismos obteniendo los siguientes resultados:



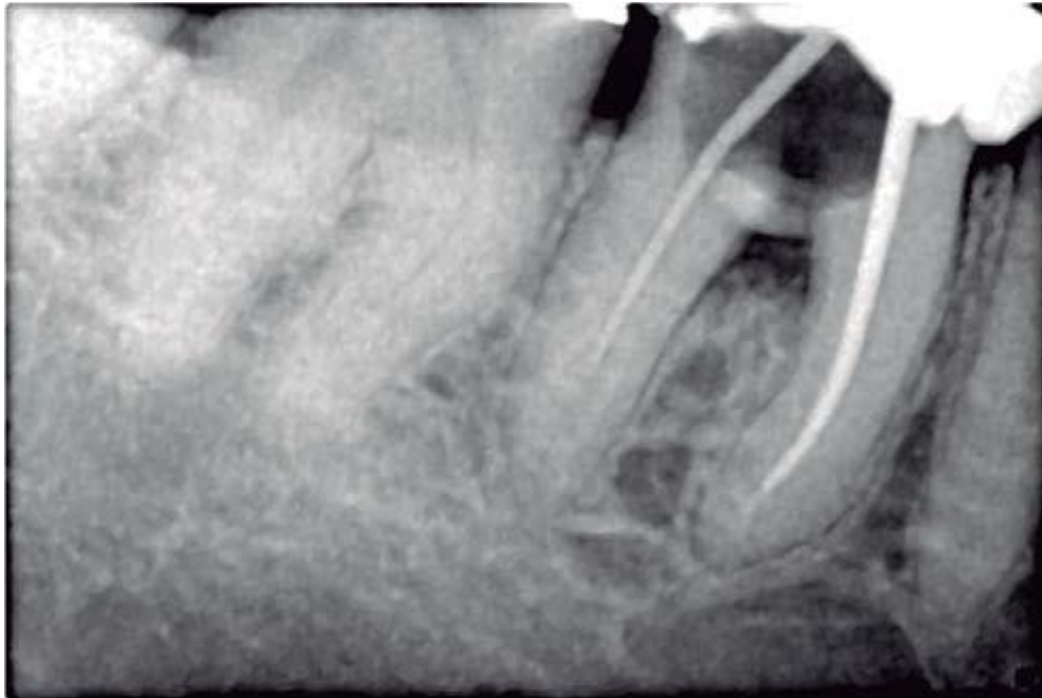
**Fig. 7** Perforación de furca en pieza 46 (Calero, 2020).



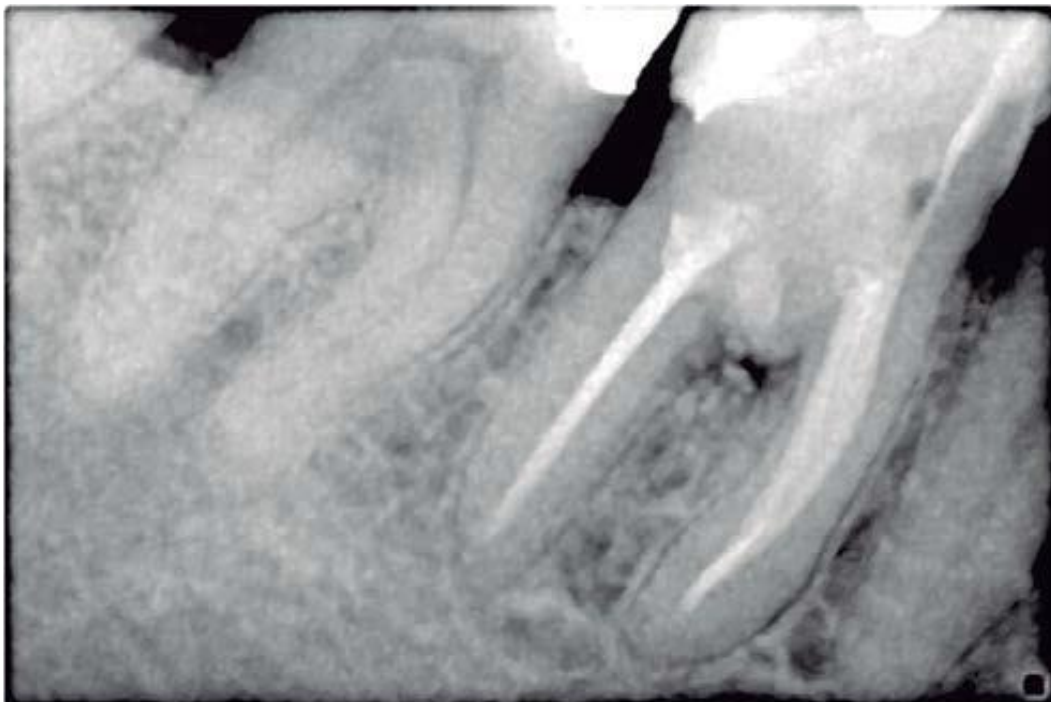
**Fig. 8** Presencia de tejido granulomatoso (Calero, 2020).



**Fig. 9** Capa de Biodentine® en todo el piso de cámara pulpar (Calero, 2020).



**Fig. 10** Conometría (Calero, 2020).



**Fig. 11** Obturación final, mediante compactación lateral (Calero, 2020).





**Fig. 12** Control a los 14 meses. Obsérvese la reparación ósea a nivel de furca (Calero, 2020).

## 10.2 Resorción radicular

Previamente se ha comentado acerca la propiedad de remineralización que poseen los BC, y que posterior a su uso como tratamiento de perforaciones y de los resultados positivos que mostraron, su uso se extendió a otro tipo de aplicaciones, tal es el caso de las resorciones radiculares. A propósito de éstas, podemos definir las como: “destrucción no bacteriana del cemento mineralizado y dentina debido a la interacción de células clásticas (odontoclastos, macrófagos) y tejidos duros de los órganos dentales.”<sup>(12)</sup>

Si bien no existe una etiología bien definida que explique esta patología, puede ser provocada por factores idiopáticos, patológicos o fisiológicos; entre las causas comunes que se ha observado que pudieran provocarlas se encuentran:<sup>(43)</sup>

1. Fuerzas Ortodóncicas excesivas
2. Traumas

3. Presencia de quistes
4. Reimplantes
5. Enfermedades sistémicas

Las resorciones pueden ser clasificadas principalmente en: <sup>(12)</sup> <sup>(43)</sup>

**a) R. Interna.** Se caracteriza por la pérdida de estructura radicular interna, generando una deformación oval en las paredes del conducto y su hallazgo generalmente suele ser accidental debido a que usualmente no muestra sintomatología.

**b) R. Externa.** Para que este tipo de resorción pueda llevarse a cabo, previamente debe existir un daño al cemento radicular de manera que permita el acceso a microorganismos que mediante su metabolismo y presencia en el medio desencadenen una respuesta celular de defensa y activación de células con una marcada actividad clástica; o por un trauma como una impactación dental que estimule la misma respuesta de defensa.  
<sup>(12)</sup><sup>(43)</sup>

La reabsorción incluye un proceso crónico de inflamación, por lo que normalmente lo esperado es que curse su desarrollo de manera asintomática, sin embargo, este proceso puede agudizarse, en cuyo caso la pieza de que se trate pudiera presentar sintomatología como dolor e inflamación localizada.

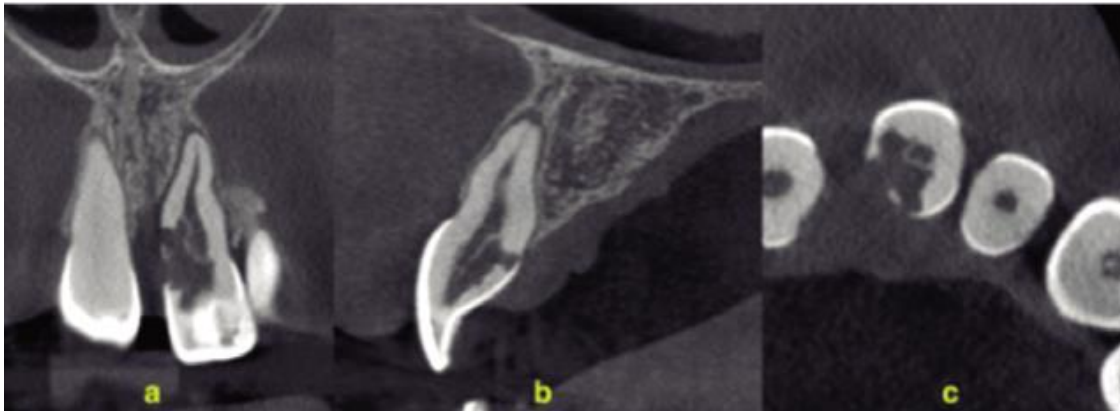
Descrito a grosso modo el proceso de resorción, bien se puede deducir el papel que desempeñan los BC como tratamiento de ésta patología, el objetivo es recurrir a la respuesta que producen en la que se incluyen una respuesta inflamatoria controlada, quimiotaxis y por ende activación celular y fibroblástica que progresivamente concluirá en una reparación del tejido mediante remineralización.

Las siguientes imágenes (fig. 9 y 10) corresponden a un caso reportado por Torres Navarro John <sup>(47)</sup> de un paciente masculino de 15 años de edad, con antecedente odontológico de hace 5 años, de enucleación de odontomas en el sector anterosuperior. Tomográficamente se observó una imagen hipodensa compatible con reabsorción cervical externa (RCE) con compromiso pulpar, en paredes mesial y palatina, imagen hipodensa compatible con reabsorción ósea moderada por mesial e imagen hipodensa con ensanchamiento de la cortical en apical.

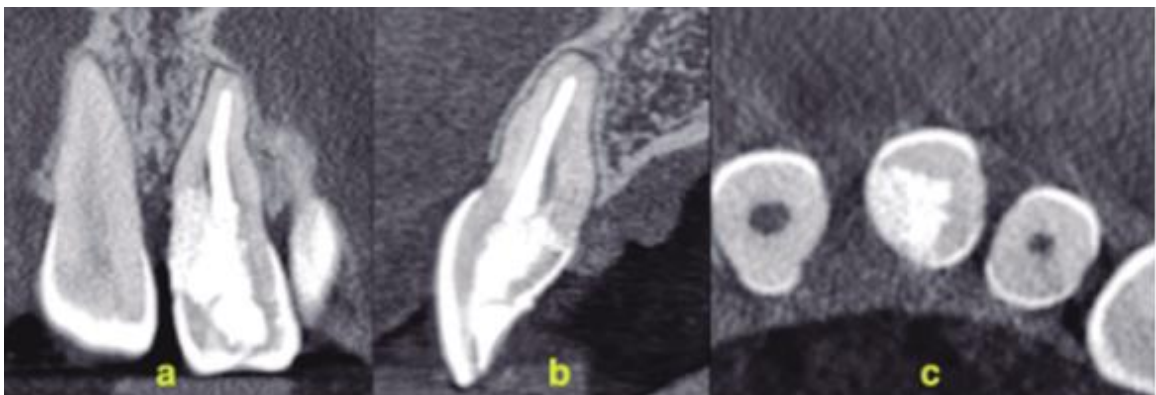
El tratamiento que se realizó fue una cirugía de regeneración tisular guiada con tratamiento de conducto y se obturó el conducto radicular con una técnica de cono único con gutapercha y un sellador biocerámico del conducto radicular a nivel de la RCE y un material restaurador de la



dentina Biodentine (Septodont, Francia) fue aplicado en la cavidad de la RCE y toda la corona clínica.



**Fig. 13** Tomografía Computarizada de Haz Cónico de campo reducido pza 21: a) corte coronal, b) corte sagital y c) corte axial. (Navarro, 2019)



**Fig. 14** Control a 13 meses con Tomografía Computarizada de Haz Cónico de campo reducido pza. 21: a) corte coronal, b) corte sagital y c) corte axial. (Navarro, 2019)

En el 2017 Yaringaño-Medina, et. al. reportaron el caso de una paciente femenina de 37 años sin antecedentes personales patológicos a quien se le diagnosticó pulpitis irreversible asintomática con reabsorción radicular interna del molar 46 con un mal pronóstico para la pieza. El protocolo de tratamiento fue: tratamiento de conductos, obturación en la raíz distal con Biodentine®, y reconstrucción con resina Bulk fill flow. A 4 meses del tratamiento se reporta que la paciente se encuentra asintomática y la pieza 46 en función.

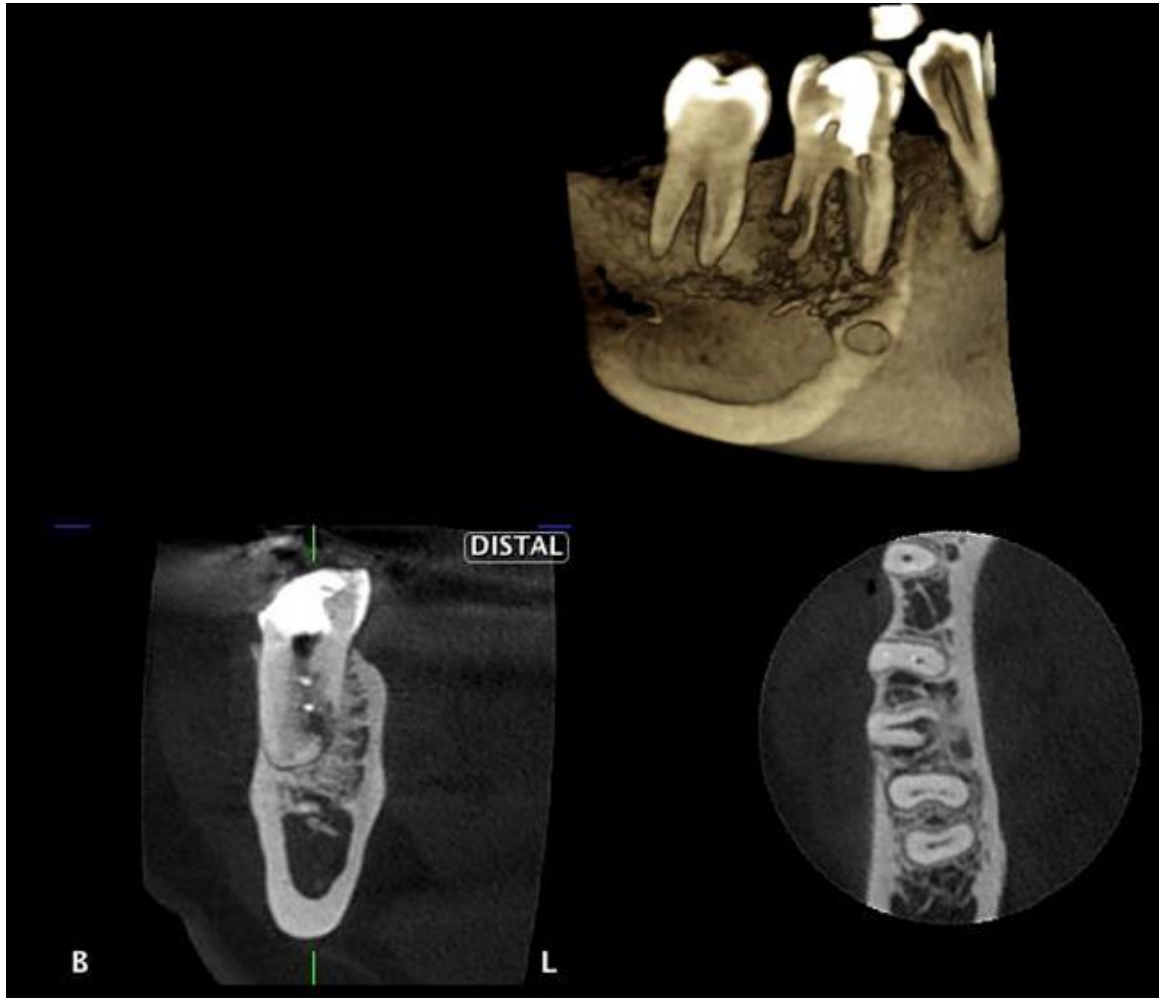


Fig. 15 Tomografía Cone beam que revela reabsorción radicular. (Yaringaño-Medina, 2017)

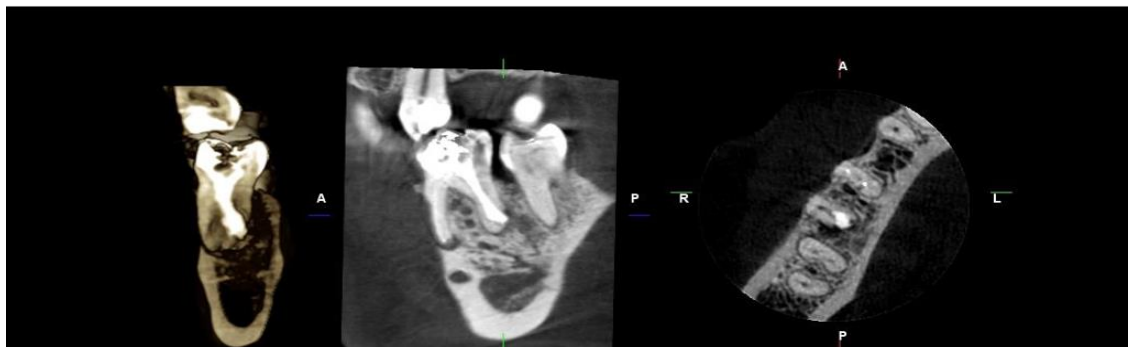


Fig. 16 Control a 4 meses se mantiene asintomático y en función.

### 10.3 Obturación retrógrada.

La cirugía es la última opción de elección de tratamiento en piezas dentales con procesos inflamatorios recurrentes, independientemente de la causa que los provoque. Al hablar de una obturación retrógrada es porque previamente ya existió un tratamiento complejo que bien puede incluir un tratamiento y/o retratamiento de conductos y la infección o proceso inflamatorio es persistente, y la última opción a considerar fue realizar un corte o sección de ápice y se debe obligatoriamente realizar un sellado de la cavidad resultante.

La obturación retrógrada consiste en la colocación de un material de obturación que proporcione un sellado apical eficiente, es decir, un sellado tal, que aisle el medio interno de la pieza dental en el que sea colocado, del ambiente adyacente en el que éste se encuentra.

También uno de los objetivos finales de éste tipo de tratamiento es la regeneración completa del aparato de inserción periodontal apical dañado y el hueso circundante.<sup>(14)</sup>

La capacidad de sellado de los BC está siendo ampliamente investigada, demostrada y difundida, está muy bien documentada en estudios *in vitro* e *in vivo* en animales, los materiales que han sido aplicados en las cavidades al extremo de la raíz de los dientes tratados demostraron un sellado eficiente y duradero, también han demostrado ser más biocompatibles que los materiales usados con anterioridad como amalgama, resina, cementos a base de óxido de zinc etc. Su capacidad de fraguado en ambientes húmedos como se ha detallado con anterioridad, los vuelve el material de elección para la obturación retrógrada, algunas casas comerciales han realizado modificaciones en su fórmulas para que el tiempo de fraguado se adecúe más al tipo de tratamiento para el que va a ser empleado, tal es el caso de Biodentine® que con 9 minutos de tiempo total de fraguado puede ser empleado en éste tipo de terapias por el tiempo limitante y que debe ser considerado para un procedimiento quirúrgico de ésta naturaleza. <sup>(14) (28)</sup>

La capacidad de inducir la remineralización ósea y sorprendentemente regular un aumento en la expresión génica relacionada a la mineralización es la causa de que haya aumentado el uso generalizado de estos materiales en diversas aplicaciones como ya se ha comentado, pero una de las razones que pudiera volver ideal a los BC para la obturación retrógrada, es la posibilidad de la regeneración de tejido periapical que no solo consiste en hueso, estudios han demostrado que promueven la expresión génica relacionada a la producción de colágeno tipo I y sialoproteína ósea (asociada a la formación de nuevo tejido mineral) que regula la maduración de los cristales de hidroxapatita. <sup>(14)</sup>

La cantidad de relleno de obturación retrógrada dependerá del plan de tratamiento, sin embargo, el espesor mínimo debe ser de entre 2 - 3 mm, para el caso de que se realice apicectomía el relleno deberá ser desde 5 hasta 7 mm, esto dependerá del defecto *in situ*.<sup>(14)</sup>

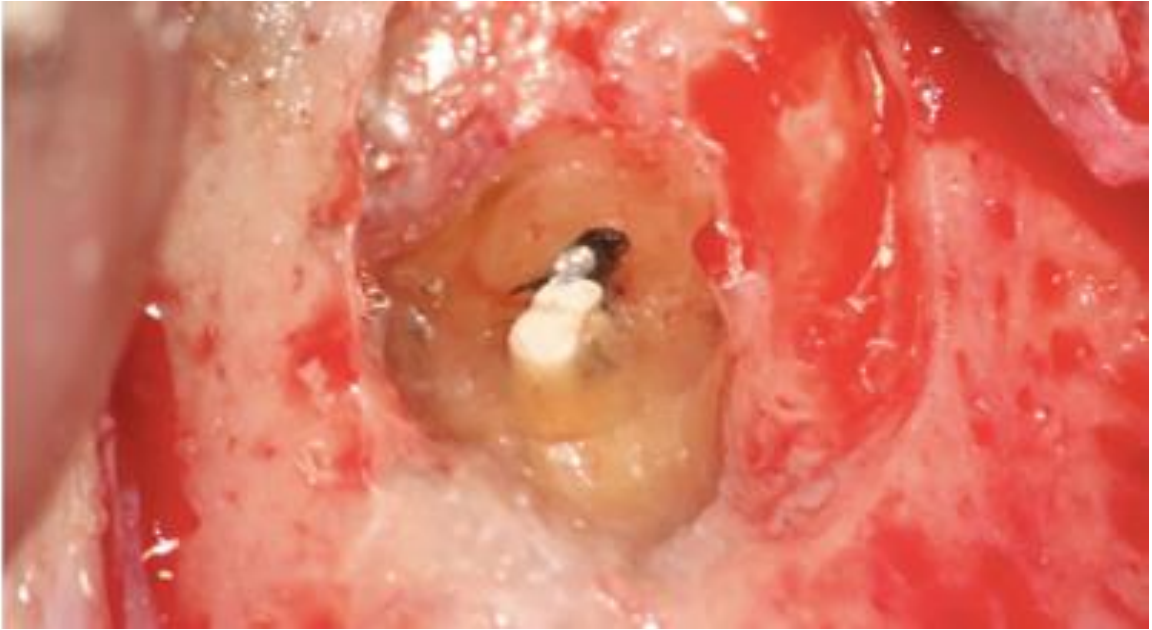
En 2016 Leandro A. P. Pereira reportó el caso de una paciente de 68 años a quien se le diagnosticó absceso periapical agudo derivado de un tratamiento de conductos ineficiente y obturación con cono de plata en la pieza 11 hacía 35 años aproximadamente, radiográficamente se observó una imagen radiolúcida perirradicular indicativo de una lesión ósea. El plan de tratamiento que se llevó a cabo fue un retratamiento del conducto, obturación con gutapercha, remoción del cono de plata, apicectomía y obturación retrógrada con MTA. El control radiográfico a 6 meses mostró una rápida regeneración ósea.<sup>(49)</sup>



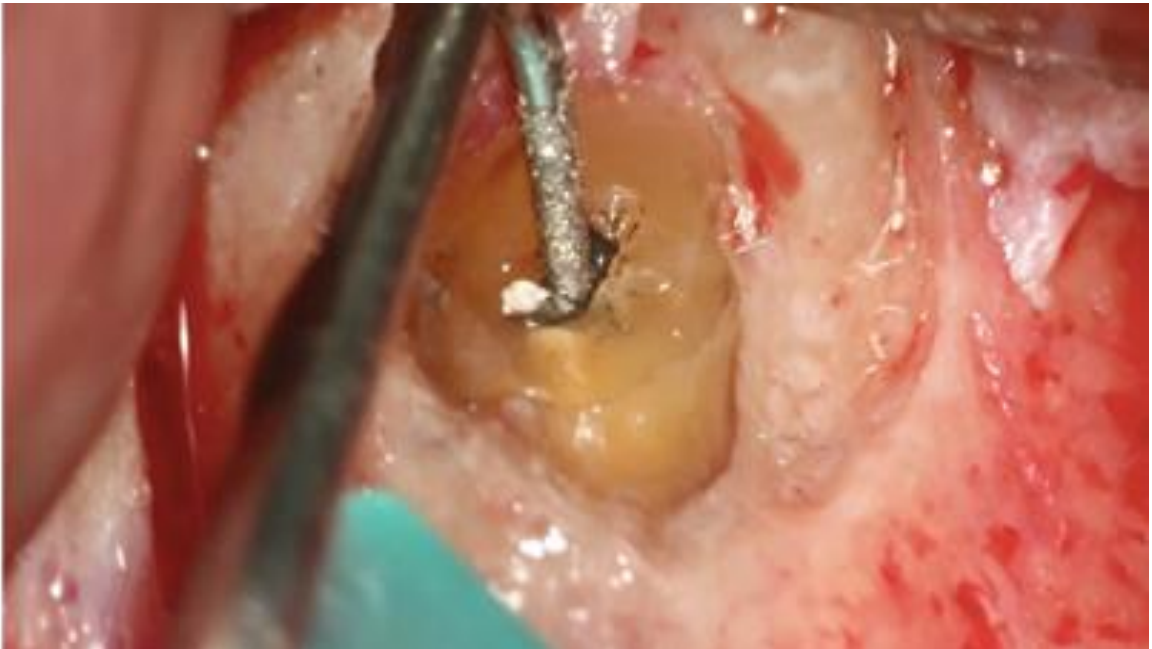
**Fig. 17** Radiografía inicial.



**Fig. 18** Radiografía posterior a la obturación, se observa un fragmento del cono de plata. (Pereira, 2016)

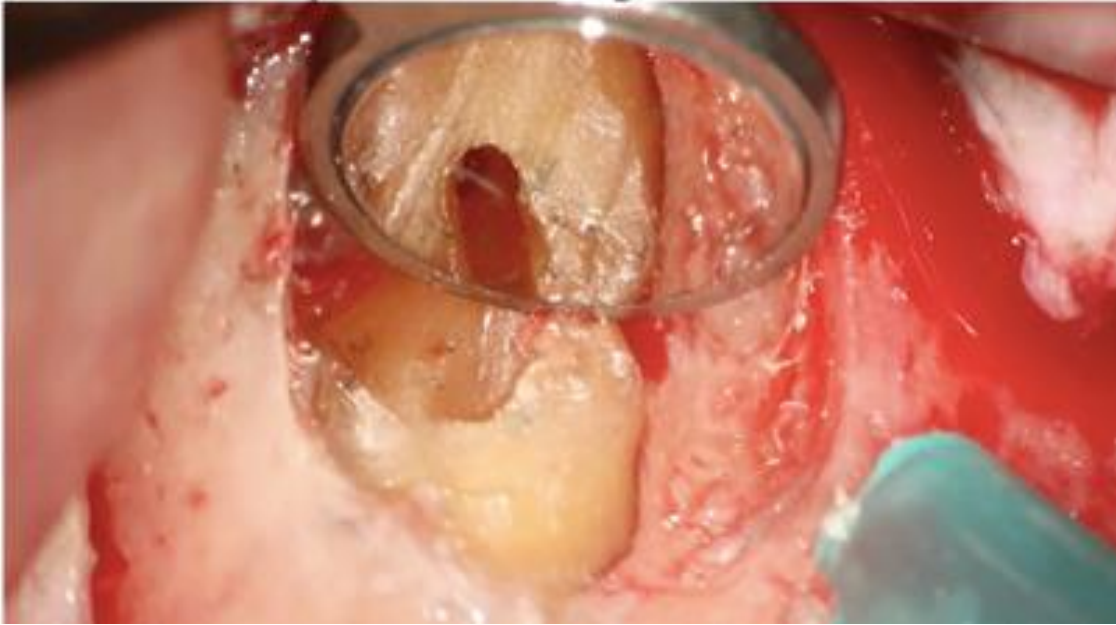


**Fig. 19** Tercio apical posterior al procedimiento de apicectomía. (Pereira, 2016)

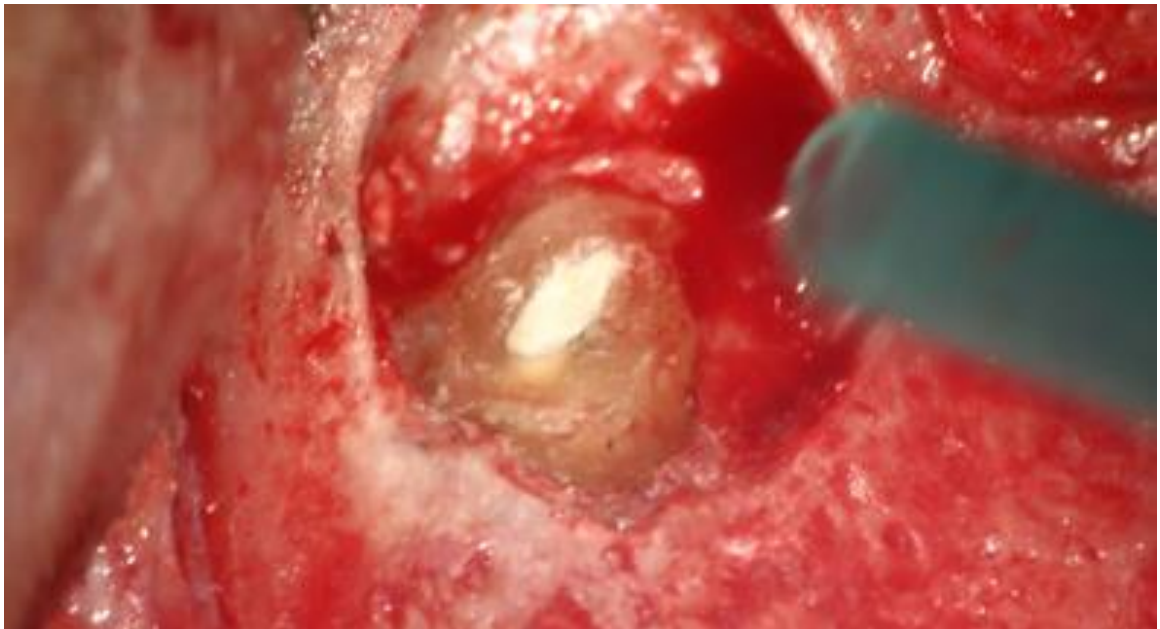


**Fig. 20** Remoción del cono de plata. (Pereira, 2016)

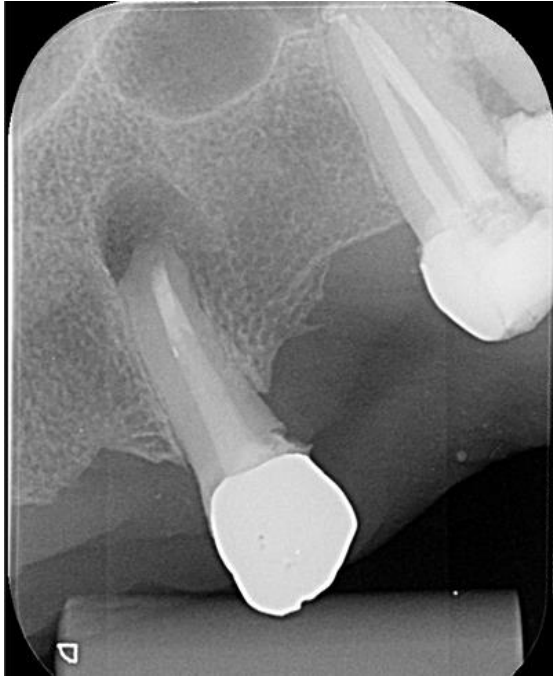




**Fig. 21** Remoción del cono de plata. (Pereira, 2016)



**Fig. 22** Obturación retrógrada con MTA BioC Repair RTU (Angelus, Brasil). (Pereira, 2016)



**Fig. 23** Radiografía posterior inmediata a obturación retrógrada. (Pereira, 2016)



**Fig. 24** Radiografía de control a los 6 meses del procedimiento. (Pereira, 2016)

#### 10.4 Formación radicular incompleta.

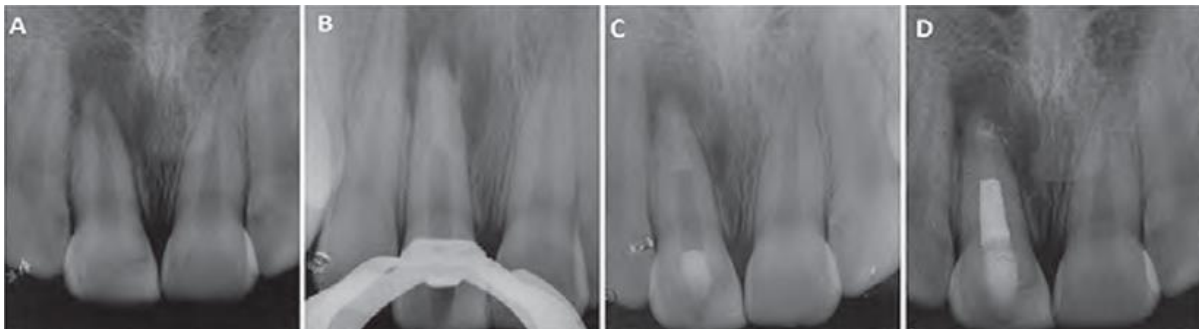
El tratamiento común para éste tipo de patología es el uso de hidróxido de calcio y tiene como objetivo la “irritación” tisular provocada por su pH básico con el propósito de promover una respuesta inflamatoria celular que eventualmente conlleve al cierre apical, la desventaja de ésta terapia es que se requiere de varias citas de control y aplicaciones hasta lograr el resultado deseado si es que el organismo del paciente así lo permite.

Generalmente, el protocolo a seguir es el tratamiento de conductos con abundante irrigación con NaOCl al 2.5 en caso de pulpa necrótica, medicación intraconducto que puede ser con minociclina, ciprofloxacina y metronidazol. Después de 1 a 4 semanas, se retira el medicamento intraconducto y se coloca un “tapón” apical de aproximadamente 5 mm de grosor del biocerámico de elección y de acuerdo a sus indicaciones de uso para inmediatamente después realizar la obturación con conos de gutapercha y el cemento sellador de elección. <sup>(28) (48)</sup>

El principio de acción para la terapia de formación radicular incompleta, es prácticamente el mismo que opera en todas las aplicaciones expuestas. El uso de BC en éste caso, es debido a su propiedad a prueba de microfiltraciones y excelente capacidad de sellado como resultado de la biomineralización a la que inducen.

Este tipo de procedimientos regenerativos se ha llevado a cabo con éxito en animales y se ha observado histológicamente tejido similar al hueso, cemento, inclusive tejido blando regenerado en el conducto radicular, carente de una capa celular odontoblástica, por lo que solo podría describirse como tejido similar a la pulpa.

Tanto el tejido similar al hueso como al ligamento periodontal se localizaron en el área central del conducto radicular, mientras que el tejido similar al cemento se depositó en la superficie del conducto interno, lo que provocó el engrosamiento de la pared dentinaria y el aumento del cierre de la raíz. <sup>(28)</sup>



**Fig. 25** Incisivo central superior derecho con diagnóstico de necrosis pulpar asociado a traumatismo dental. (A) Radiografía inicial del diente con ápice abierto. (B) Formación de tope apical con Biodentine. (C) Control radiográfico a los 8 días. (D) Relleno del conducto con gutapercha termoplastificada. (Caso Clínico Dr. Aldo Lizana Pais) (Espinoza, 2020)

## 10.5 Recubrimiento pulpar.

El recubrimiento pulpar es un tratamiento frecuente que tiene por objetivo la estimulación de células provenientes del tejido pulpar para obtener la formación de una capa de dentina con el espesor suficiente para mantener la vitalidad del órgano dental. Como es ya sabido el recubrimiento puede ser:

- ✚ **Recubrimiento Pulpar Indirecto:** es una conducta clínica específica para el tratamiento de lesiones de caries aguda o profunda, con sintomatología correspondiente a una pulpa potencialmente reversible, sin presentar exposición pulpar visible. La pulpa se encuentra en estado potencialmente reversible cuando no hay registro de dolor espontáneo y cuando responde fugazmente a estímulos táctiles y térmicos, especialmente al frío. <sup>(45)</sup>
- ✚ **Recubrimiento Pulpar Directo:** es el procedimiento en el cual la pulpa dental expuesta accidentalmente, durante la preparación cavitaria o por trauma, es recubierta con un material protector y al mismo tiempo, estimula la formación de una barrera o puente de osteodentina reparadora. <sup>(45)</sup>



Desde que se reportó con éxito relativo el uso del hidróxido de calcio como terapia de recubrimiento pulpar entre 1934 y 1941 se le ha considerado a éste como el material de elección para dicho tratamiento, el problema de su uso es que presenta desventajas como baja capacidad de sellado, alta disolución y poca adherencia a la dentina, sin embargo, no fue hasta el advenimiento del MTA y posteriormente el desarrollo de materiales biocerámicos a base de silicato de calcio, que eventualmente se fue desplazando al hidróxido de calcio. <sup>(28)</sup>

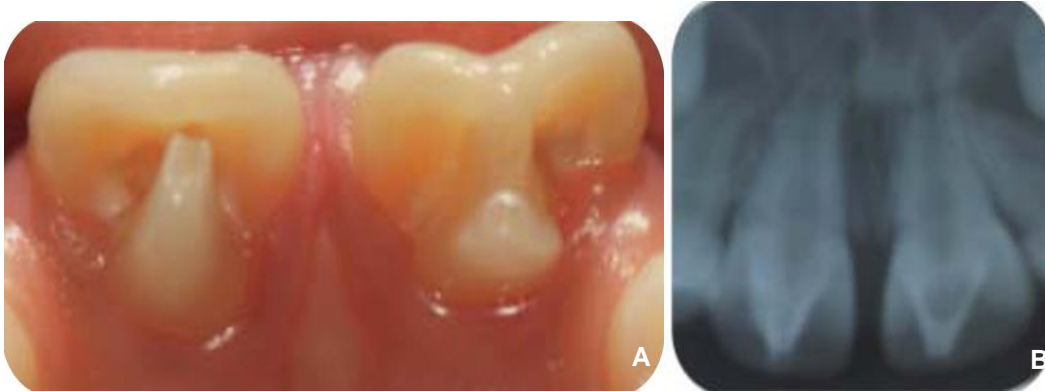
Estudios *in vivo* en ratones a los que se les aplicó BC reportaron éxito en el tratamiento de recubrimiento pulpar, se dio seguimiento en el transcurso de 5 semanas obteniendo los siguientes resultados:

- 2 primeros días: se presentó una fase inflamatoria.
- 2 semanas: inició el proceso de reparación sin infiltración de células inflamatorias.
- 5 semanas: se hizo visible un puente de osteo-dentina sobre el tejido pulpar, así como la aparición de múltiples células similares a odontoblastos. <sup>(28)</sup>

En estudios comparativos de MTA vs hidróxido de calcio en animales de mayor tamaño, los resultados concluyeron que existe un mejor desempeño de ese tipo de materiales en animales de mayor tamaño, además de que en comparación con el hidróxido de calcio, en las pulpas en las que se colocó MTA las observaciones histológicas evidenciaron la presencia de células similares a odontoblastos mientras que por el contrario en las que se colocó hidróxido de calcio no se encontraron estos tipos celulares. <sup>(28)</sup>

Por lo anteriormente expuesto, los BC están desplazando de manera importante al hidróxido de calcio como tratamiento para el recubrimiento pulpar; para su aplicación se realiza una limpieza mecánica del área de exposición, se desinfecta con hipoclorito de sodio al 5% y se aplica el material BC o MTA en un espesor de 1.5 a 3 mm sobre el sitio de exposición, dejando de 1 a 2 mm de dentina y esmalte circunferencial sin recubrimiento para la unión de la restauración definitiva. <sup>(14)(28)</sup>

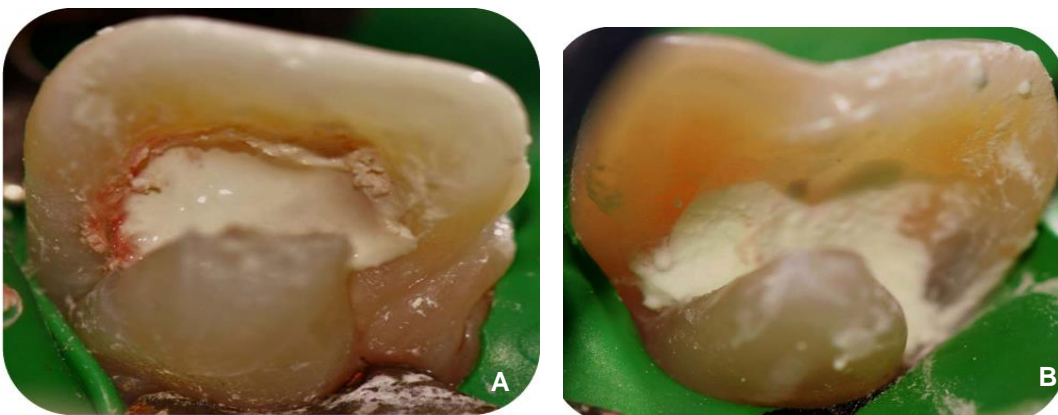
El siguiente caso corresponde al seguimiento de un año posterior a un recubrimiento pulpar directo realizado a un paciente con diagnóstico de *Dens Invaginatus* en las piezas dentales 11 y 21 sin sintomatología, y con respuesta positiva a pruebas de vitalidad pulpar realizado por la Dra. Laura Nayelli Orozco Martínez.



**Fig. 26** (A) Fotografía clínica inicial, (B) Radiografía inicial. (Martínez., 2017)



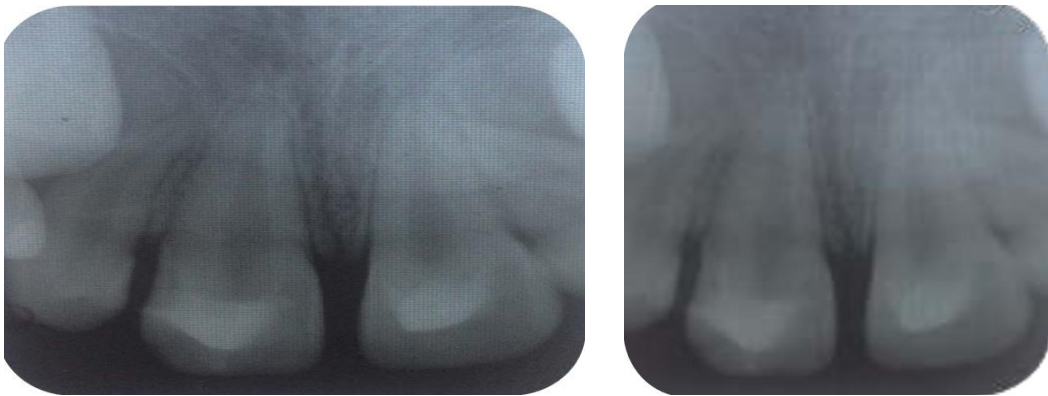
**Fig. 27** Exposición pulpar mecánica posterior a eliminación de tejido carioso. (Martínez., 2017)



**Fig. 28** (A) Recubrimiento pulpar directo con Biodentine® en pieza 21, (B) Recubrimiento pulpar directo con MTA (Angelus, Lodrina, Paraná Brasil) en pieza 11. (Martínez., 2017)



**Fig. 29** Reconstrucción con ionómero de vidrio en ambas piezas. (Martínez., 2017)



**Fig. 30** (A) Radiografía final posterior al procedimiento (B) Radiografía de control a seis meses posteriores al procedimiento. (Martínez., 2017)



**Fig. 31** Radiografía de control a un año posterior al tratamiento, no se observa alguna alteración. (Martínez., 2017)



**Fig. 32** Fotografía clínica de control a un año del procedimiento, no se observan alteraciones o cambio de color en las piezas tratadas. (Martínez., 2017)



**Fig. 33** Fotografía clínica por palatino, control a un año del procedimiento, no se observan alteraciones o cambio de color en las piezas tratadas. (Martínez., 2017)

## 10.6 Pulpotomía y revascularización.

La pulpotomía o es un procedimiento en el que el tejido pulpar dañado e inflamado debajo de una exposición se extrae a una profundidad de dos milímetros para preservar la vitalidad de la pulpa coronal y radicular restante y generalmente se realiza en órganos dentales de pacientes jóvenes. <sup>(46)</sup>

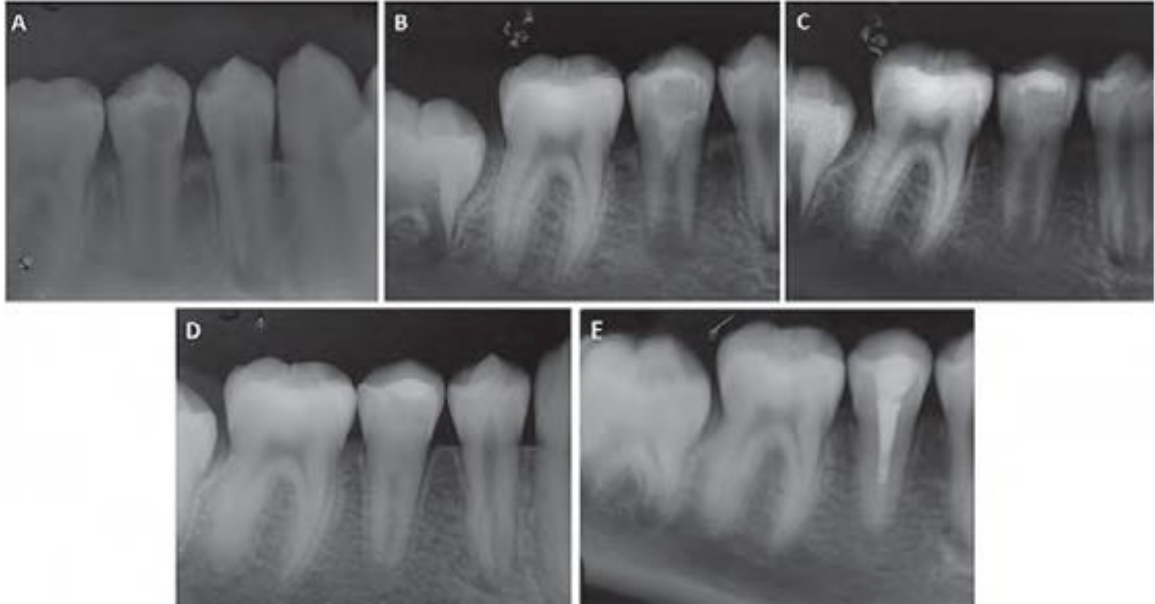
El objetivo de ésta terapia es preservar la vitalidad pulpar y la conservación de la pieza dental de que se trate, los BC resultan el material ideal por las propiedades ya descritas como fraguado en ambientes húmedos y remineralización de tejido dental.

Cuando exista indicación para realizar una pulpotomía, se retira el tejido hiperplásico en un espesor de aproximadamente 2mm y se irriga con solución salina. Se debe controlar la hemostasia y se cubre directamente y sin hacer presión con un material BC o MTA cuidando siempre que el espesor no sea menor a 1.5 a 3.0 mm. Posteriormente se puede recubrir con una delgada capa de ionómero de vidrio o una resina antes de realizar la restauración. <sup>(12)</sup>

La revascularización es el procedimiento a través del cual se busca la regeneración del complejo dentino – pulpar dañado en dientes permanentes inmaduros que hayan cursado por un proceso de necrosis pulpar. Como ya se mencionó con antelación, existe evidencia de estudios *in vivo* en perros y ratones de regeneración de tejido blando en el conducto radicular, carente de una capa celular odontoblástica, también se ha descrito la expresión del factor VEGFA (factor de crecimiento endotelial vascular). <sup>(36) (37)</sup>

En las piezas dentales que tengan la indicación de revascularización, posterior a la instrumentación y medicación con hidróxido de calcio, se va a realizar una estimulación de sangrado, sobrepasando el foramen apical con una lima endodóncica calibre 10 o 15, con una torunda de algodón estéril se realiza compresión de la sangre a nivel cervical hasta obtener un coágulo aproximadamente a 3 mm del límite amelo-cementario.

Posteriormente se coloca el material BC de elección de 3 a 4 mm de espesor e inmediatamente después se realiza el sellado con ionómero de vidrio. Debemos recordar que la respuesta de cada individuo va a depender de su organismo y de los factores que se pudieran conjugar para que exista variación en el resultado, estos pueden ser edad, condiciones sistémicas etc.; se deben realizar controles postoperatorios cada 3 a 6 meses durante al menos 2 años. Obviando que si el resultado es exitoso, clínicamente la pieza dental será asintomática y radiográficamente sin evidencia de daño perirradicular, engrosamiento de paredes del conducto e inclusive aumento de la longitud de raíz. <sup>(12)</sup>

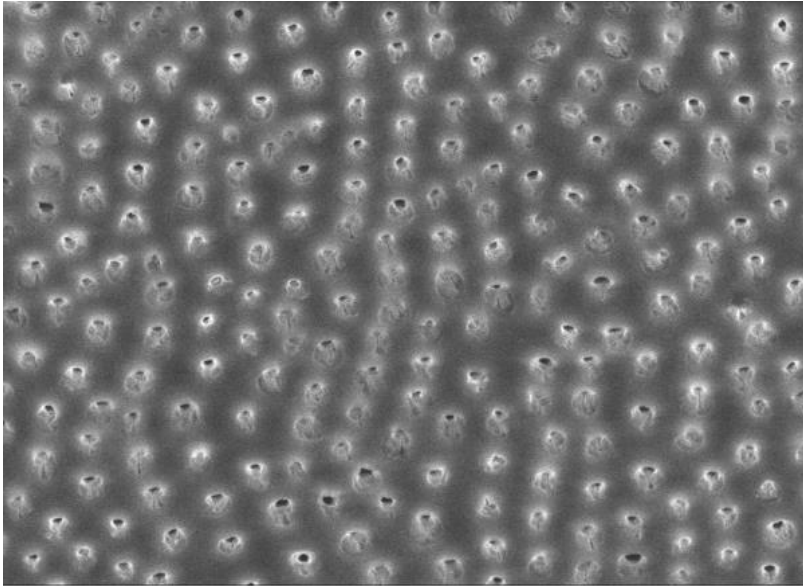


**Fig. 34** Segundo premolar inferior derecho con diagnóstico de necrosis pulpar en paciente de 10 años de edad, (A) Radiografía inicial. (B) Aplicación de barrera de Biodentine posterior a la estimulación del sangrado apical. (C) Control radiográfico a los 3 meses. (D) Control radiográfico a los 6 meses. (E) Obturación radicular con Biodentine y gutapercha termoplastificada. (Caso Clínico Dr. Aldo Lizana Pais) (Espinoza, 2020)

## 10.7 Cemento sellador.

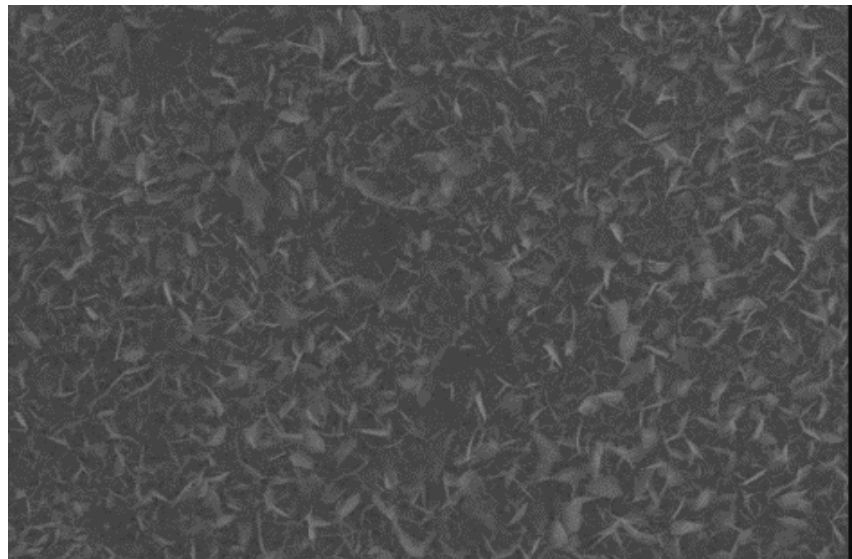
En la actualidad los BC empezaron a ganar terreno como material ideal para el sellado de conductos ante la prevalencia que existía del uso de cementos selladores a base de hidróxido de calcio, la principal diferencia o ventaja de los materiales biocerámicos es que son hidrofílicos y por lo tanto, la humedad que pudiera estar presente en el conducto y existente en los túbulos dentinarios resulta ventajosa tanto para el fraguado y expansión que sufren los biocerámicos, como para el sellado debido a la remineralización, todos estos factores logran que se obtenga un espacio de interfaz reducido o nulo y la consecuente obstrucción para el ingreso y desarrollo bacteriano.





**Fig. 35** Superficie de dentina después del tratamiento con EDTA para eliminar la capa de frotis y abrir los túbulos dentinarios para simular una superficie dentinaria hipersensible.

**Fig. 36** La aplicación de un BC experimental creó una nueva capa de frotis artificial compuesta principalmente de silicato de calcio y (después de la inmersión en saliva y / o SBF) fosfato de calcio. Los túbulos dentinarios se cerraron completamente y se redujo la permeabilidad de la dentina. (Prati C, 2015)



## 11. DISCUSIÓN.

Actualmente la odontología mínimamente invasiva ha cobrado fuerza debido a que se tiene plena conciencia de la importancia que tienen las piezas dentales no solo por estética, también por salud y calidad de vida.

Debido a éstas razones la odontología busca realizar tratamientos que der ser posible mantengan la vitalidad y nutrición de los dientes en los casos que sea posible y sobre todo no solo que se mantengan en boca sino que también sean funcionales.

Si bien el tratamiento de conductos es el tratamiento de elección cuando existe una contaminación pulpar, la llegada de los BC abrió una serie de múltiples opciones como el que sea posible un recubrimiento pulpar y con ello evitar perder la vitalidad de la pieza. Espinoza et. al. en la Revista Científica Conducto Abierto del año 2020, enlistan las diversas aplicaciones que tienen estos materiales como: reparación de perforaciones ya sean laterales o en furca, coadyuvante en reabsorciones radiculares (internas o externas), obturación retrógrada, apicogénesis y apexificación, recubrimiento pulpar, cemento sellador etc.

Song et. al. en la revista *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* del año 2020, señala que éstas aplicaciones se han concluido debido a los hallazgos celulares observados, entre los que se encuentran la capacidad de generar una respuesta inflamatoria aguda al mismo tiempo que controlada pues inhiben la expresión de citosinas IL-1 $\alpha$  e IL-1 $\beta$ , asociadas con degradación tisular, lo que contribuye a la regeneración de manera favorable, inducción de la producción de células similares a odontoblastos, inducción de producción de dentina terciaria (reparación), incremento en el número de células polimorfonucleares y células mononucleares, abundante deposición de colágeno y tejido de granulación y la expresión génica de marcadores osteogénicos, odontogénicos e incluso angiogénicos.

Por otra parte, Yepes et. al. en la Revista de la Facultad de Odontología de la Universidad de Antioquía del año 2013, habla acerca de que debido a las propiedades halladas en los materiales BC el uso de Hidróxido de calcio se ha visto disminuido y sustituido por éstos, sobre todo también por su cualidad de fraguado en ambientes húmedos y su baja solubilidad motivo de la remineralización que promueve.

De igual manera Song et. al. en la revista *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* del año 2020, destaca que los resultados del seguimiento en los tratamientos donde se han utilizado los BC hasta ahora son prometedores, sin embargo, aún siguen siendo observadas sus propiedades y cualidades debido a que no existen suficientes estudios *in vivo* a largo plazo debido a su reciente aparición, sin que esto quiera decir que los



resultados y estudios que se tienen a la fecha no sustenten una buena evidencia para su uso.

## 12. CONCLUSIÓN.

El desarrollo tecnológico presente y constante en cualquier ámbito hace posible nuevas, diversas y mejoradas aplicaciones para cualquier material del que se trate. En éste caso en el ámbito médico, la investigación y estudios frecuentes han hecho posible que el profesional en odontología tenga a la mano nuevos materiales que no solo ayuden a suplir funciones perdidas o la reparación de tejidos, también se ha logrado descubrir y desarrollar materiales que aparte de ser inocuos en el organismo, inclusive lleven a una estimulación celular para regeneración y reparación, tal es el caso de los materiales biocerámicos, inicialmente como producto de un “accidente” se descubrió la adhesión celular con capacidad osteo-regenerativa en titanio, y a partir de ese momento se enfocó el estudio progresivo a materiales derivados del sílice por su capacidad de fraguado en ambientes con presencia de humedad, y para beneficio del área odontológica se hicieron hallazgos de remineralización de tejido óseo, dental, e incluso tejido blando que brindan la oportunidad de ofrecer a los pacientes una alternativa más antes de llegar a la pérdida dental y consecuentemente ósea, pérdida de la función y disminución en la calidad de vida.

Si bien los materiales biocerámicos son de reciente aparición en comparación con muchos de los materiales usados en odontología, los resultados que han demostrado en estudios *in vitro* e *in vivo* han sido exitosos y son prometedores a largo plazo por ser considerados biomateriales, no solo fungen como un material que se pueda aplicar sin tener efectos tóxicos o que sean reabsorbibles, ya se encuentra bien documentada su capacidad de estimulación celular, controlar la respuesta inflamatoria y de manera sorprendente inducir a una expresión génica que controla de manera ordenada el proceso de reparación tisular.

De la bibliografía consultada pude concluir que los BC son favorecedores para propiciar una regeneración ósea y en consecuencia se logra obtener el sellado tridimensional que se persigue en los tratamientos de conductos. Dentro de los hallazgos celulares reportados en los seguimientos llevados a cabo, se encuentran la capacidad de generar una respuesta inflamatoria aguda al mismo tiempo que controlada pues inhiben la expresión de citosinas IL-1 $\alpha$  e IL-1 $\beta$ , asociadas con degradación tisular, lo que contribuye a la regeneración de manera favorable, inducción de la producción de células similares a odontoblastos, inducción de producción de dentina terciaria (reparación), incremento en el número de células polimorfonucleares y células mononucleares, abundante deposición de colágeno y tejido de granulación y la expresión génica de marcadores osteogénicos, odontogénicos e incluso angiogénicos.

Todas éstas características nos brindan un futuro alentador respecto al uso de materiales para uso no solo endodóncico, sino para en toda el área

odontológica y desde luego médica, sin embargo, al mismo tiempo que nos proporcionan la confianza para su uso, nos lleva a ser más cuidadosos en los tratamientos para llevarlos a cabo de manera minuciosa, si bien en recubrimientos pulpares, perforaciones y obturaciones retrógradas han sido reportados con éxito, como cemento sellador aún continúan en observación debido a que pudiera resultar contraproducente su propiedad de remineralización ya que en caso de un retratamiento podría dificultarse la desobturación de la pieza dental.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Real Academia Española: Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.4 en línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/material> [06/10/21].
2. Bhat, S., & Kumar, A. (2013). Biomaterials and bioengineering tomorrow's healthcare. *Biomatter*, 3(3), e24717.
3. Amato, S. F., & Ezzell Jr, R. M. (Eds.). (2014). *Regulatory affairs for biomaterials and medical devices*. Elsevier.
4. Camilleri, J. (Ed.). (2014). *Mineral trioxide aggregate in dentistry: from preparation to application*. Springer.
5. Garchitorea, M. I. (2019). Vidrios bioactivos en odontología restauradora. *Odontoestomatología*, 21(34), 33-43.
6. Ratner, B. D., & Bryant, S. J. (2004). Biomaterials: where we have been and where we are going. *Annu. Rev. Biomed. Eng.*, 6, 41-75.
7. Eliaz N, Metoki N. Calcium Phosphate Bioceramics: A Review of Their History, Structure, Properties, Coating Technologies and Biomedical Applications. *Materials (Basel)*. 2017 Mar 24;10(4):334. doi: 10.3390/ma10040334. PMID: 28772697; PMCID: PMC5506916.
8. Cravens, J. E. (1876). Treatment of Exposed Pulp by Lacto Phosphate of Lime. *The American journal of dental science*, 10(6), 274.
9. Alberdi, J. C., & Martín, G. (2021). Selladores biocerámicos y técnicas de obturación en endodoncia. *Revista de la Facultad de Odontología*, 14(1), 17-23.
10. Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. *Construcción y tecnología en concreto*, 20-24.
11. Donnermeyer, D., Bürklein, S., Dammaschke, T., & Schäfer, E. (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology*, 107(4), 421-436.
12. Espinoza, F., Lizana, A., & Muñoz, P. Biocerámicos en odontología, una revisión de literatura.

13. Di Martino, J. M. (2020). *Bioactividad de cementos endodónticos a base de silicato de calcio* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Odontología).
14. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015, Epub 2015 Feb
15. Topalian, M. (2002). Efecto citotóxico de los cementos selladores utilizados en endodoncia sobre el tejido periapical. Consultado el 14 de Octubre de 2021 Recuperado de: [https://carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado\\_23.htm](https://carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado_23.htm)
16. CeraSeal Manual de usuario, META BIOMED CO. LTD., recuperado de://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.kometdental.de%2F~%2Fmedia%2FKometDental%2FIFU%2FSyncFolder%2F10008532\_pdf.pdf%3F8073966f-cd0f-48ff-9a0f-11dc88b10427&clen=817011&chunk=true, Fecha de consulta: 16-oct-2021, Hr. 10:35 pm
17. Endosequence BC Sealer Manual de uso, Brasseler U.S.A. Dental, LLC, recuperado de://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fbrasselerusa.com%2Fwp-content%2Ffiles%2FIFU-0018%2520Brasseler%2520USA%2520ES%2520BC%2520Sealer%2520IFU%2520REV%2520B.pdf&clen=94568&chunk=true; Fecha de consulta: 16-oct-2021, Hr. 11:20 pm.
18. Pedano MS, Li X, Yoshihara K, Landuyt KV, Van Meerbeek B. Cytotoxicity and Bioactivity of Dental Pulp-Capping Agents towards Human Tooth-Pulp Cells: A Systematic Review of In-Vitro Studies and Meta-Analysis of Randomized and Controlled Clinical Trials. *Materials* (Basel). 2020 Jun 12;13.
19. Collado-González, M., López-García, S., García-Bernal, D., Oñate-Sánchez, R. E., Tomás-Catalá, C. J., Moraleda, J. M., & Rodríguez-Lozano, F. J. (2019). Biological effects of acid-eroded MTA Repair HP and ProRoot MTA on human periodontal ligament stem cells. *Clinical oral investigations*, 23(10).
20. Fernández Monjes, J., Maresca, B. M., & Bregni, C. (2020). Biocerámicos: aspectos fármaco-tecnológicos y clínicos de uso odontológico. *Rev. Ateneo Argent. Odontol*, 31-38.
21. Díaz-Hernández, D. Z. & Sarmiento-Alipio, J. A. (2020). Concreto a base de cenizas volantes activadas alcalinamente, modificado con

nanopartículas de óxido de silicio y dióxido de titanio. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia

22. Amaya, M. E., Botero, E., & Ovando, E. Óxido de calcio en la estabilización de suelos arcillosos. 2018. Instituto de Ingeniería, UNAM, México, CD. MX., Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.
23. Hidróxido de sodio, Hoja de seguridad, química.unam.mx, recuperado de: <https://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fquimica.unam.mx%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F12%2F2F2hsnaoh.pdf&clen=71478&chunk=true> consultado: 22/10/2021
24. Wang, L. J. (2018). Protecciones personales de aramida reforzado con STF ante arma blanca (Tesis de Licenciatura). Recuperado de: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/29216>, Hr. 11:46 pm., fecha: 25/10/21
25. Flores-Garay, K. A., Martínez-Luévanos, A., Cruz-Ortiz, B. R., García-Cerda, L. A., & López-Badillo, C. M. (2016). Síntesis de silicatos de calcio por el método Pechini e intercambio iónico de alginato de sodio-cloruro de calcio. *boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio*, 55(6), 239-245.
26. Palomino-Delgado, M. A., Gonzales-Mattos, J. A., Torres-Torres, J., & García-Rupaya, C. R. (2018). Comparación de la resistencia a la fractura de dos materiales de reforzamiento radicular en dientes con tratamiento endodóntico. *Revista Científica Odontológica*, 6(1), 19-28.
27. Trujillo-Hernández, M., Flores-Ventura, R. E., García-González, L., Hernández-Torres, J., Zamora-Peredo, L., & Suárez-Franco, J. L. (2019). Estudio comparativo de la bioactividad de dos materiales biocerámicos. *Odvotos International Journal of Dental Sciences*, 21(2), 73-81.
28. Song, W., Sun, W., Chen, L., & Yuan, Z. (2020). In vivo biocompatibility and bioactivity of calcium silicate-based bioceramics in endodontics. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 1113.
29. Moncada Gustavo, Millas Rodrigo, Valdés Constanza. Morfología y Fisiopatología del Fibrocartílago de la ATM. Revisión sistemática. *Int. j interdiscip. dent.* 2020 Dic [citado 2021 Nov 02]; 13( 3 ): 151-156. Disponible en:

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2452-55882020000300151&lng=es](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2452-55882020000300151&lng=es). <http://dx.doi.org/10.4067/S2452-55882020000300151>.

30. Correa, D., Almirall, A., Brito, L., García, R., dos Santos, L. A., de Aza, A., Delgado, J. Á. (2014). Cemento de  $\beta$ -Silicato Dicálcico para Aplicaciones Biomédicas. *Revista Tecnología y Ciencia*, (26), 32-40.
31. Pappalardo, D., Mathisen, T., & Finne-Wistrand, A. (2019). Biocompatibility of resorbable polymers: a historical perspective and framework for the future. *Biomacromolecules*, 20(4), 1465-1477.
32. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *J Pak Med Assoc*. 2020 Mar;70(3)
33. Szcześ, A., Hołysz, L., & Chibowski, E. (2017). Synthesis of hydroxyapatite for biomedical applications. *Advances in colloid and interface science*, 249, 321-330.
34. Nobre, C. M. G., Pütz, N., & Hannig, M. (2020). Adhesion of hydroxyapatite nanoparticles to dental materials under oral conditions. *Scanning*, 2020.
35. Correa, M. D., & López, M. R. (2007). Activación alternativa del macrófago: La diversidad en las respuestas de una célula de la inmunidad innata ante la complejidad de los eventos de su ambiente. *Inmunología*, 26(2), 73-86.
36. Sanz, J. L., Rodríguez-Lozano, F. J., Llena, C., Sauro, S., & Forner, L. (2019). Bioactivity of bioceramic materials used in the dentin-pulp complex therapy: A systematic review. *Materials*, 12(7), 1015.
37. Rey cubillos, J. A., Lareo, L., Gutiérrez, S., & Godoy Corredor, M. (2012). Alkaline phosphatase (alp) and runx2 in cell cultures stimulated osteoblasts electric field. *Revista Med*, 20(2), 14-20.
38. Cervantes-Martínez, J., Orihuela-Equihua, R., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2017). Acerca del desarrollo y control de microorganismos en la fabricación de papel. *Conciencia Tecnológica*, (54).
39. Chávez L., Garza-Cervantes J., Caballero-Hernández D., González-López R., Sepúlveda-Guzmán S., Cantú-Cárdenas E. Synthesis and characterization of calcium hydroxide obtained from agave bagasse and investigation of its antibacterial activity. *Rev. Int. Contam. Ambient [revista en la Internet]*. 2017 [citado 2021 Nov 06] ; 33( 2 ): 347-353. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992017000200347&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992017000200347&lng=es).

40. Arandi, N. Z. (2017). Calcium hydroxide liners: a literature review. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dentistry*, 9, 67.
41. Yepes F. L., Castrillón C. A. El hidróxido de calcio, como paradigma clínico, es superado por el agregado de trióxido mineral (MTA). *Rev Fac Odontol Univ Antioq [Internet]*. 2013 Dec [cited 2021 Nov 06]; 25( 1 ): 176-207. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-246X2013000200011&lng=en](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2013000200011&lng=en).
42. Takuma-Shinkawa, A., & Alamo-Palomino, J. (2018). Biodentine®: una nueva opción para el tratamiento de perforaciones de furca. *Revista KIRU*, 15(2).
43. Macias, T. G., Gutierrez, J. F., & Silva, A. N. (2018). Reabsorción radicular en ortodoncia. *Conacyt*.
44. Hernández S Filiberto, Marichi R Francisco J, Álvarez Marco A. Determinación de sialoproteína ósea en ligamento periodontal al inducir fuerzas ortodóncicas. *Rev. Odont. Mex [revista en la Internet]*. 2011 Mar [citado 2021 Nov 09];
45. Pereira, J. C., Esteves Barata, T. D. J., Costa, L. C., Ramos de Carvalho, C. U., Fagundes, T. C., Ribeiro de Mattos, M. C., ... & Hermoza Novoa, M. (2011). Recubrimiento pulpar directo e indirecto: mantenimiento de vitalidad pulpar. *Acta odontol. venez.*
46. Kang, C. M., Sun, Y., Song, J. S., Pang, N. S., Roh, B. D., Lee, C. Y., & Shin, Y. (2017). A randomized controlled trial of various MTA materials for partial pulpotomy in permanent teeth. *Journal of dentistry*, 60, 8-13.
47. Navarro, J. T., & Valle, P. H. (2019). Restauración radicular quirúrgica después de una reabsorción cervical externa con biocerámicos. reporte de un caso. *Reportaendo*, 6(1).
48. Barzuna Pacheco, M., & Téllez Cárdenas, A. M. (2018). Tapón apical con biocerámicos: tratamiento del ápice abierto en una cita. *Odontología Vital*, (29), 33-38.
49. Pereira, L. A. (2016) Microcirugía endodóntica Como Tratamiento Complementario de un Retratamiento Endodóntico de Canales con Obturación de Conos de Plata. *Angelus*.



50. Orozco Martínez, L. N. (2017). Recubrimiento pulpar directo en dens invaginatus con MTA y Biodentine: reporte de caso. Universidad Autónoma del Estado de México, (trabajo de grado) Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/80009>, Consultado el 22 Nov 21, Hora: 12:27