



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

Biodentine®: Aplicaciones clínicas en endodoncia y sus efectos sobre los tejidos periodontales.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N A D E N T I S T A

P R E S E N T A:

KARLA IVONNE CÁZARES GÓMEZ

TUTOR: Esp. DAVID CARMONA HERRERA

ASESOR: C.D. RODRIGO DANIEL HERNÁNDEZ MEDINA



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.

Agradecimientos:

A **Dios**, por siempre cuidarme en mi camino a la escuela y a casa. Por darme la fuerza mental y espiritual cuando sentía que no podía más. Por permitirme seguir en este mundo y bendecir mis manos para realizar el bien a mi prójimo.

A **mí**, por nunca rendirme. Por levantar la toalla cada vez que la tiraba. Por tener el deseo de superarme y lograr rendir en el trabajo y la escuela para poder sacar adelante este gran sueño de ser cirujana dentista.

A **Ivonne Gómez**, mi madre, porque desde pequeña siempre me enseñó a tener un objetivo firme. Por los cafés en esas noches largas de desvelo. Por apoyarme en cada decisión que he tomado.

A mis hermanos **Karen y Mario Aguilar**, por el esfuerzo que hicieron para apoyarme económicamente con esas inmensas listas de instrumental y por recordarme de vez en cuando lo orgullosos que los hago sentir.

A **Noé Aguilar**, mi segundo padre, porque, aunque no soy su hija genética, siempre me apoyó y procuró como a una. Gracias por quererme y apoyarme tanto.

A mi novio **Mario Gaytán**, por darme la motivación cuando ya la estaba perdiendo. Por enseñarme un poco más del camino de Dios. Por brindarme una segunda familia. Por ser mi “as bajo la manga” cada que algún paciente me cancelaba.

A mi tía **Brenda Gómez**, por las cenas de los “jueves de tanque” y por las ricas comidas que me mandaba para mi lunch.

A mi tutor, el **Dr. David Carmona**, porque gracias a él, descubrí mi pasión por la endodoncia.

A todas las personas que nunca creyeron en mí y decían que no haría nada de mi vida. Fueron un gran impulso para mi orgullo y mi fe.

Con *dedicatoria especial* a mi padre **Rubén Cazares**, que perdió la lucha contra el cáncer el diciembre pasado. Tu silla en mi examen profesional está apartada, papá, tal como lo planeamos.

Biodentine®: Aplicaciones clínicas en endodoncia y sus efectos sobre los tejidos periodontales.

Contenido

ÍNDICE:

Introducción:	5
Objetivo:	7
Capítulo I: Antecedentes históricos.	8
1.1 Amalgama.	8
1.1.1 Composición.	9
1.1.2 Propiedades.	10
1.1.3 Indicaciones.	11
1.2 Super EBA.	11
1.2.2 Propiedades.	12
1.2.3 Indicaciones.	12
1.3 Ionómero de vidrio.	12
1.3.1 Composición.	13
1.3.2 Propiedades.	14
1.3.3 Indicaciones.	14
1.4 MTA.	15
1.4.1 Composición.	15
1.4.2 Propiedades.	16
1.4.3 Indicaciones.	16
1.5 Cementos biocerámicos.	17
2. Capítulo II: Complejo dentino pulpar y los tejidos periapicales. ..	20
2.1 Componentes del complejo dentino pulpar.	20
2.2 Componentes del periodonto.	25
2.2.1 Encía:	25
2.2.2 Ligamento periodontal (LP):.....	27
2.2.3 Cemento radicular:.....	30
2.2.4 Hueso alveolar:	32
2.3 Principales células del tejido periodontal.	33
3. Capítulo III: Biodentine®.	37
3.1 Composición.	38
3.2 Propiedades.	39
3.3 Modo de empleo.	41
3.4 Ventajas y desventajas.	43
4. Capítulo IV: Aplicaciones clínicas en endodoncia.	45
4.1 Protección pulpar.	46
4.1.2 Recubrimiento pulpar indirecto (RPI).	47

4.1.3 Recubrimiento pulpar directo (RPD).....	48
4.2 Sellado de perforaciones.	50
4.3 Manejo de ápices inmaduros.	54
4.3.1 Apicogénesis.....	55
4.3.2 Apexificación.....	58
4.3.3 Regeneración pulpar (revascularización).	60
5. Capítulo V: Respuesta biológica de los tejidos ante la aplicación de Biodentine®.	65
6. Conclusiones:.....	69
7. Bibliografía:.....	70

Introducción:

La presente tesina se realizó con base en una recopilación bibliográfica sobre los antecedentes, características y usos clínicos de Biodentine®, con el objetivo de describir el mecanismo de acción y los efectos que este material tiene sobre los tejidos pulpares y periapicales, tomando como referencia artículos encontrados en Pubmed, Scielo, Google Scholar, NCBI y algunos libros de endodoncia y periodoncia.

Como se sabe, la endodoncia es la rama de la odontología encargada de la prevención, diagnóstico, pronóstico y tratamiento de las posibles afecciones de la pulpa dental, así como también estudia la estructura, morfología, fisiología y patologías que se llevan a cabo en el complejo dentino pulpar y los tejidos perirradiculares.

Al paso que se van descubriendo nuevas técnicas clínicas para tratamientos como recubrimientos pulpares, pulpotomías, perforaciones radiculares, manejo endodóncico de dientes inmaduros (ápices abiertos) y en obturaciones retrógradas se han desarrollado nuevos materiales, que buscan cumplir los estándares ideales de biocompatibilidad, que brinde un sellado hermético, resistencia a la compresión, bactericida y/o bacteriostático, radiopaco, de fácil manipulación, baja solubilidad, estabilidad dimensional, tolerante a la contaminación con sangre o humedad, tiempo de trabajo óptimo y económico. (1–3) Es por esto que en los últimos años las investigaciones se han enfocado en crear materiales que no sólo cumplan con los criterios previamente descritos, sino que además tengan la capacidad de modificar los tejidos, mediante la inducción de regeneraciones o producciones de hueso y/o dentina. Las consideraciones actuales no solo se encaminan a entender la biocompatibilidad, sino principalmente a el potencial del material para modular la respuesta del tejido intervenido. Muchos factores influyen en esta interacción, al incluir la química de los materiales, la

degradación de los productos y la manera en cómo el tejido responde a estos agentes terapéuticos. (4)

Pocos materiales son realmente inertes y su uso en el medio ambiente dinámico del complejo dentinopulpar puede generar un amplio espectro de efectos fisicomecánicos y biológicos.

Durante muchos años fueron evolucionando los cementos y materiales aplicados en endodoncia, desde la amalgama, IRM, Super Eba, Hidróxido de calcio, cemento portland y el material más utilizado, el MTA. Sin embargo, este último material tiene algunas deficiencias como fraguado lento, difícil manipulación y decoloración del diente a largo plazo, por lo que la casa Septodont (Saint Maur des Fossés, Francia) buscó crear un cemento mejorado en el año 2011, sacando al mercado Biodentine®, un novedoso material a base de silicato tricálcico, cuyo objetivo principal era crear un sustituto permanente de dentina. (5)

Biodentine® está fabricado con Active Biosilicate Technology, es decir, que se eliminan metales pesados (como el aluminato y el sulfato de calcio) para liberar iones de calcio con el objetivo de crear un pH beneficioso para la inducción de la remineralización. (6) Además, uno de sus componentes principales es el cloruro de calcio, cuya función es la de acelerar el proceso de fraguado, teniendo un tiempo corto que oscila entre los 9 y los 12 minutos. Otro de sus componentes es el óxido de zirconio, que brinda la seguridad que el diente no sufrirá cambios de color, volviéndolo ideal para cuando se requiere su aplicación en dientes del sector anterior. (3)

Objetivo:

Describir las aplicaciones clínicas del Biodentine® en endodoncia y sus efectos sobre los tejidos periodontales.

Capítulo I: Antecedentes históricos.

A lo largo de la historia se han sugerido y utilizado gran variedad de materiales para sellar defectos como resorciones, perforaciones, en cirugías periapicales, etc, tales como gutapercha, oro cohesivo, cavit, cementos a base de óxido de zinc y eugenol, amalgamas de cobre y sin zinc, IRM, Super EBA, ionómero de vidrio, híbridos de resina-ionómero de vidrio, resinas compuestas y más recientemente MTA y Biodentine®. (1,7–9)

A través del paso del tiempo se ha intentado encontrar el “material ideal” que cumpla con ciertas características como estabilidad dimensional, no ser reabsorbible, adecuada radiopacidad, propiedades bactericidas y bacteriostáticas, no ser toxico, ser biocompatible, proveer un sellado hermético, que sea económico, de fácil manipulación, con tiempo de trabajo óptimo, que presente baja susceptibilidad a la humedad y a la contaminación con sangre. Recientemente, además se ha buscado que tenga capacidad de inducir osteogénesis y reparación tisular. (1,10) Es por esta razón que a lo largo del tiempo muchos de los materiales han ido quedando en desuso, ya que no cumplen con todos los estándares deseados.

1.1 Amalgama.

La amalgama es una aleación metálica que contiene mercurio (11). Fue por muchos años uno de los materiales considerado estándar de oro y más utilizado para el sellado de perforaciones radiculares y como material de obturación retrógrada, sin embargo, con el paso del tiempo se dieron a conocer las desventajas de la amalgama como material de retroobtusión debido a su interacción galvánica, causar pigmentación a largo plazo de los tejidos adyacentes, así como la liberación e introducción de componentes como mercurio al organismo. (12)

Se realizaron varios estudios comparativos de diferentes materiales de sellado o entre diferentes marcas de amalgama y dentro de los resultados se destacó

la preocupación por la expansión retardada, ya que, a pesar de que proporciona mejor sellado, se corre mayor riesgo de fracturas apicales.

Johnson J. y cols. (12) realizaron un estudio comparativo en 1995, en donde compararon cinco marcas diferentes de amalgamas para retrobturación, tanto en ambiente seco como en ambiente contaminado con sangre; concluyen que las amalgamas con bajo contenido de zinc presentaron mejor control dimensional; sin embargo aquellas que tienen expansión retardada son mejores para evitar la microfiltración a largo plazo, ya que proporcionaban mejor sellado, por otro lado si la expansión es lo suficientemente grande y las paredes de la raíz demasiado delgadas, se aumenta el riesgo de fractura radicular. (12)



Fig. 1. Amalgama dental, presentación en cápsula predosificada. (13)

1.1.1 Composición.

Está compuesta por una parte líquida y otra parte en polvo. El líquido es mercurio puro. La parte de la aleación (polvo) está compuesta principalmente por plata, estaño y cobre, aunque existen diferencias entre

el contenido de la aleación en donde se le agregan otros componentes, dando como resultado la existencia de tres tipos de amalgamas:

<i>Amalgama convencional:</i> fundida con 73.6% de plata + 6% de cobre, el resto es estaño.
<i>Amalgama con alto contenido de zinc:</i> para que sea considerada como una aleación con alto contenido en zinc, debe tener más del 0.01% de zinc.
<i>Amalgamas sin zinc:</i> para que sea considerada como una aleación con bajo contenido en zinc, debe tener menos del 0.01% de zinc.
<i>Amalgamas con alto contenido de cobre:</i> conformada por plata, estaño y cobre al 30%.
<i>Amalgamas cuaternarias:</i> también conocida como la fórmula de Black; donde la aleación está compuesta por plata, estaño, cobre y zinc.

Tabla 1. Clasificación de la amalgama. (9,11,12)

1.1.2 Propiedades.

Presenta propiedades positivas y negativas, que algunas serán mejores que otras dependiendo del objetivo clínico en donde se vayan a utilizar:

Positivas:

- Compatibilidad tisular.
- Radiopacidad.
- No es reabsorbible.
- Resistencia a la compresión, resistencia traccional y resistencia transversal.
- Fijación a la estructura dental.

Negativas:

- Pigmentación y corrosión.
- Liberación de mercurio.
- Interacciones galvánicas.
- Escurrimiento.
- Nula capacidad inductiva de regeneración tisular. (11,12)

1.1.3 Indicaciones.

- Obturación de cavidades clase I, clase II.
- Obturación retrógrada.
- Sellado de perforaciones radiculares. (9,12)

1.2 Super EBA.

El cemento Super EBA fue uno de los materiales favoritos de los endodoncistas para obturación retrógrada de la cirugía periapical debido a la buena capacidad de sellado que mostró en varios estudios comparativos en los que fue sometido; mostrando en varias ocasiones mejores resultados que la amalgama, IRM e inclusive en uno de ellos mostró mejor sellado comparado con MTA. (1,8)



Fig. 2. Presentación comercial de Super Eba. (14)

1.2.1 Composición.

Es un cemento compuesto a base de óxido de zinc y óxido de aluminio mezclado con ácido etoxibenzoico y eugenol, su presentación es de polvo y líquido. Ha sido el cemento con contenido de óxido de zinc que mejor capacidad de sellado ha demostrado, sin embargo, se cuestionaba su solubilidad a largo plazo. (1,8)

1.2.2 Propiedades.

- Adhesión dentinaria (aún en presencia de humedad).
- No absorbible.
- Baja solubilidad.
- pH neutro.
- Naturaleza hidrofílica.
- Adherencia a sí mismo (por si el operador requiere añadir más material). (10)
- Consistencia y fraguado impredecibles. Dependen de su manipulación. (1)
- Se encuentra en desuso actualmente. (10,14)

1.2.3 Indicaciones.

- Obturación retrógrada.
- Sellado de perforaciones radiculares.
- Obturación temporal de cavidades.
- Base.
- Cementación permanente de coronas e incrustaciones (14)

1.3 Ionómero de vidrio.

Otro de los materiales que se utilizaban antes de que surgiera el MTA, fueron los cementos a base de ionómero de vidrio, también conocidos

como polialquenoatos de vidrio (15). Son un grupo de materiales compuestos por un polvo vítreo y ácido poliacrílico (11). Tiene características de sellado similares a las de la amalgama de plata, sin embargo, el ionómero es más compatible (10).

El ionómero de vidrio fue creado en 1974 por Wilson y Kent (15); entonces se tenía previsto que funcionara solo como material restaurador estético en clases III y V, sin embargo, debido a su buena adhesión a la estructura dental, decidieron darle más usos. (11)

1.3.1 Composición.

Existen 2 tipos de cementos de ionómeros de vidrio: ionómero de vidrio convencional (CIVC) y ionómeros de vidrio modificados con resina (CIVMR), también conocidos como híbridos. En la siguiente tabla, se muestran las composiciones de ambos:

	Ionómero de Vidrio Convencional	Ionómero de Vidrio Modificado con Resina
Polvo	Vidrio de fluoraluminosilicato.	Vidrio de fluoraluminosilicato, iniciadores químicos y/o lumínicos.
Líquido	Ácido poliacrílico, ácido carboxílico polibásico, agua.	Ácido poliacrílico, monómero de metacrilato soluble en agua, agua y activador.
Reacción química	Reacción ácido-básica.	Foto o quimio polimerización y

		reacción básica.	acido-
--	--	---------------------	--------

Tabla 2. Composición del CIVC y CIVMR. (11)

1.3.2 Propiedades.

- Biocompatibilidad.
- Adhesión química y/o físico química al esmalte, dentina y cemento.
- Coeficiente de expansión térmica similar a la estructura dental.
- Liberación de fluoruros.
- Reacción ácido-base para su fraguado.
- Mínima capacidad antimicrobiana.
- Difícil de retirar (si es necesario repetir algún tratamiento). (16,17)

1.3.3 Indicaciones.

Hace algunos años, antes de la creación de los materiales biocerámicos, el cemento de ionómero fue utilizado para retrobturación, además de las siguientes indicaciones de uso:

- Material restaurador en áreas sin carga masticatoria (cavidades clase III y V).
- Pequeñas cavidades clase I.
- Sellador de fosetas y fisuras.
- Bases y recubrimiento cavitarios.
- Reconstrucción de muñones.
- Cementaciones permanentes de coronas e incrustaciones o aparatología de ortodoncia (11,16).

1.4 MTA.

Alrededor de 1993 a 1995, se desarrolló un nuevo material experimental denominado Mineral Trióxido Agregado (MTA) para introducirlo al mercado como una alternativa de estimulación para la reparación de tejidos perirradiculares (1). Este fue el primer material biocerámico utilizado con éxito en endodoncia (18). En un estudio realizado por Valois y cols., demostraron que para obtener un excelente sellado hermético, el espesor del material debería de ser de 4mm (7).

1.4.1 Composición.

Está compuesto por polvo que consiste en 75% de silicato tricálcico, aluminato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato férrico tetracálcico; el resto de los componentes son óxido de silicio, óxido tricálcico, óxido de bismuto, sulfato de calcio deshidratado y algunos residuos insolubles (10,19). El material que se encarga de darle radiopacidad es el óxido de bismuto, en una proporción 4:1 (18).

El polvo de MTA se mezcla con agua estéril (20); la relación polvo líquido es 3:1 (18).

Existen 2 generaciones de MTA; la primera generación fue denominada con el nombre de ProRoot MTA gris y la segunda generación es el ProRoot MTA blanco. Llanos Carazas describió en su revisión bibliográfica que “la diferencia entre ellos es que el MTA blanco presenta 54.9% menos de óxido de aluminio, 56.5% menos de óxido de magnesio y 90.8% menos de óxido de hierro que el MTA gris; la reducción de óxido ferroso es la causa más probable del cambio de color del material” .También nos informa que el MTA blanco tiene un tamaño de partícula más pequeño que el MTA gris (18).



Fig. 3. Presentación comercial del Mineral Trióxido Agregado (MTA). (21)

1.4.2 Propiedades.

- Biocompatible.
- Induce la reparación de tejidos perirradiculares (cemento inductivo y osteo conductor).
- Efectos antiinflamatorios en el tejido pulpar.
- Radiopaco.
- No es reabsorbible.
- pH de 12.5.
- Baja resistencia a la compresión.
- Bacteriostático.
- Buen sellado periférico.
- Baja solubilidad.
- Baja cohesión.
- Tiempo de fraguado largo.
- Difícil manipulación. (11, 9)

1.4.3 Indicaciones.

- Recubrimiento pulpar directo.
- Material de retroobtusión.

- Material para Apexificación.
- Sellado de perforaciones radiculares.
- Como barrera coronaria post al tratamiento de conductos.
- Auxiliar en el tratamiento de fracturas verticales. (20)

1.5 Cementos biocerámicos.

En la década de los 90 salieron al mercado los cementos biocerámicos (22), cuyo prefijo “bio”, se refiere a la biocompatibilidad que presentan, son materiales cerámicos u óxidos metálicos biocompatibles que se utilizan en el gremio médico y odontológico gracias a que presentan propiedades antibacterianas, antimicóticas y de sellado mejoradas.

Todos los materiales biocerámicos surgieron a partir del Cemento Portland. El primer material bioactivo registrado fue el “Bioglass”, material que se une químicamente con el hueso.

En endodoncia han sido materiales sumamente atractivos, debido a las siguientes propiedades:

- Perfil hidrofílico (similar al de la dentina).
- Similitud con la hidroxiapatita (biocompatibilidad).
- Capacidad de osteoinducción intrínseca.
- Antibacterianos
- Radiopacidad mayor a la dentina.
- No se contraen; en presencia de humedad se expanden, proporcionando mejor capacidad de relleno. (18,22)
- pH alcalino. En las primeras 24 horas es superior a 12.4, manteniéndose así por 28 días; posteriormente empieza a disminuir gradualmente.
- Resistencia a la compresión y flexión: $621,38 \pm 145,09$ N.
- Tiempo de fraguado promedio de 40 – 120 min. (22)



Fig. 4. Presentación comercial de Bioglass. (23)

La autora Llanos Carazas menciona que “tienen la capacidad de funcionar como tejidos humanos o de reabsorberse y estimular la regeneración de tejidos, los cuales incluyen alúmina y zirconio, vidrio bioactivo, cerámica de vidrio, silicatos de calcio, hidroxiapatita y fosfatos de calcio reabsorbibles”.

Se clasifican en tres tipos:

- Cerámicas bioenergéticas de alta resistencia o cerámicos Bioinertes (alúmina, zirconio y carbono): No hay interacción con el sistema biológico, producen una mínima respuesta en los tejidos circundantes.
- Cerámicos bioactivos (vidrio, fosfato de calcio, hidroxiapatita): No se degradan. Interactúan con los tejidos circundantes.
- Cerámicas biodegradables o reabsorbibles: funcionan reemplazando o incorporándose en los tejidos, ya que son solubles o reabsorbibles. (18,22)

De acuerdo con Hench en el 2006, un material bioactivo es aquel que posee la capacidad de provocar respuestas biológicas a consecuencia de la unión del tejido vivo con el material, provocando una estimulación la regeneración de los tejidos. (18)

Aplicaciones en endodoncia:

- En dientes vitales: recubrimientos pulpaes directos e indirectos con mejor tasa de éxito que cuando se hacen con hidróxido de Calcio.
- Como material para pulpotomías.
- Revascularización en dientes permanentes inmaduros que presenten necrosis pulpar.
- Como cementos selladores (con capacidad de expansión en presencia de humedad).
- Reparador de perforaciones radiculares o en zona de furca.
- Relleno de reabsorciones radiculares externas e internas.
- Barrera apical.
- Obturación Retrógrada.
- Obturación ortógrada del conducto radicular.
- Como material para procedimientos de apicogénesis. (22)

2. Capítulo II: Complejo dentino pulpar y los tejidos periapicales.

El espacio pulpar recibe el nombre de sistema de conductos radiculares, con el fin de diferenciarlo de un tubo o espacio circular. (17) Este espacio está conformado por el tejido pulpar y dentinario. La pulpa es un tejido conectivo que se localiza en el interior de los dientes. Está delimitado por el tejido dentinario, mismo que se encuentra en formación constante. (24) Este sistema comúnmente coincide con el perfil de anatomía externa del diente, sin embargo, factores como la edad, enfermedades, traumatismos, y oclusiones traumáticas pueden provocar una modificación en sus dimensiones por medio de la producción de dentina de reparación. (17)

La dentina y la pulpa son consideradas como el complejo dentinopulpar gracias a que provienen del mismo origen embriológico (24) y a que funcionan como una unidad compleja. (17) La dinámica manejada en este complejo supone que todos los impactos que reciba la dentina, afectarán a los componentes pulpares, y a su vez, las afecciones pulpares repercutirán en la cantidad y calidad de dentina. (17)

2.1 Componentes del complejo dentino pulpar.

Dentina:

La dentina se define como un tejido mineralizado que delimita la cavidad de un diente. Se encuentra recubierto en la parte coronal por esmalte y en la parte radicular por cemento.

Características de la dentina: Tiene un tamaño variable entre 1 y 3 mm, pero se encuentra en cambio constante debido procesos fisiológicos y patológicos. Además, es considerado como un tejido elástico y permeable con color que va de un blanco amarillento a marrón (dependiendo de la edad, grado de mineralización, estado en el que se encuentre y de algunos pigmentos).

Composición: Se compone en un 70% de materia inorgánica (principalmente cristales de menor tamaño de hidroxiapatita), 18% materia orgánica (colágena tipo I y proteínas) y el 12% restante es agua.

Su estructura está conformada por túbulos dentinarios (TD) y una dentina intratubular. Los TD son estructuras cilíndricas y huecas con forma de “S” y miden entre 400 a 700 nm. Son más convexos en la parte coronaria y en la zona apical tienen una forma más recta. La cantidad y el diámetro varían dependiendo el nivel en donde se encuentren. En la zona más coronal existen alrededor de 60,000 TD por mm cuadrado y con un diámetro de 4 μ m. Acercándose más al límite amelocementario hay unos 15,000 TD por mm cuadrado con diámetro aproximado de 1.7 μ m. Dentro de ellos existen prolongaciones de odontoblastos, así como la presencia de fluido dentinario, fibras nerviosas amielínicas, fibras colágenas y cristales de hidroxiapatita. (24)

De acuerdo a sus características estructurales podemos clasificar a la dentina como:

- *Dentina primaria:* Formada en los primeros estadios del diente hasta que entra en oclusión.
- *Dentina secundaria:* también la podemos encontrar en la literatura como *secundaria fisiológica o regular*. Se comienza a formar una vez que el diente entra en contacto con el antagonista y hasta toda su vida.
- *Dentina terciaria:* también llamada *secundaria reparativa o irregular*. Se forma a partir de un estímulo externo. Su grosor dependerá de qué tan crónico sea el agente irritante. Es la que condiciona el tamaño y forma de la cámara pulpar.

Otros tipos de dentina:

- *Dentina esclerótica:* o igual conocida como *dentina traslúcida*. Se produce por agentes irritantes o traumatismos crónicos por la dentina peritubular. Produce el cierre de túbulos dentinarios.

- *Dentina opaca o tractos muertos*: son áreas en la dentina en las que los TD se encuentran vacíos como consecuencia de la degeneración de odontoblastos. (24)

Pulpa dental:

La pulpa es un tejido conectivo laxo que se encuentra encapsulado en el interior de la cámara pulpar y conductos radiculares. Generalmente su morfología está dada por la anatomía externa del diente. (24)

Estructuralmente la podemos clasificar en dos porciones:

- *Pulpa cameral*: se localiza a la altura de la corona anatómica del diente. Puede presentar variaciones morfológicas con respecto a los cuernos pulpares.
- *Pulpa radicular*: se localiza en la raíz anatómica. Puede presentar variaciones morfológicas como conductos accesorios, laterales y en furca, así como la presencia de deltas apicales, múltiples forámenes apicales o salidas laterales de los conductos. (17)



Fig. 5. Esquema representativo de las dos porciones de la pulpa dental. (17)

Composición: está compuesta por 75% agua y 25% de materia inorgánica, que consiste en: dentinoblastos, fibroblastos, fibrocitos, macrófagos, células dendríticas, linfocitos, células mesenquimatosas indiferenciadas y mastocitos, fibras de colágena, reticulares y de oxitalano y sustancia fundamental (glucosaminoglucanos, proteoglucanos, colágeno, elastina, interleucina-1, fibronectina). (24)

Histológicamente hablando, la pulpa se encuentra compuesta por 4 áreas:

1. Capa de odontoblastos o dentinoblastos:

Es la parte exterior de la pulpa sana. Se encuentra debajo de la predentina. Está conformada por los cuerpos celulares de los odontoblastos. Así mismo, también podemos encontrar capilares, fibras nerviosas y células dentríticas. En esta zona se encuentran las fibras de Von Korff (fibras de precolágena con forma de espiral). El cuerpo de los odontoblastos se encuentra en la pulpa, mientras que la prolongación se localiza en el interior de los túbulos dentinarios. (17,24)

Hay mayor número de odontoblastos en la parte coronal de la pulpa que en la parte radicular. En la cámara pulpar se pueden encontrar aproximadamente 45,000 dentinoblastos por milímetro cuadrado. (17)

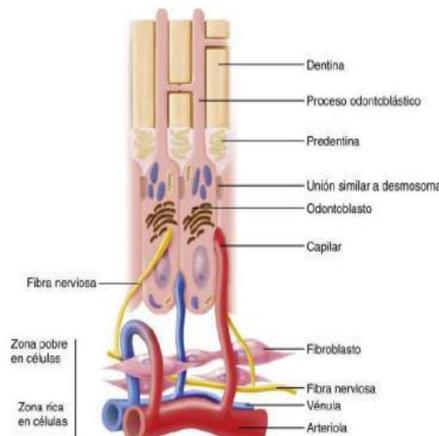


Fig. 6. Esquema de la capa de odontoblastos y zona subodontoblástica de la pulpa. (17)

2. Zona subodontoblástica, acelular o capa basal de Weil:

Se encuentra en el área inmediatamente de bajo de la zona de odontoblastos. Puede estar presente o ausente y eso depende del estado funcional que padezca la pulpa. Es una zona que mide alrededor de 40µm de ancho y hay muy poca presencia de células. En esta capa podemos encontrar capilares, fibras nerviosas

amielínicas y delgadas prolongaciones citoplasmáticas de fibroblastos, el plexo nervioso de Raschkow, el plexo capilar subdentinoblástico y fibroblastos. (17,24)

3. *Zona rica en células:*

Esta área presenta un aumento en la cantidad de fibroblastos, además podemos encontrar inmunocitos como macrófagos, células dentríticas y células madre mesenquimatosas indiferenciadas. (17)

4. *Zona central de la pulpa o pulpa propiamente dicha:*

Es el centro de la pulpa y se conforma por un tejido laxo en el que podemos encontrar células ectomesenquimatosas, macrófagos de localización perivascular y fibroblastos, principalmente. (24)

Esta irrigada por arteriolas que entran a través de los forámenes apicales, para formar el plexo capilar subodontoblástico. Estas arteriolas van acompañadas de vénulas, mismas que se anastomosan. También se presentan vasos linfáticos que comienzan desde el centro de la pulpa. (24,25)

Su inervación es dada gracias a fibras terminales que provienen del V par craneal, el trigémino. Son dos clases de fibras nerviosas aferentes primarias, que son las fibras A δ y fibras C. Ambas actúan como nociceptores y además tienen un papel en la función de defensa. (17,26)

Las fibras A δ tienen una capa de mielina, por lo tanto, transmiten impulsos a mayor velocidad. Constituyen el plexo subdentinoblástico de Raschkow, el plexo dentinoblástico y tiene ramificaciones en el interior de los túbulos dentinarios. Transmiten sensaciones agudas, punzantes y bien definidas. Se encuentran en la periferia de la pulpa, por lo tanto, son las primeras en percibir los impulsos cuando aún no existe daño pulpar, responden ante estímulos mecánicos, químicos y/o térmicos (frío).

Las fibras C son fibras amielínicas, por lo que la velocidad de conducción de estímulos es más lenta, y tienen un alto umbral de excitación. Se localizan en el centro de la pulpa, transmiten sensaciones de tipo sordo, continuo o urente y se activan principalmente por calor, provocando un

dolor lento, difuso y duradero, aunque también responden ante estímulos mecánicos, físicos o químicos. Se sensibilizan por procesos inflamatorios. Cuando este tipo de fibras se activan, nos indica que ya existe un daño tisular irreversible. Aunque haya un proceso inflamatorio que produzca hipoxia pulpar, las fibras C duran más debido a que su consumo de oxígeno es menor que el de las fibras Aδ. (17,24,26)

La pulpa tiene 4 funciones:

- 1- Formativa: forma dentina secundaria o terciaria constantemente.
- 2- Nutritiva: La nutrición es gracias a los vasos sanguíneos.
- 3- Sensitiva: Corresponde a las teorías de la sensibilidad.
- 4- Protectora: la pulpa protege por medio de la formación de dentina o por medio de las células de defensa ante procesos infecciosos.

2.2 Componentes del periodonto.

El periodonto sano (peri=alrededor, odonto=diente) (25) constituye la unidad de desarrollo biológica y funcional, que a lo largo de la vida es sometida a modificaciones morfológicas. Se compone de 4 partes: encía, ligamento periodontal, cemento radicular y hueso alveolar. Su función principal es proporcionar un anclaje del diente con los maxilares y mantener íntegra la superficie de la mucosa masticatoria.

2.2.1 Encía:

También llamada gingiva. En un periodonto sano, la encía cubre la raíz dental y el hueso alveolar a nivel de la unión cemento-esmalte. Adquiere su forma y textura definitivas al momento de la erupción dental. Anatómicamente la clasificamos en 3 tipos:

1. *Encía marginal o libre*: borde de la encía que se dispone en forma de collar rodeando los dientes. Es de color rosa coral, con superficie opaca y consistencia firme. Se extiende desde el borde gingival hacia apical, hasta la unión cementoadamantina. La unión que tiene con el diente forma una pequeña depresión que se denomina *surco gingival*. Este surco se presenta en forma de V y mide entre 0 y 3 mm de profundidad al sondeo. La determinación clínica de la profundidad de este surco es un parámetro de gran relevancia para el diagnóstico. (25,27)

2. *Encía interproximal*: Se continúa con la encía libre y ocupa el espacio gingival de bajo del área de contacto dental. La forma que tenga dependerá del contacto interproximal de los dientes. Idealmente tiene terminación piramidal o en filo de cuchillo. (27)

3. *Encía adherida*: Se continúa con la encía marginal. Destaca por ser resistente y estar firmemente adherida al periostio adyacente. Está delimitada en dirección hacia apical por la unión mucogingival para continuarse con la mucosa alveolar. Es de color rosa coral y presenta un puntilleo que le da un aspecto de cáscara de naranja. (25,27)

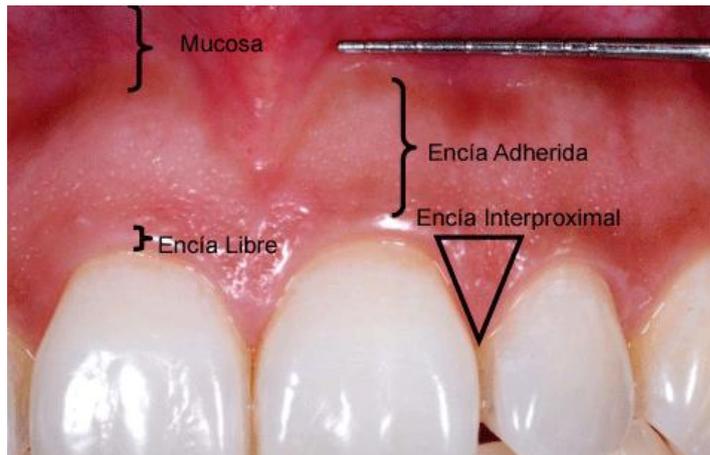


Fig. 7. Partes anatómicas de la encía. (28)

Aunque todos los tipos de encía cuentan con propiedades estructurales e histológicas diferentes, tienen como fin común ser una barrera de protección ante traumatismos mecánicos y evitar la entrada de microorganismos o agentes nocivos en tejidos más profundos. (27)

2.2.2 Ligamento periodontal (LP):

Es un tejido blando altamente vascularizado, con gran cantidad de células. Rodea la raíz dental y se encarga de unir el cemento radicular con las paredes alveolares. Está ubicado en el espacio que se forma entre el hueso alveolar y la raíz dental. En la porción coronal se continúa con la lámina propia de la encía y se delimita por las fibras de la cresta alveolar. Tiene un espesor de 0.25 mm aproximadamente (25), aunque puede presentar variaciones en dientes que no estén en función masticatoria (se adelgaza) o en dientes que sean sometidos a hiperfunciones (se engrosa). (27) Su función principal es permitir que todas las fuerzas de masticación y oclusión sean distribuidas en la apófisis y el hueso alveolar, así como permitir cierta movilidad fisiológica. (25)

Su composición consiste principalmente de fibras colágenas, reticulares, elásticas y de elaunina, así como materia orgánica conformada por

células formadoras (fibroblastos, osteoblastos y cementoblastos), células resorptivas (osteoclastos y cementoclastos), células defensivas (macrófagos, mastocitos y eosinófilos), restos epiteliales de Malassez y células mesenquimatosas indiferenciadas. Finalmente, dentro de su composición también podemos encontrar sustancia fundamental que se compone de ácido hialurónico, condroitín 4-sulfato, condroitín 6-sulfato, heparán sulfato y dermatán sulfato, siendo este último el más abundante. (24)

La formación del LP es a partir del tejido laxo conectivo del folículo o saco dental. Una vez que el germen dental se empieza a formar en una cripta del hueso alveolar, los fibroblastos forman fibras de colágeno, mismas que quedarán incrustadas en el cemento que se haya formado al mismo tiempo. Las fibras emergen del cemento hacia el espacio del LP, mientras que el hueso alveolar está cubierto solo por osteoblastos. Tiempo después, las fibras se van madurando y engrosando para posteriormente anclarse en el hueso alveolar. (25) Las partes terminales de estas fibras se insertan en el cemento y el hueso y se denominan *Fibras de Sharpey*. (27)

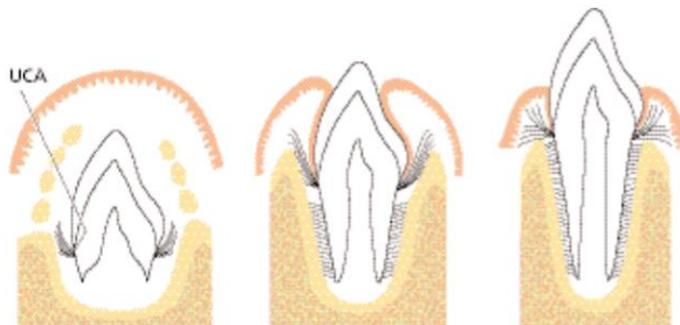


Fig. 8. Formación del ligamento periodontal. (25)

Las *fibras principales* son las más importantes. Conforme se va formando la raíz, se van formando fibras delgadas de colágeno que se orientan apicalmente. Una vez que el diente entra en contacto con la oclusión, las fibras formarán haces que se dispondrán en paquetes y se clasifican dependiendo de su orientación:

- Fibras crestalveolares (FCA): Se extienden de forma oblicua desde el cemento hasta la cresta alveolar. Su función es evitar la extrusión dental y resistir movimientos de lateralidad.
- Fibras horizontales (FH): De la porción media del cemento radicular hacia el hueso alveolar.
- Fibras oblicuas (FO): Son el grupo de fibras más grande. Se extienden desde el cemento en dirección coronal oblicua al hueso. Su función es resistir el impacto de las fuerzas masticatorias y evitar la intrusión dental.
- Fibras apicales (FA): Van del cemento de la zona apical hacia el hueso alveolar apical. No están presentes en dientes con raíz incompleta. (24,25,27)

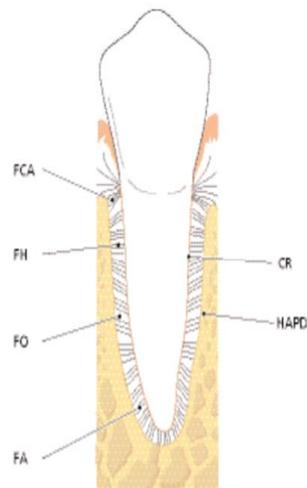


Fig. 9. Clasificación de fibras periodontales. (27)

Funciones del ligamento periodontal:

Funciones físicas	<ul style="list-style-type: none"> -Protección de vasos y nervios. -Resistencia y transmisión de fuerzas oclusales al hueso alveolar. -Anclaje de los dientes al hueso. -Mantiene una adecuada relación
--------------------------	---

	del tejido gingival con los dientes.
Funciones formativas y de remodelación	Se muestra una formación y reabsorción de hueso y cemento como respuesta a estímulos como el habla, la masticación, hábitos parafuncionales, movimientos ortodóncicos y lesiones periradiculares.
Funciones sensoriales y nutricionales	Suministra nutrientes a el cemento, hueso alveolar, inclusive a la encía a través de los vasos sanguíneos.

Tabla 4. Funciones principales del ligamento periodontal. (27)

2.2.3 Cemento radicular:

Es un tejido mineralizado y especializado que rodea y protege la raíz dental. No está vascularizado ni innervado. No sufre remodelaciones o resorciones fisiológicas. Se relaciona con el espacio del ligamento periodontal.

El 46% - 50% de su composición es materia inorgánica (cristales de hidroxiapatita), el 22% es materia orgánica (colágeno tipo I y proteínas), de la cual, el 90% es colágena tipo I, y el 32% es agua. (24,25)

Este tejido cumple funciones como servir de anclaje de las fibras del ligamento periodontal y ayudar en el proceso de reparación si la superficie radicular llegara a ser dañada. (25)

Se forma a partir de cementoblastos, células formadoras de cemento. Pueden estar activas o no. Su formación es cíclica, es decir que hay fases de formación y otras de reposo. (24,25)

Existen tres tipos de cemento:

- 1) *Cemento acelular de fibras extrínsecas*: también conocido como *cemento primario*. Es de formación lenta y esto sucede antes de que el diente erupcione. Se localiza en las porciones coronal y media de la raíz, contiene principalmente fibras de Sharpey que

están totalmente calcificadas, es una parte conectora importante del diente con el hueso. (24,25,27)

- 2) *Cemento celular mixto estratificado*: también denominado como *cemento secundario*. Lo encontramos en el tercio apical de las raíces y en zona de furcas. Su formación es más rápida, ocurre al cuando el diente entra en oclusión y está menos calcificado. Contiene fibras extrínsecas e intrínsecas y cementocitos que quedan englobados. (24,25,27)
- 3) *Cemento celular con fibras intrínsecas*: también lo podemos encontrar en la literatura como *fibrilar* y *afibrilar*. El cemento fibrilar se localiza en lagunas de resorción siempre y cuando haya fibras colágenas y en el cuello del diente encontramos el cemento afibrilar (solo cuando el cemento cubre parte del esmalte). Contiene fibras intrínsecas y cementocitos. (24,25)

Las lagunas de cementocitos se comunican a través de prolongaciones citoplasmáticas de estas células que discurren por los conductirijillos del cemento. Esto también permite el transporte de nutrientes para el cemento, lo que permite la vitalidad de este tejido. (25)

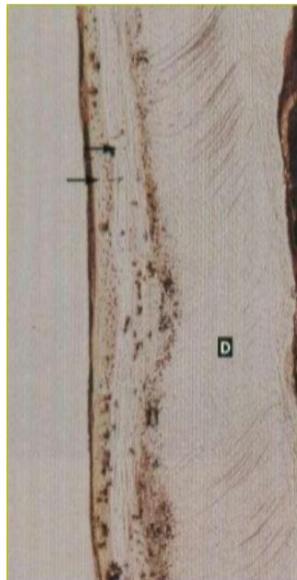


Fig. 10. Cemento celular y acelular. Vista microscópica. (24)

2.2.4 Hueso alveolar:

La apófisis alveolar o proceso alveolar es la parte de los maxilares que da forma y sostiene los alvéolos de los dientes. Se forma a partir de células del saco dental, pero también por células independientes del desarrollo dentario. (25) Su formación se va dando junto con la erupción dental, para proporcionar la unión ósea con el LP que también se va formando. (27) Su función principal es absorber y distribuir las fuerzas de masticación y oclusión. (25) Al perder un diente, el proceso alveolar desaparece gradualmente.

La morfología del proceso alveolar depende directamente del tamaño, forma y ubicación los dientes, dado que se va formando en conjunto con la erupción dental. (27)

Su composición consiste en un 71% de materia inorgánica (80% de cristales de hidroxiapatita, 15% de carbonato de calcio y 5% de otras sales minerales), 21% de materia orgánica (90% es colágena tipo I y el resto son glucoproteínas, fosfoproteínas y proteoglicanos) y 8% de agua. (24)

El hueso alveolar se divide en dos partes:

- 1) Apófisis alveolar: Formada por las placas externa del hueso cortical. También conocidas como lámina dura. Son láminas óseas compactas. Permiten el anclaje de fibras de Sharpey. También puede recibir el nombre de lámina cribosa o placa cribiforme, debido a que presenta orificios por donde pasan los conductos de Volkmann (vasos sanguíneos del hueso). (24,25,27)
- 2) Hueso alveolar propiamente dicho o hueso basal: Conformado por periostio, hueso esponjoso, hueso compacto. El hueso esponjo, a su vez, está formado por trabéculas, espículas y espacios medulares. Lo podemos localizar en los tabiques alveolares.

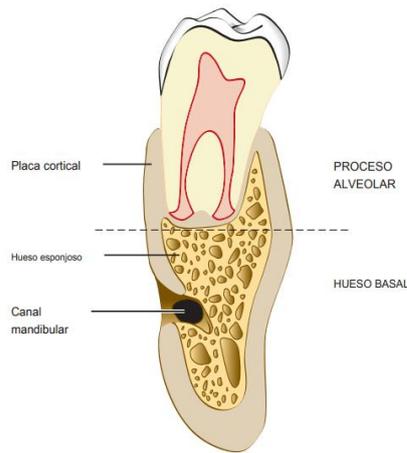


Fig. 11. Imagen representativa de corte transversal de un diente mandibular. Se observan las partes del hueso alveolar. (27)

La irrigación del hueso alveolar está dada por ramas de las arterias maxilares, que forman parte de las *arterias intratabiques*; estas, pasan por la placa cribiforme para poder salir al periodonto, entonces se denominan como *arterias perforantes* y cuando atraviesan la cortical perióstica, se anastomosan con el plexo vascular supraparióstico. Su inervación es proporcionada por la rama maxilar y la rama mandibular del nervio trigémino. (24,25)

A pesar de que es el componente más rígido de los tejidos periodontales, el hueso alveolar es el menos estable de todos, ya que es el tejido que más remodelaciones sufre. Esta remodelación se da gracias a procesos de reabsorción (por osteoclastos) y de formación (por osteoblastos), que pueden provenir de causas locales y/o sistémicos. El hueso se verá afectado en la altura, densidad, contorno y ancho. (27)

2.3 Principales células del tejido periodontal.

- Fibroblastos: Es la célula que más predomina en el tejido conjuntivo. Tiene forma ahusada o de estrella y núcleo ovalado. Produce colágeno tipo I y III, también interviene en la producción de tejido conjuntivo. (24,25)



Fig. 12. Fibroblasto visto desde microscopio. Corte histológico teñido con H&E. (25)

- Macrófagos o histiocitos: Derivan de monocitos de la sangre y se presentan en tejidos extravasculares. Tienen capacidad de endocitosis y fagocitosis, también son células presentadoras de antígenos. Son particularmente numerosos en procesos inflamatorios.
- Células epiteliales: Conocidas como *restos epiteliales de Mallassez*, son remanentes de la vaina radicular epitelial de Hertwig. Se localizan en el LP entre 15 y 75 μm del cemento radicular. Estas células están vivas, pero en reposo, por lo que su metabolismo es mínimo.

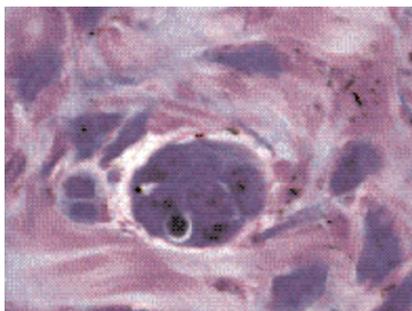


Fig. 13. Grupo de células epiteliales en el ligamento periodontal. (25)

- Células mesenquimatosas. Se originan a partir de los fibroblastos maduros. Aún está en discusión la existencia de estas células indiferenciadas en la pulpa o en otro lugar del organismo.

- Células osteoprogenitoras: Son como las células mesenquimatosas indiferenciadas. A partir de ellas se forman los osteoblastos y osteocitos. (24)
- Osteoblastos: Son células encargadas de formar hueso que revisten el tejido óseo que se está formando. También tiene capacidad para producir colágeno.
- Osteocitos: Son osteoblastos que quedaron englobados en la matriz formada. Se disponen en lagunas denominadas *osteoplastos* u *osteocelas*. Tienen múltiples prolongaciones para comunicarse con otros osteocitos.
- Osteoclastos: Células gigantes multinucleadas especializadas para la degradación de matriz ósea mineralizada (hueso, dentina, cemento). Se forman a partir de monocitos. (24,25)
- Células bordeantes óseas: Una vez que ha terminado el proceso de formación, los osteoblastos se derivan en estas células. Son células fusiformes, aplanadas, que forman una capa para delimitar un microambiente que facilite la actividad funcional del hueso.

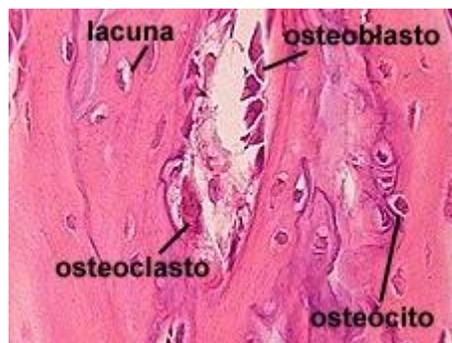


Fig. 14. Se observan osteoblastos, osteocitos y osteoclastos. Corte histológico con tinción H&E. (29)

- Cementoblastos: Son células formadoras de cemento dental. Pueden presentarse en fase activa o inactiva. Tienen capacidad para producir colágeno.

- Cementocitos: Son cementoblastos inactivos que quedaron atrapados al momento que la matriz se mineraliza. Forman lagunas denominadas cementoplastos. (24,25,27)



Fig. 15. Cementocitos dispuestos en lagunas. (30)

3. Capítulo III: Biodentine®.

La creciente y reciente investigación sobre los materiales endodóncicos está encaminada a desarrollar biomateriales que induzcan a la regeneración o formación de dentina y/o hueso. (31) Por esta razón, los científicos dirigieron su atención a la creación de materiales cerámicos biocompatibles. (32) El primer predecesor de los biocerámicos que se lanzó al mercado fue el cemento Portland, seguido del MTA, sin embargo, al pasar los años, se empezaron a dar a notar las deficiencias que este (aun así, excelente material) tiene. (31) Fue por esta razón que, tomando como referencia las propiedades de estos dos materiales, en el 2011 la casa Septodont (Saint Maur des Fossés, Francia) desarrolló un material basado en silicato de calcio bajo el nombre de Biodentine®. (2,31,33)



Fig. 16. Presentación comercial de Biodentine®. (36)

Biodentine® es un material biocerámico cuyo componente principal es el silicato tricálcico y está diseñado para funcionar como sustituto permanente de dentina dañada, ya sea en el área

endodónica, pediátrica o restauradora. Es biocompatible y bioactivo, es decir, que aparte de ser bien tolerado por los tejidos adyacentes, tiene la capacidad de inducir la producción de dentina terciaria o la regeneración de hueso y ligamento periodontal. (31,34,35)

3.1 Composición.

Su composición consiste en un sistema mixto de una parte en polvo y otra en líquido:

Polvo	Vehículo
Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	Cloruro de calcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Carbonato de calcio (CaCO_3)	Polímero hidrosoluble
Dióxido de zirconio (ZrO_2)	H_2O

Tabla 5. Componentes de Biodentine® con fórmulas químicas. (37)

Propiedades de sus componentes:

- Polvo:
 - Silicato tricálcico (componente principal).
 - Silicato de calcio (segundo material de núcleo).
 - Carbonato cálcico (material de relleno).
 - Óxido de circonio (radiopacificante).
 - Trazas de silicato dicálcico, óxido de calcio y óxido de hierro: como materiales de relleno.

- Líquido:
 - Polímero soluble en agua (agente reductor de agua, es decir, al ser un policarboxilato modificado, logra una alta resistencia a corto plazo, ya que reduce la cantidad de agua que se requiere para la mezcla).

- Cloruro de calcio (acelerador de fraguado).
- Agua. (32,38,39)

3.2 Propiedades.

Al ser un biocerámico de los más recientes que se introdujeron al mercado odontológico, Biodentine® tiene múltiples propiedades mejoradas como son:

- ✓ Biocompatibilidad: fue sometido a varios tipos de estudios in vitro y en vivo para saber el grado de biocompatibilidad. Su genotoxicidad fue evaluada en cepas de bacterias mediante la prueba de Ames, en donde se demostró que tiene efectos para la formación de micronúcleos por linfocitos humanos, lo que comprueba que no hay riesgo de efectos mutagénicos. En otros estudios realizados en pulpa humana diana in vitro, no se observaron roturas ni daños en el ADN. También, mediante otro estudio clínico, se colocó Biodentine® como recubrimiento pulpar directo e indirecto, sin encontrar afección de las células pulpares en ningún momento. Posteriormente, se aplicó Biodentine® directamente en células pulpares humanas in vivo, aplicando un estudio de expresión de funciones específicas de odontoblastos, donde se encontró que, en lugar de inhibir proteínas, promovía la síntesis de sialoproteínas, razón por la que induce a la mineralización del tejido. (32) Hasta la fecha no se han reportado casos de citotoxicidad, genotoxicidad o mutagenicidad, lo cual es de particular importancia clínica, pues indica que el material se puede colocar directamente en el tejido sin ningún efecto adverso. Gracias a su alto pH y las concentraciones de iones calcio que posee, mejoran esta característica. (31)
- ✓ Bioactividad: Corral Camila y cols definen la bioactividad como la capacidad de un material para inducir una respuesta biológica específica en la interfaz del material que da como resultado la

formación de un enlace entre los tejidos y el material. (34) En varios estudios realizados in vitro, se ha demostrado que induce la formación de precipitados superficiales de calcio y fósforo al contacto prolongado con los tejidos húmedos, lo que forma una capa de dentina secundaria. (32)

- ✓ Resistencia a la compresión similar al de la dentina: el primer día posee una resistencia de 131.5 MPa pero va aumentando gradualmente, ya que el tamaño de sus partículas es pequeño (2.811 m² / g), cualidad que le confiere un soporte a la compresión similar al de la dentina 297MPa. (6,40)
- ✓ Acción antibacteriana: determinada por los componentes de calcio, ya que estos se convierten en soluciones acuosas de hidróxido de calcio, por lo tanto, aumenta el pH de la solución. (31) Además, contiene del 30% - 50% de alúmina, lo que le brinda resistencia a los ácidos y esto lo vuelve muy útil cuando se utiliza en zonas donde hubo o existe infección, es por esto que se eligió como retrobturador. (5)
- ✓ Fraguado en corto tiempo: cuando el silicato tricálcico se hidrata con los componentes líquidos del material, se produce un gel de silicato de calcio hidratado e hidróxido de calcio. (40) De igual forma, el cloruro de calcio le proporciona a Biodentine® un tiempo de fraguado corto que consiste en un fraguado inicial de 6 minutos y un fraguado final que va de entre los 10 a 12 minutos. Finalmente, gracias al agente reductor (agua), se evita la formación de grietas en el material posterior a su fraguado. (6,32)
- ✓ Radiopacidad: propiedad brindada por el óxido de circonio. Presenta valores superiores a los 3 milímetros, lo que lo hace estar dentro del rango de radiopacidad de acuerdo con la norma de materiales dentales ISO6876:2012, que estipula que los valores deben de ir de entre 1 a 12 milímetros de aluminio. (39,40)



Fig. 17. Se observa una obturación en tercio apical con Biodentine®. La radiopacidad de este material es muy similar a la de la dentina. (41)

- ✓ Excelente sellado marginal: debido a que Biodentine® interactúa con los tejidos duros por retención micromecánica, no se requiere prepara la superficie dentinaria previo a la colocación, pues el material penetra los túbulos dentinarios. De igual manera, al formarse los cristales de hidroxapatita, aumenta la capacidad de sellado. (32,42)

Otras propiedades:

- ✓ Después de su fraguado, se puede remodelar mecánicamente como a la dentina natural. (39)
- ✓ Adaptación marginal y buen contacto interproximal.
- ✓ Puede ser sustituto de esmalte hasta por 6 meses.
- ✓ Tiene una microretención debido a la penetración en los túbulos dentinarios. (32)
- ✓ Forma triclinica del silicato tricálcico. (5)

3.3 Modo de empleo.

Biodentine® tiene una presentación predosificada. La porción de polvo se encuentra dentro de una cápsula similar a la de amalgama; el contenido líquido está dentro de una ampolleta.

A continuación, describiré los pasos que vienen uno a uno para su preparación:

- 1) Tomar la cápsula y golpearla suavemente en una superficie dura para dispersar y descomprimir el contenido polvo.
- 2) Abrir cuidadosamente la cápsula y colocarla sobre el soporte blanco.
- 3) Tomar una ampolleta del contenido líquido y darle unos pequeños golpes a nivel de la porción de sellado, con el objetivo de que todo el contenido líquido se vaya hasta el fondo de contenedor.
- 4) Abrir la ampolleta girando el tapón. Tener mucho cuidado de no derramar ni una sola gota, ya que viene la cantidad exacta.
- 5) Agregar 5 gotas de la ampolleta a la cápsula.
- 6) Cerrar bien la cápsula y colocarla en un vibrador tipo amalgamador. La velocidad de mezclado debe ser de 4000 a 4200 oscilaciones por minuto.
- 7) Dejamos que se mezcle durante un periodo de 30 segundos.
- 8) Abrir la cápsula y verificar que la consistencia sea la adecuada (depende del procedimiento a realizar). En caso de no ser la consistencia deseada, esperar alrededor de 30 segundos más. Cuidado de no sobrepasar el tiempo de trabajo.
- 9) Con ayuda de la espátula plástica, juntar todo el material mezclado de Biodentine®. Dependiendo del uso que se le vaya a dar, se puede manipular con una espátula, un porta-amalgama o un dispositivo tipo Root Canal Messing Gun.
- 10) Enjuagar lo más pronto posible el instrumental utilizado, con el fin de retirar el material residual antes de su fraguado.

(32,43)

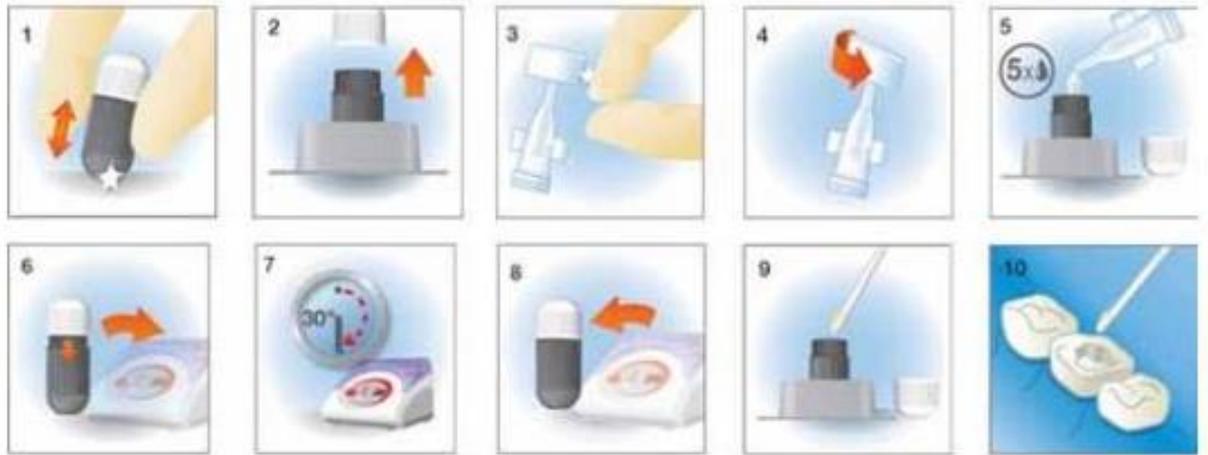


Fig. 18. Esquema de manipulación de Biodentine®. (44)

3.4 Ventajas y desventajas.

Ventajas	Desventajas
Alto nivel de biocompatibilidad.	Comparado con otros materiales, tiene baja radiopacidad.
Resistencia a la compresión similar a la de la dentina.	Requiere de equipo especial para su preparación.
Porosidad disminuida.	Menor respaldo en la literatura.
Capacidad antibacteriana.	Si no se retira a tiempo del instrumental empleado, retirarlo es muy difícil.
Estabilidad dimensional.	
Bioactivo. Induce la formación de tejidos.	
Ofrece un buen sellado hermético.	
No requiere de sistemas adhesivos para su colocación.	
Microretención en forma de "etiqueta".	
Disminuye la sensibilidad pulpar.	

No provoca pigmentación dental.	
Remodelación fácil posterior a su fraguado.	
Tiempo de fraguado corto.	
Fácil manipulación.	

Tabla 6. Ventajas y desventajas de Biodentine®. (31–33,39)

4. Capítulo IV: Aplicaciones clínicas en endodoncia.

Biodentine® es un material que, gracias a sus múltiples beneficiosas propiedades, está no solo indicado para el área endodóncica. Existen diversos estudios que avalan a este material como sustituto de dentina en el área de operatoria, pediatría y endodoncia.

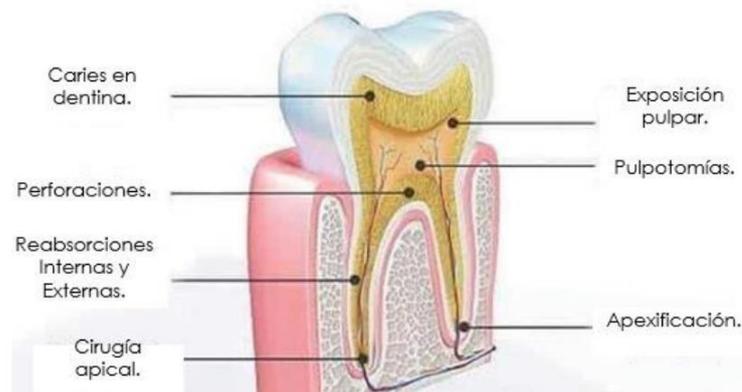


Fig. 19. Aplicaciones de Biodentine®. (40)

De acuerdo con la localización en donde se vaya a colocar, lo podemos dividir en dos secciones:

- A nivel coronal:
 - ✓ Restauración coronaria definitiva (base) bajo composites o incrustaciones.
 - ✓ Sustituto de dentina permanente.
 - ✓ Sustituto de esmalte temporal (6 meses máximo).
 - ✓ Restauración de caries coronal profunda (utilizando técnica de sándwich).
 - ✓ Restauración de lesiones cervicales radiculares.
 - ✓ Recubrimiento pulpar directo e indirecto.
 - ✓ Pulpotomías.
- A nivel radicular:
 - ✓ Reparación de perforaciones de furca.
 - ✓ Reparación de perforaciones radiculares.
 - ✓ Reparación de reabsorciones externas.
 - ✓ Reparación de reabsorciones internas.

- ✓ Apexificación.
- ✓ Apicoformación.
- ✓ Obturación retrógrada en cirugías apicales.
- ✓ Endodoncia regenerativa. (5,32,34,43)

4.1 Protección pulpar.

La protección del complejo dentinopulpar en dientes vitales debería de ser un procedimiento imperativo, teniendo siempre presentes los principios biológicos del funcionamiento de la dentina y la pulpa, su forma de relacionarse y los causantes de sus afecciones, para de esta forma llevar a cabo la implementación de algunos recursos que nos ayudarán a proteger dicho complejo. (45) El objetivo principal de la terapia pulpar en dientes permanentes o deciduos que estén vitales y que presenten lesiones pulpares reversibles es mantener la vitalidad y la función de la pulpa, para de este modo inducir una regeneración del tejido. (31)

La pulpa siempre responde ante diferentes tipos de estímulos. La respuesta ante dicha agresión dependerá de la intensidad y duración del agente agresor, así como la capacidad de defensa del nervio dental. (45) Se han utilizado algunos materiales muy reconocidos como el hidróxido de calcio para este tipo de tratamientos, pero actualmente se ha cuestionado su uso debido a que presenta efectos adversos tales como disolución del material, formación de brechas y microfiltración bacteriana. (32,46)

Es muy importante que antes de realizar cualquier protocolo de preservación de la vitalidad pulpar, sea confirmado un diagnóstico definitivo y acertado, ya que este tipo de procedimientos solamente se pueden realizar si el diagnóstico clínico nos afirma que es una pulpa sana, para que el pronóstico sea favorable.

Existen dos formas de proteger al complejo dentino pulpar, que son de manera indirecta y de manera directa:

4.1.2 Recubrimiento pulpar indirecto (RPI).

Pereira y cols. definen a la técnica de recubrimiento indirecto como “una conducta clínica específica para el tratamiento de lesiones de caries aguda y profunda, generalmente en pacientes jóvenes, con sintomatología correspondiente a una pulpa con estado potencialmente reversible, sin presentar exposición pulpar visible”. (47)

Cuando nos encontramos con casos de caries o quitamos restauraciones previas cuya cavidad resulte con una profundidad importante, debemos de recordar que la dentina es permeable gracias a los túbulos dentinarios, que dichos túbulos tienen un diámetro más amplio conforme se encuentra más cerca del nervio dental, y que se disponen en forma de “S”. Entonces, la variable más importante en estos casos es el grosor de dentina remanente entre el techo de la preparación y la pulpa, así como la permeabilidad dentinaria.

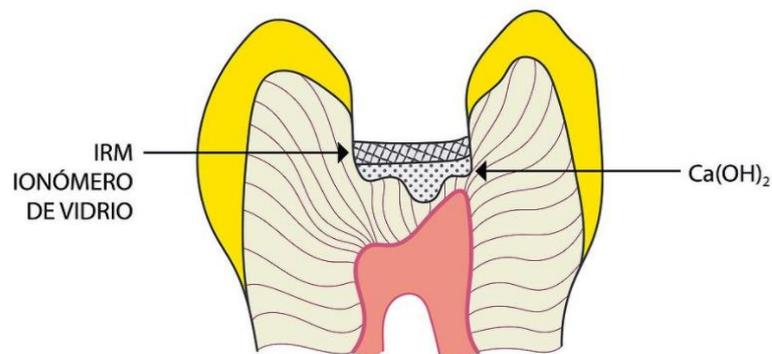


Fig. 20. Imagen representativa de un recubrimiento pulpar indirecto con hidróxido de calcio. Por encima de este liner, se observa una base medicamentosa. (45)

Efectos de desecación o desmineralización de la dentina, así como efectos de los propios materiales de restauración pueden causar un daño inflamatorio en la pulpa; mismo que podría llegar a ser reversible si es de

corta duración y en ausencia de baterías. (17) Es por esto que los clínicos colocan forro cavitarios o liners, cuyo espesor es aproximadamente de medio milímetro y los objetivos que se alcanzan son:

- ✓ Crear un aislamiento químico contra bacterias y sus toxinas.
- ✓ Inducir la formación de dentina reparadora.
- ✓ Disminuir la sensibilidad postoperatoria.

El material más empleado históricamente para este fin fue el hidróxido de calcio en cualquiera de sus presentaciones, gracias a su pH alcalino y capacidad bactericida y bacteriostática, sin embargo, actualmente está quedando en desuso como liner debido a que se ha demostrado que se degrada con el tiempo, provocando un espacio entre la dentina y el material de restauración. Es por esta razón que se ha sustituido por materiales adhesivos a la dentina, o materiales más biocompatibles como el MTA, y más actualmente, Biodentine®. (24)

4.1.3 Recubrimiento pulpar directo (RPD).

Es un procedimiento utilizado en casos en donde la pulpa dental ha sido expuesta accidentalmente durante la preparación cavitaria o por fractura, para proceder a cubrirla con un material protector de injurias adicionales y al mismo tiempo, que estimule la formación de una barrera o puente de dentina reparadora. (45)

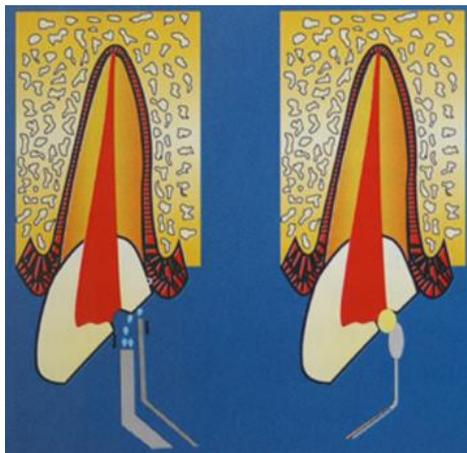


Fig. 21. Imagen representativa del RPD en un diente central. (48)

El hidróxido de calcio fue por muchas décadas el material de elección como apósito pulpar, sin embargo, estudios en los últimos años han demostrado que las reparaciones pulpares posteriores a los RPD realizados con este material provoca una zona de necrosis superficial, lo que conlleva a una respuesta inflamatoria para formar puentes de dentina, pero con la consecuencia negativa de una reducción del volumen del tejido pulpar en hasta 0,7mm, que sumado al volumen ocupado por la barrera mineralizada, resulta en pérdida significativa de tejido biológicamente activo. Sumado a esto, Cox y cols manifiestan la presencia de grandes poros en los puentes dentinarios, es decir, que la dentina producida no es de la calidad que debería de ser. (17,24,45)

Existen pocos artículos en relación de Biodentine® como recubrimiento pulpar, sin embargo, en todos ellos se han arrojado resultados positivos, puesto que las propiedades bioactivas de este material favorecen la cicatrización cuando se aplica directamente sobre el tejido pulpar, pues aumenta la proliferación, migración y la adhesión de las células pulpares madre, además de que se ha demostrado que los puentes dentinarios que produce tienen una estructura muy similar a la dentina intacta, sin porosidades, lo que aumenta su resistencia a la compresión. La formación completa de la dentina regenerativa se da entre las 6 y 8 semanas posterior a su colocación. (31,49)

A continuación, se presentan las instrucciones para colocar Biodentine® como recubrimiento pupar directo o indirecto:

RECUBRIMIENTO PULPAR

Evaluar la vitalidad pulpar con las pruebas habituales: Biodentine® no está indicado para el tratamiento de dientes con pulpitis irreversible.

- 1) Instalar el campo operatorio.
- 2) Retirar la dentina cariada con una fresa redonda y/o un excavador. Conservar la dentina afectada.
- 3) Colocar un encajonado en caso de ausencia de pared.
- 4) En caso de hemorragia pulpar, es indispensable controlar la hemostasis antes de aplicar Biodentine®.
- 5) Preparar Biodentine® como se ha indicado más arriba (Empleo de la cápsula Biodentine®).
- 6) Ponga Biodentine® directamente sobre la pulpa expuesta, evitando la inclusión de burbujas de aire. Compruebe la correcta adaptación del material a las paredes de la cavidad y a los bordes de la restauración. No comprima el material excesivamente.
- 7) Proceda a la restauración inmediata o diferida del esmalte, según se indica más arriba.

Fig. 22. Instrucciones para empleo de Biodentine® como RPD o RPI, tomadas del manual de instrucciones de Biodentine®.(43)

4.2 Sellado de perforaciones.

Son complicaciones clínicas que consisten en una comunicación mecánica, iatrogénica o patológica entre el sistema de conductos radicular y con los tejidos periradiculares o el medio ambiente bucal.

El factor más común de la causa de perforaciones es el yatrogénico, ya sea durante la preparación del acceso endodóntico, la preparación del canal radicular, inclusive al momento de rehabilitarlo, cuando se requiere de la colocación de un poste. Sin embargo, no siempre es por error del operador; pueden provocarse por caries extendidas o reabsorciones internas. (17,50)



Fig. 23. Perforación a nivel de furca causada por la incorrecta colocación de un endoposte. (51)

Este tipo de accidentes reducen el éxito del tratamiento de endodoncia hasta en un 54-46%. Siendo los dientes maxilares los más afectados, pero también los que mejor responden al tratamiento. (50)

Se pueden diagnosticar por medio de una radiografía o con ayuda de un localizador periapical. (24) Lo más habitual es que en la radiografía podamos observar materiales de conformación, obturación o restauración que salen de los confines del sistema de conductos, atravesando la línea

radiolúcida que compone el ligamento periodontal. Es por esto que tomar radiografías anguladas se vuelve una parte crucial como método de diagnóstico. (17) Aunque las radiografías nos ayudan a evidenciar las perforaciones grandes y localizadas en las paredes mesial o distal de la raíz, las que se localizan por vestibular o palatino/lingual, son difíciles de identificar por este medio. (24)

El pronóstico va a depender de varios factores:

- **Tamaño:** Las perforaciones grandes son de manejo más complejo y pronóstico reservado debido a que es más difícil lograr un sellado hermético. (17,24)
- **Tiempo de diagnóstico:** Cualquier demora favorece a la irritación y degradación de los tejidos periodontales.
- **Presencia y tamaño de lesión periodontal.**
- **El material empleado en la reparación** (biocompatibilidad, bioactividad, capacidad de sellado, etc). (17,50)
- **Localización:** Si se encuentra en el tercio cervical, se puede acceder de manera más sencilla. Perforaciones en tercio medio aumentan la dificultad. Mientras más apical se encuentre el defecto, tendrá mejor pronóstico, pero será más conveniente realizar el tratamiento por vía externa. (véase tabla 7). (17)

Orientación	<i>a) Vestibular, vestibulomesial y vestibulodistal.</i>	De acceso relativamente fácil y su reparación puede ser factible.
	<i>b) Palatina.</i>	De acceso muy difícil.
Nivel	<i>a) Alto o apical.</i>	En la mayoría de casos la perforación puede ser eliminada mediante una apicectomía.

	<i>b) Medio.</i>	Tienen buen pronóstico si son recientes y siempre y cuando el acceso sea el adecuado. Pero si por el contrario, si llevan mucho tiempo de evolución, el pronóstico es muy pobre.
	<i>c) Bajo.</i>	Está situada en la pared mesial o distal, el pronóstico no es bueno, ya que se produce una destrucción ósea grave.

Tabla 7. Clasificación de las perforaciones de acuerdo a su orientación y nivel. (24)

Mientras más pronto sea el diagnóstico y tratamiento de la lesión, así como manejo temprano de la infección, mejor porcentaje de éxito tendremos. (17) De igual forma, las perforaciones ubicadas a altura del tercio apical o medio de la raíz tienen un mejor pronóstico que las del tercio cervical o piso de la cámara, ya que al tener menor probabilidad de contaminación con microorganismos del medio oral. (50)

Tratamiento:

Hay dos formas de abordar esta complicación:

1. *Vía interna:* Tratamiento de primera elección. Se aborda el defecto a través de las superficies internas del diente, buscando crear un sellado con algún cemento de obturación. Es menos invasivo, produce menor destrucción de tejidos perirradiculares y facilita el aislamiento bacteriano y la desinfección.

2. *Vía externa:* Mediante cirugía, accediendo a través de los tejidos perirradiculares. Se utiliza en situaciones cuando el defecto es más fácil de acceder por vía quirúrgica, existen restauraciones coronales costosas y bien ajustadas o si existen lesiones periodontales muy grandes que requieran de regeneración tisular guiada. Se hace un apicectomía y obturación retrógrada. (17)

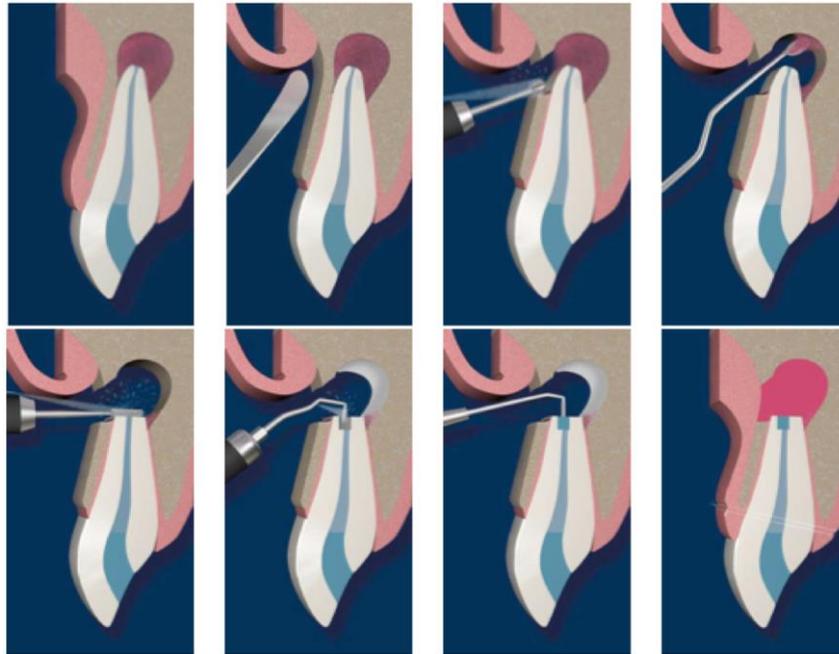


Fig. 24. Procedimiento de una cirugía apical con obturación retrógrada. (52)

A continuación, se presentan las instrucciones para la colocación de Biodentine® en perforaciones de furca y perforaciones radiculares:

REPARACIÓN DE PERFORACIONES DEL TECHO PULPAR

- 1) Instalar el campo operatorio.
- 2) Desinfectar enjuagando con una solución de hipoclorito de sodio.
- 3) En caso de hemorragia pulpar, es indispensable controlar la hemostasis antes de aplicar Biodentine®.
- 4) Secar la cámara pulpar.
- 5) Preparar Biodentine® como se ha indicado más arriba (Empleo de la cápsula Biodentine®).
- 6) Colocar Biodentine® y luego comprimir el material. El tratamiento de la perforación y la reconstitución coronaria se efectúan en una sola etapa.
- 7) Realizar una radiografía de control de la restauración.
- 8) Retirar los excesos.
- 9) Durante una reevaluación ulterior, si se reúnen todos los signos clínicos de un tratamiento exitoso, se puede considerar la realización de una restauración permanente.

Fig. 25. Instrucciones para la reparación de perforaciones en furca y techo pulpar. (43)

REPARACIÓN DE PERFORACIONES RADICAIRES

- 1) Instalar el campo operatorio.
- 2) Preparar el canal radicular alternando el uso de instrumentos endodónticos y de solución de hipoclorito de sodio.
- 3) Secar el canal con puntas de papel y efectuar una desinfección inter-sesión, sea con una solución de clorhexidina, sea con una pasta a base de hidróxido de calcio. Proteger esta obturación temporaria cerrando en forma hermética la cavidad de acceso con un cemento provisorio.
- 4) Durante la sesión siguiente (en general después de una semana), retirar la obturación coronaria provisorio respetando el campo operatorio. Limpiar el canal alternando el uso de solución de hipoclorito de sodio y de instrumentos endodónticos. Secar el canal con puntas de papel.
- 5) Preparar Biodentine® como se ha indicado más arriba (Empleo de la cápsula Biodentine®).
- 6) Colocar Biodentine® en la perforación con un instrumento adaptado.
- 7) Comprimir Biodentine® con un condensador.
- 8) Realizar una radiografía de control de la obturación.
- 9) Retirar los excesos y luego colocar un cemento de obturación provisorio.
- 10) Terminar el tratamiento endodóntico durante la visita siguiente, de acuerdo con las recomendaciones vigentes.

Fig. 26. Instrucciones para la reparación de perforaciones radiculares. (43)

4.3 Manejo de ápices inmaduros.

La formación completa de la raíz y el cierre del ápice de un órgano dental se produce hasta tres años después de su erupción. Si por alguna razón, la pulpa se ve afectada dentro de este periodo de tiempo, el desarrollo radicular se detendrá. (53) El manejo endodóntico de dientes inmaduros, ya sean temporales o permanentes, implica siempre un reto para el clínico. (54) La pulpa dental inmadura puede afectarse por traumatismos o caries profundas. Cuando esto sucede, lo ideal es mantener la pulpa radicular con vitalidad si es posible, de modo que el órgano dental complete la formación de su raíz y aumente el grosor de sus paredes. (24) Es de suma importancia establecer un diagnóstico pulpar definitivo antes de decidir qué alternativa terapéutica se va a emplear, sin embargo, el diagnóstico del estado pulpar en dientes inmaduros es difícil, ya que las pruebas térmicas en niños pequeños pueden dar falsos positivos. Es por

esta razón que los signos clínicos como cambio de coloración, presencia de fístula, movilidad, dolor crónico y dolor a la percusión serán el mejor indicativo para el diagnóstico pulpar, a menos que la exposición pulpar sea franca. (17) En caso de que la pulpa se encuentre necrótica, se deberá efectuar un tratamiento de conductos con la particularidad de que no se podrá obturar convencionalmente. (24)

Existen dos tipos de tratamientos para tratar a los dientes inmaduros, mismos que dependerán de si la pulpa se encuentra vital o necrosada: apicogénesis y apexificación:

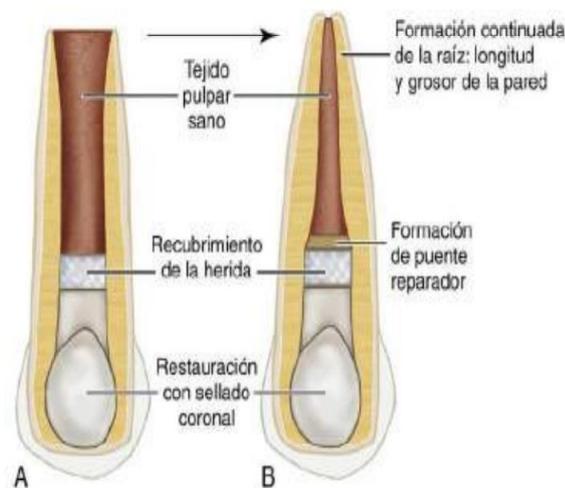


Fig. 27. Imagen representativa del procedimiento de la apicogénesis. (17)

4.3.1 Apicogénesis.

Se define como el conjunto de terapéuticas endodóncicas cuyo objetivo es mantener la vitalidad pulpar, ya sea de forma temporal o permanente, para que la raíz pueda completar su formación, además de generar una constricción en el conducto, en la proximidad de la unión de la dentina con el cemento. (24)

Existen 3 tipos de terapéuticas que se pueden considerar como una apicogénesis:

- *Recubrimiento pulpar directo*: Sólo si la exposición es pequeña y producida por un traumatismo, siempre y cuando no haya transcurrido mucho tiempo con exposición al medio ambiente oral.
- *Biopulpectomía parcial o superficial*: es la extirpación de una capa superficial mínima en una pulpa expuesta por un traumatismo. La exposición pulpar debe de ser de tamaño medio y debe tener un tiempo transcurrido de entre 15 a 18 horas máximo de presentar contacto con el medio ambiente bucal. La profundidad de corte será aproximadamente de 2 mm.
- *Biopulpectomía parcial cervical, coronal o pulpotomía*: es la extirpación de la pulpa cameral hasta la entrada del conducto radicular. Está indicada en exposiciones pulpares traumáticas de gran tamaño (inclusive en las más pequeñas), cuando el tiempo transcurrido es superior a las 18 a 24 horas. También, en exposiciones pulpares producidas al eliminar el tejido afectado por caries, siempre y cuando se sospeche de una pulpitis irreversible limitada. (24)

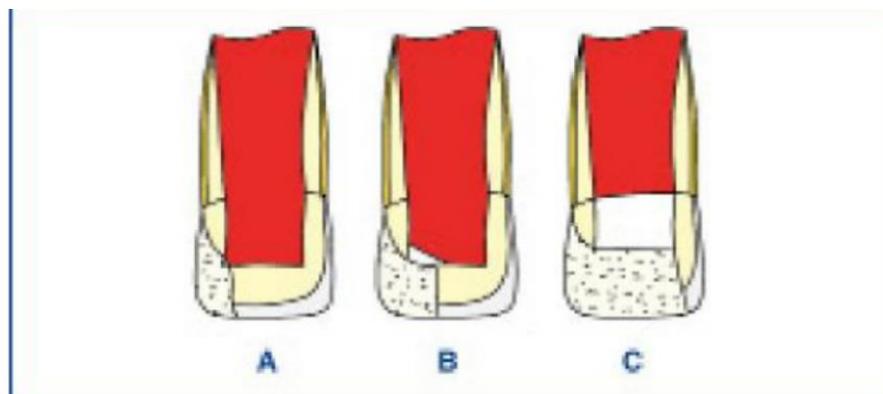


Fig. 28. Esquema en el que se muestran los 3 grados de exposición pulpar. A) recubrimiento pulpar. B) Biopulpectomía parcial. C) Pulpotomía. (24)

La clave para elegir si hacer una pulpotomía parcial o total, es si se logra controlar la hemorragia. Es muy importante no ejercer presión para realizar la hemostasia. (24)

La resección pulpar puede hacerse con ayuda de una cucharilla, un excavador endodónico o una fresa de diamante abrasiva y redonda; para dientes posteriores se puede utilizar además limas o abridores para remover tejido pulpar de la porción cervical de los conductos.

Para irrigar se puede utilizar suero fisiológico, agua estéril o clorhexidina. Una vez que se confirmó si se realizará una pulpotomía parcial o total, la hemostasia se puede realizar con torundas de algodón estériles, bañadas en agua salina o hipoclorito a bajas concentraciones, inclusive podría utilizarse cloruro de aluminio o sulfato férrico. A continuación, se coloca un biomaterial sobre la herida pulpar. Anteriormente se hacía con materiales como el hidróxido de calcio, después se popularizó el MTA y actualmente se recomienda realizarse con Biodentine®. Es necesario llevar a cabo un control radiológico y clínico. (17)

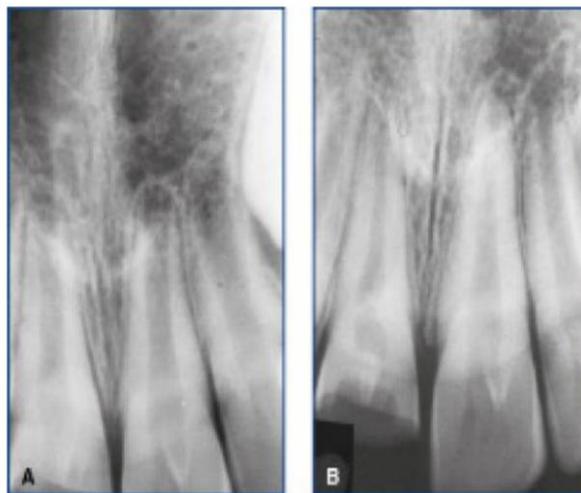


Fig. 29. Radiografías de un caso clínico manejado con Biodentine®. A) Diente 11 presenta fractura coronal compleja. Se le practicó una pulpotomía total. B) Control radiográfico posterior a un año. Se observa la formación completa del ápice con longitud similar a la del diente 21. (55)

La apicogénesis es un tratamiento temporal, es decir, una vez que se terminen de conformar los ápices, se deberá realizar la biopulpectomía total, para ofrecer mejor pronóstico, ya que el hecho de que el ápice se termine de formar no quiere decir que la pulpa este sana.

Aunque sucede de forma muy irregular, después de que transcurra cierto periodo de tiempo se pueden presentar algunas complicaciones como:

- La calcificación difusa del conducto.
- La aparición de reabsorciones dentinarias internas. (24)

4.3.2 Apexificación.

También encontrada en la literatura como apicoformación o cierre del extremo radicular y se define como el tratamiento efectuado en un diente que presenta necrosis pulpar y rizogénesis incompleta, que ya perdió la capacidad de continuar con el desarrollo radicular, con la finalidad de fomentar la producción de una barrera calcificada que cierre la comunicación del conducto abierto con los tejidos perirradiculares. También se considera apexificación a la colocación de una barrera apical artificial. En este tipo de tratamiento es muy común que la longitud de la raíz ni la anchura de sus paredes se modifiquen. (17,24)

Las dos formas de hacer este procedimiento son:

- Apexificación convencional: solía realizarse con hidróxido de calcio. Se deben de hacer varias sesiones, en cada una se cambia la medicación intra conducto. La formación de la barrera apical que oblitere la apertura se produce generalmente en un período de 9 a 18 meses. Una vez que esto se presente en los hallazgos radiográficos, se puede proceder a la obturación convencional con gutapercha. Es muy complicado llevar a cabo un correcto seguimiento clínico con los pacientes, puesto que algunos de ellos dejan de acudir a sus citas. (24,54)
- Apexificación con barrera apical: últimamente ha ganado mucha popularidad. El tiempo del tratamiento se reduce a una o máximo dos citas. El material estándar aplicado fue el MTA, sin embargo, actualmente Biodentine® ganó aún más

popularidad gracias a su capacidad de fraguado corta, además de otras propiedades. (53,54)

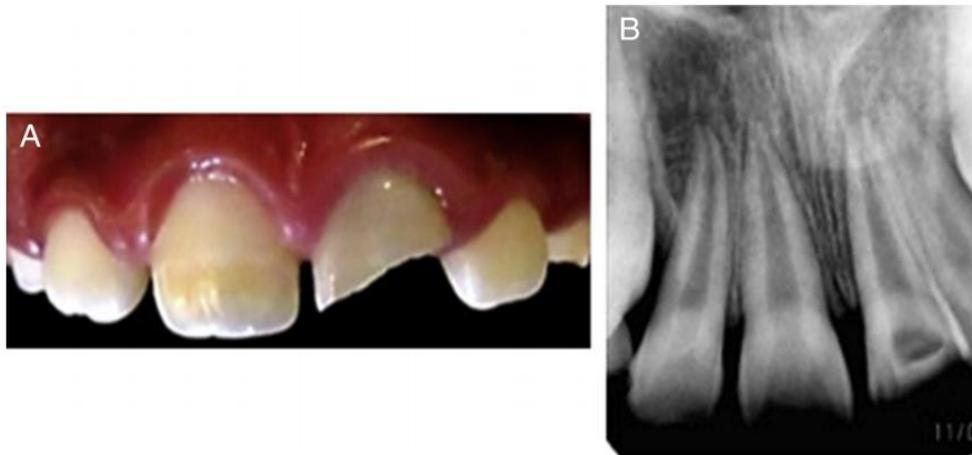


Fig. 30. Caso clínico de apexificación con Biodentine®. A) Pieza 12 con fractura complicada de la corona. B) Radiografía preoperatoria. Se observa ápice inmaduro. (54)



Fig. 31. A) control radiográfico a los 3 meses. B) control radiográfico a los 6 meses. C) control radiográfico a los 18 meses. Se observa el ápice completamente formado y sin lesión periodontal. (54)

Pueden ocurrir dos situaciones clínicas tras realizar este procedimiento:

- 1) Dientes en los que el estadio de evolución está en concordancia con la edad del paciente, es posible obtener un desarrollo radicular, formándose un ápice anatómico semejante al normal.

- 2) Dientes en los que el estadio de su evolución es anterior al de la edad del paciente. En ellos se formará una barrera calcificada en el ápice, pero la longitud radicular y la luz del conducto quedará en el mismo nivel en que se hallaba antes de iniciar el tratamiento. (24)

Modo de empleo de Biodentine® para casos de apexificación:

APEXIFICACIÓN

- 1) Instalar el campo operatorio.
- 2) Preparar el canal radicular alternando el uso de instrumentos endodónticos y de solución de hipoclorito de sodio.
- 3) Secar el canal con puntas de papel y efectuar una desinfección inter-sesión con una pasta a base de hidróxido de calcio. Proteger esta obturación temporaria cerrando en forma hermética la cavidad de acceso con un cemento provisorio.
- 4) Durante la sesión siguiente (en general después de una semana), retirar la obturación coronaria provisorio respetando el campo operatorio. Limpiar el canal alternando el uso de solución de hipoclorito de sodio y de instrumentos endodónticos. Secar el canal con puntas de papel.
- 5) Preparar Biodentine® como se ha indicado más arriba (Empleo de la cápsula Biodentine®).
- 6) Colocar Biodentine® en el canal con un instrumento adaptado.
- 7) Comprimir Biodentine® con un condensador.
- 8) Realizar una radiografía de control de la obturación.
- 9) Retirar los excesos y luego colocar un cemento de obturación provisorio.
- 10) Terminar el tratamiento endodóntico durante la visita siguiente, de acuerdo con las recomendaciones vigentes.

Fig. 32. Instrucciones de Biodentine® para apexificación. (43)

4.3.3 Regeneración pulpar (revascularización).

La endodoncia regenerativa es el conjunto de intervenciones biológicas y procedimientos efectuados en dientes que presentan el ápice no formado y necrosis pulpar, con el objetivo de restituir los tejidos dentales dañados, como la dentina, la estructura radicular y las células del complejo pulpodentinario, así como obtener una regeneración total de las funciones de la pulpa. Esta técnica plantea eliminar los tejidos pulpares inflamados o necróticos y sustituirlos por tejido pulpar sano. Varios autores denominan a este procedimiento «revascularización». (17,24)

La revascularización busca inducir la maduración completa de los tejidos periapicales por medio de las células madre mesenquimales, los factores de crecimiento presentes en la dentina y un andamio ortógrado por el coagulo que permite el crecimiento de tejido nuevo al interior del canal.

Las células madre mesenquimales se encuentran en los tejidos periapicales y papila apical de los dientes inmaduros. Tienen un potencial de diferenciación a células tipo odontoblastos y se ha comprobado que sobreviven a la necrosis pulpar e infección de tejidos circundantes. Estas células son transportadas al conducto radicular por medio de un coagulo de sangre producido intencionalmente por sobre instrumentación, lo que permitirá la maduración del diente necrótico. (56)

Muchos estudios clínicos han mostrado resultados prometedores en donde se consigue la revitalización dental y maduración de la raíz, sin embargo, el tejido neoformado es de tipo reparativo y solo algunos estudios ocasionales han observado regeneración de dentina y pulpa. Además, inicialmente esta técnica fue diseñada para diente inmaduros necróticos, sin embargo, se están realizando varios estudios clínicos para poder realizarlo en dientes necróticos maduros. (55,56)

Para realizar este conjunto de procedimientos, se deben entender las bases de la ingeniería tisular y endodoncia regenerativa, que son:

- Presencia de células madre con capacidad de diferenciarse al tipo celular deseado.
- Factores de crecimiento que modulen la migración, proliferación y diferenciación de las células madre.
- Andamio que provea un ambiente tridimensional para el crecimiento de tejido nuevo. (24,55)

Existen 3 factores que afectan el resultado de la regeneración pulpar:

- 1) La medicación utilizada durante la terapia: No se recomienda el uso de clorhexidina o hipoclorito en concentraciones mayores al 3%, ni el uso de pastas triples antibióticas, ya que son agentes citotóxicos para la células madre, por lo que lo más recomendado es el uso de medicación con hidróxido de calcio; por el contrario, en el libro de

Técnicas, recomiendan más el uso de las pastas triples antibióticas porque afirman que el hidróxido cálcico produce una necrosis por coagulación superficial cuando entra en contacto con los tejidos vitales, lo que podría ocasionar una destrucción de las células epiteliales que guían la formación radicular. Se recomienda una irrigación final con EDTA.

- 2) El estado inflamatorio del diente y del periápice: a del 80 % de los casos de endodoncia regenerativa muestran signos de infección persistente
- 3) La causa de la necrosis pulpar: Los dientes que presentan necrosis por traumatismo tienen un pronóstico más reservado que aquellos que presentan necrosis por caries, debido a que cuando ocurre un trauma hay un daño de la vaina epitelial de Herwith, estructura que en una situación fisiológica dirige el desarrollo radicular. (56)

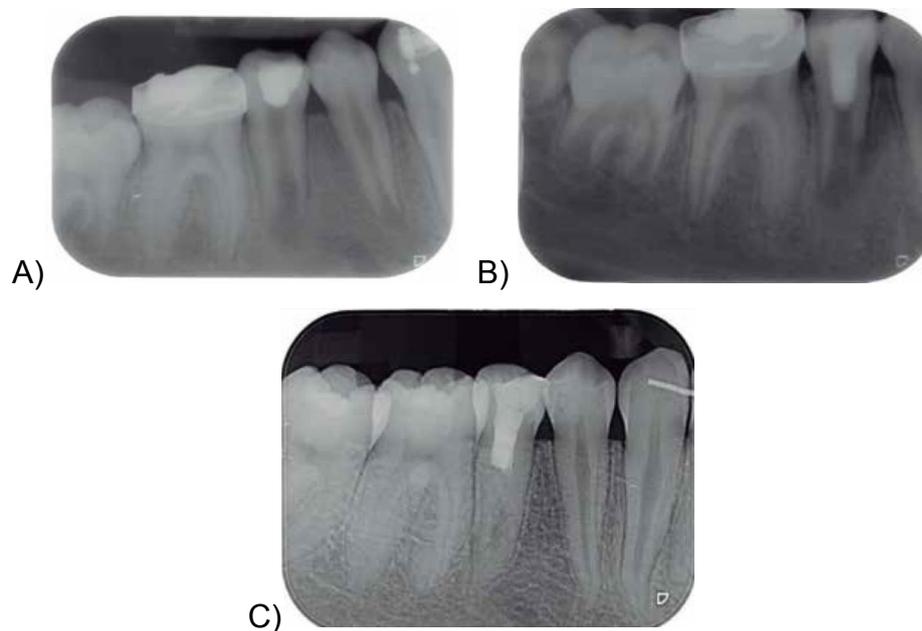


Fig. 33. A) Radiografía inicial de pieza 45. B) Radiografía posterior al tratamiento de revascularización en pieza 45. C) Control radiográfico a 3 años. El ápice se terminó de formar. (55)

Técnica:

1. Tomar radiografía preoperatoria (verificar el estadio de desarrollo radicular y el estado general del periápice)
 2. Aislamiento absoluto con el dique de goma.
 3. Preparación de acceso cameral.
 4. Determinación de la longitud de trabajo.
 5. Preparación del conducto radicular irrigando con una solución de hipoclorito de sodio al 3% o menor.
 6. Secado del conducto.
 7. Medicación intraconducto con una pasta poliantibiótica o hidróxido de calcio en un periodo de una o dos semanas.
 8. Anestesiado el paciente y aislado el campo operatorio, se elimina la medicación del interior del conducto irrigándolo con la misma solución de hipoclorito de sodio. Se seca el conducto.
 9. Con una lima tipo K 15 se instrumenta unos 2 mm más allá del final de la raíz, para conseguir un sangrado que inunde el conducto. Se coloca una torunda de algodón estéril en la entrada del conducto, durante 10-15 minutos, de modo que se produzca un coágulo a nivel del límite, entre el tercio coronal y el medio. Encima del coágulo se coloca Biodentine® o un material similar o colágeno. Se toma radiografía de control inmediato para identificar la capa de Biodentine® colocada. Es importante mantener controles clínicos y radiográficos a distancia para verificar el crecimiento radicular, el engrosamiento de las paredes radiculares y la salud del periápice.
- (24)



Fig. 34. Diagrama en donde se observa el movimiento de sobreinstrumentación para producir un coágulo de sangre. Se coloca una porción de Biodentine sobre el coágulo. (57)

El material colocado sobre el coágulo actúa como un techo bajo el cual se espera el desarrollo de un tejido de granulación libre de bacterias, mismo que ayudará en la diferenciación de nuevas células pulpaes a partir de células indiferenciadas próximas al ápice, la revascularización y la reinervación en el conducto, así como a la formación de tejido calcificado en las paredes del conducto y en la zona apical. (24)

5. Capítulo V: Respuesta biológica de los tejidos ante la aplicación de Biodentine®.

Gracias a las excelentes cualidades que Biodentine® ofrece, está indicado para el contacto directo con la pulpa dental y con los tejidos perirradiculares, sabiendo que inducirá la reparación del tejido afectado con seguridad y rapidez.

Efecto sobre la pulpa dental:

Naturalmente la pulpa dental tiene la capacidad de regenerarse por sí misma cuando realizamos tratamientos como las pulpotomías, ya que tiene un potencial nato de reparación e induce el proceso de dentinogénesis. Durante este proceso, los odontoblastos superficiales son destruidos y reemplazados por células muy parecidas a odontoblastos recientemente diferenciados. Este proceso implica la migración de células progenitoras al sitio de la lesión para que posteriormente se lleve a cabo una proliferación y diferenciación de estas células en odontoblastos. (58)

Una vez que Biodentine® entra en contacto con la pulpa dental y comienza a fraguar, se lleva a cabo la hidratación del material. Esta hidratación produce la liberación de iones de calcio, por lo que se comienzan a formar zonas con calcificaciones, denominadas “puentes dentinarios”, mismos que resultarán en dentina de reparación. Dentro de estas zonas calcificadas, quedan células secuestradas, las cuales van a expresar marcadores como nestina y sialoproteínas de dentina. Toda esta mineralización se debe a la liberación del factor de crecimiento transformante beta 1 (TGF- β 1) de las células pulpares incubadas con Biodentine®, es decir, que estimula el reclutamiento y la diferenciación de las células pulpares, regula al alza los factores de transformación (expresión génica) y promueve la dentinogénesis. (4,5,31,32). Más simplificado explicado, induce el aumento de la producción del TGF- β 1 al desencadenar angiogénesis, diferenciación celular y el proceso

de mineralización, además puede promover la proliferación y quimiotaxis celular. (6)

Los odontoblastos son células que tienen la capacidad de expresar receptores del dolor de la familia de canales iónicos potenciales de receptores transitorios (TRPA1). Estos receptores participan en la nocicepción y en la inflamación neurogénica. Cuando Biodentine® entra en contacto específicamente con los odontoblastos, la expresión de estos receptores disminuye, así como la expresión del factor de necrosis tumoral proinflamatorio (TNF-a). (32)

En un estudio realizado en el 2020, se evaluó la reacción de las células pulpares ante el contacto de Biodentine®, midiendo los resultados a los 3, 7, 14 y 21 días, encontrando que durante las primeras horas se producía una reacción inflamatoria con presencia de células como los neutrófilos polimorfonucleares, posteriormente comenzó una desorganización de la capa superficial de odontoblastos. Al día 7 se comenzaron a notar las calcificaciones en la zona superficial de la pulpa, sin embargo, a los días 14 y 21 se comenzaron a encontrar calcificaciones de forma generalizada, además de que la organización de la estructura no era del todo buena. (58)

Otros autores en otros estudios han encontrado resultados en donde la formación del puente dentinario es muy rápida, con un buen grosor y muy organizados morfológicamente, además de que no provoca efectos citotóxicos. (5,31)

Este material provoca un proceso inflamatorio leve inicial, pero esta respuesta es seguida rápidamente por la formación de tejido conectivo, puentes dentinarios y finalmente dentina de reparación con calidad de tejido de dentina sana. (58)

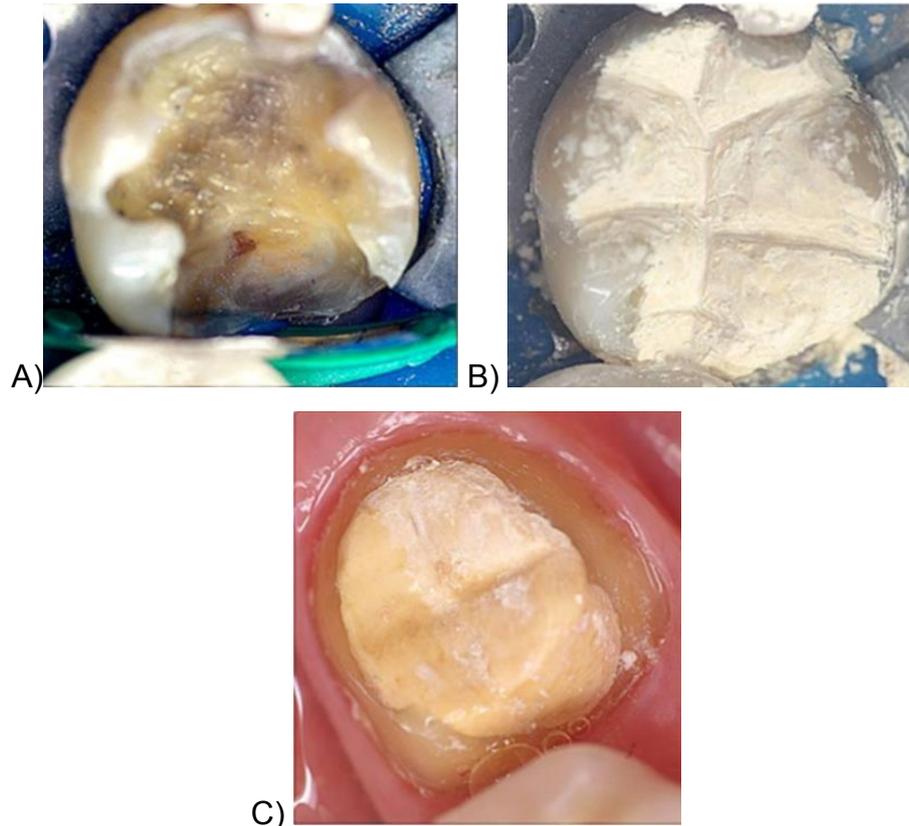


Fig. 35. Presentación de un caso clínico. A) Se observa a cavidad profunda con exposición pulpar. B) Se realiza recubrimiento pulpar directo y reconstrucción del modar con Biodentine. C) Preparación para corona. Biodentine se observa ligeramente de un color mas amarillento que la dentina natural. (59)

Efectos en el periodonto:

La resorción de hueso, cemento y ligamento periodontal se produce por consecuencia de la liberación de sustancias ácidas, mismas que forman un medioambiente ácido en el cual se disuelven las sales minerales de los tejidos. Los residuos orgánicos remanentes son eliminados por medio de enzimas y fagocitosis osteoclástica. (25) Esto explica la causa fisiológica de cómo se lleva a cabo la pérdida de tejidos perirradculares en presencia de una infección, ya sea de etiología pulpar o periodontal.

El uso de Biodentine® en contacto con los tejidos periapicales es empleado por medio de barreras apicales u obturaciones retrógradas después de una cirugía apical.

Las células del ligamento periodontal humano son las primeras que reaccionan con los materiales de obturación del extremo de la raíz.

Las células madre para la regeneración de tejidos derivan del ligamento periodontal y del tejido óseo después de la cirugía endodóntica, por lo que la interacción entre los materiales empleados y las células implicadas es importante. La unión celular es un requisito previo para la proliferación y diferenciación celular. La adhesión focal y el sitio de conexión entre la célula y el sustrato, está asociada con las fibras de tensión de actina. Las fibras de estrés de actina en el citoesqueleto celular indican una unión firme y fuerte y facilitan la transducción de señales celulares, la migración celular, la diferenciación celular y la comunicación bien establecida entre las células y el material. (60)

Son pocos los estudios que se han realizado sobre el efecto de Biodentine® en las células periodontales, sin embargo, en un estudio realizado en el 2017, compararon la adhesión de células del ligamento a Biodentine® y MTA, encontrando que ambos materiales inducen la osteogénesis y que las células del ligamento periodontal tuvieron buena adhesión a Biodentine®, revelando que el tejido neoformado presentaba morfología típica de fibroblastos con células en forma ahusada. En otro estudio realizado en el 2018 se buscaba evaluar la biocompatibilidad que tiene con los fibroblastos, demostrando que este cemento a base de silicato tricálcico presenta baja citotoxicidad a fibroblastos pulpares gingivales y periodontales, aunque hace falta realizar más estudios sobre estas interacciones. (60,61)

Uno de los estudios más reciente in vivo fue realizado en ratones con el fin de evaluar la capacidad osteoinductiva de Biodentine®, concluyendo en el mismo que tiene potencial osteoinductivo, la capacidad de unión ósea y la biomineralización de los tejidos recientemente desarrollados, presentando reemplazo por hueso nuevo. (35)

6. Conclusiones:

Biodentine® es un material que lleva en existencia para uso odontológico desde hace aproximadamente 10 años. Surgió a partir de la necesidad de mejorar los materiales ya existentes.

También ha mostrado excelentes resultados en el área pediátrica y restauradora.

Su composición y objetivos de uso fueron basados en el MTA, por lo que existen múltiples artículos que comparan las propiedades físicas, químicas, de manipulación y biocompatibilidad entre estos dos materiales. Aunque ya tiene poco más de una década en el mercado, aún falta mucho por investigar de este material, especialmente cuando se trata del efecto que tiene con los tejidos periodontales. Lo más habitual que se puede encontrar en la literatura son estudios in vitro, por lo que hace falta realizar más estudios in vivo para la evaluación completa de sus cualidades regenerativas. Los pocos artículos que abordan este tema son estudios clínicos en animales y otros tantos en dientes destinados a la extracción por motivos de ortodoncia; la minoría son presentaciones de casos clínicos con pocos años de seguimiento y control radiográfico. Esperemos que en pocos años ya se puedan tener nuevos datos del tema, así como el seguimiento a mayor plazo de tiempo de los casos clínicos reportados.

Es de suma importancia que los alumnos de licenciatura conozcan el mecanismo de acción de los cementos a base de silicato tricálcico y puedan utilizarlos acertivamente en determinadas situaciones clínicas que así lo ameriten, con el objetivo de resolverlas desde etapas tempranas y mejorar el pronóstico del tratamiento, siendo lo menos invasivo posible.

Este tipo de conductas clínicas representan un cambio conceptual de la terapia pulpar actual hacia los principios de la endodoncia regenerativa.

7. Bibliografía:

1. Cisneros Ruiz AC, García Aranda RL, Perea Mejía LM. Evaluación de la microfiltración bacteriana en obturaciones retrógradas con MTA, súper EBA, amalgama y cemento Portland en dientes extraídos. *Rev Odontológica Mex.* 2006;10(4):157–61.
2. Barzuna Ulloa M. Uso de un biocerámico (Biodentine) en obturación retrodentaria en apiceptomía. Reporte de un caso clínico. *Rev Odontol Vital.* 2014;1(20):69–74.
3. Malkondu O, Karapinar Kazandang M, Kazazoglu E. Una revisión sobre Biodentine, un material de reparación y remplazo de dentina contemporáneo. *Biomed Res Int [Internet].* 2014;2014(160951). Available from: doi: [10.1155 / 2014/160951](https://doi.org/10.1155/2014/160951)
4. Agrafioti A, Taraslia V, Chrepa V, Lymperi S, Panopoulos P, Anastasiadou E, et al. Interaction of dental pulp stem cells with biodentine and MTA after exposure to different environments. *J Appl Oral Sci.* 2016;24(5):481–6.
5. Zaccaro Scelza M, Costa Nascimento J, Da Silva LE, Shatt Gameiro V, De Deus G, Alves G. Biodentine TM is cytocompatible with human primary osteoblasts. *Braz Oral Res.* 2017;31:1–7.
6. Suprastiwi E, Putranto AW, Maharti ID. The ability of biodentine™ of guided tissue remineralization (GTR): Analysis using SEM, EDX and TEM. *Pesqui Bras Odontopediatria Clin Integr.* 2019;19(1):1–8.
7. Rahimi S, Asgary S, Samiei M, Bahari M, Vahid Pakdel SM, Mahmoudi R. The Effect of Thickness on the Sealing Ability of CEM Cement as a Root-end Filling Material. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2015;9(1):6–10.
8. Fogel HM, Peikoff MD. Microleakage of root-end filling materials. *J Endod.* 2001;27(7):456–8.
9. Romero RH. Uso de la amalgama de plata sin cinc para el tratamiento de perforaciones radiculares laterales en piezas dentales. *San José Costa Rica.* 1987;8(1):47–52.

10. Gómez-Carrillo V, Giner Díaz J, Maniegas Lozano L, Gaité Ballesta JJ, Castro Bustamante A, Ruiz Cruz JA, et al. Apicectomía quirúrgica: propuesta de un protocolo basado en la evidencia. *Rev Esp Cir Oral y Maxilofac.* 2011;33(2):61–6.
11. Anusavice KJ, Marshall SJ, Marshall GW, Shen C. Phillips. *Ciencia de los materiales dentales.* 11th ed. Madrid, España; 2004. 471–476, 495–540 p.
12. Johnson JR, Anderson RW, Pashley DH. Evaluation of the seal of various amalgam products used as root-end fillings. *J Endod.* 1995;21(10):505–8.
13. Next Dental. Next Dental [Internet]. Cápsulas de Amalgamas. 2021. Available from: <https://www.nextdental.com/products/2006-amalgam-capsules-44.aspx>
14. keystone industries. Keystone industries [Internet]. Cemento SuperEBA® EBA. 2021. Available from: <https://es-dental.keystoneindustries.com/product/supereba-eba-cement-2/>
15. Rueda K, Pulido E. Dental Experience [Internet]. Utilización del ionómero de vidrio como material de obturación coronal temporal. 2021. Available from: http://www.javeriana.edu.co/academiapgendodoncia/art_revision/home_revision.html
16. Hidalgo Lostaunau RC, Mendez Renderos me. Ionómeros de vidrio convencionales como base en la técnica restauradora desándwich cerrado: su optimización mediante la técnica de acondicionamiento ácido simultáneo y selectivo. *Acta Odontológica Venez.* 2009;47(4):1–24.
17. Hargreaves M. K, Berman LH. Cohen. *Vías de la pulpa.* 2011. 3612 p.
18. Llanos Carazas MY. Evolution of bioceramic cements in endodontics. *Univ San Pedro.* 2019;10(1):151–62.
19. Dentsply Sirona. Dentsply Sirona [Internet]. Instructivo ProRoot™ MTA. 2021. Available from: <https://www.dentsplysirona.com/en->

- us/shop/proroot-mta-manual-carrier.html
20. Miñana Gómez M. El Agregado de Trióxido Mineral (MTA) en Endodoncia. RCOE [Internet]. 2002;7(3):283–9. Available from: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1138-123X2002000400006
 21. Dentistry P. Pocket Dentistry [Internet]. Available from: <https://pocketdentistry.com/2-chemical-properties-of-mta/>
 22. Espinoza F, Lizana A, Muñoz P. Biocerámicos en odontología , una revisión de literatura. Canal Abierto. 2020;41:14–21.
 23. Biodinámica. Bioglass C [Internet]. Available from: <https://biodinamica.com.br/producto/bioglass-c-es/?lang=es>
 24. Canalda Sahli C, Brau Aguadé E. Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas. 2014. 462 p.
 25. Lindhe J, Karring T, Araújo M. Periodontología clínica e implantología odontológica. In: 5a edición. 2009. p. 8–48.
 26. Gomez N. Trabajo de actualización bibliográfica. Función sensitiva de la pulpa dental. Dolor. Electron J Endod Rosario [Internet]. 2011;02:527–34. Available from: https://rehip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/1756/ejer_021061sp.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 27. Fiorellini J, Kao WK D, Kim M D, Uzel G. Pediontología clinica. In: Anatomía del periodonto. 2011. p. 28–48.
 28. Clínicas Propdental. Propdental [Internet]. Available from: <https://www.propdental.es/periodontitis/encia/>
 29. Morfofisiología 1. [Internet]. Tejido óseo (histología). 2014. Available from: <http://lisbethsabio17.blogspot.com/p/osteoporosis.html>
 30. Aranda A. Cap. 16. Cavidad oral. [Internet]. Cementocitos. Available from: <https://slideplayer.es/slide/153561/>
 31. Hincapié Narvárez S, Valerio Rodriguez A. Biodentine: A New Material for Pulp Therapy. Univ Odontol [Internet]. 2015;34(73):69–76. Available from: <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.uo34-73.bmtp>

32. About I. Biodentine: from biochemical and bioactive properties to clinical applications. *G Ital Endod* [Internet]. 2016;30(2):81–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gien.2016.09.002>
33. Herzog Flores DS, Rodriguez Ojeda FF, Gonzalez Murillo LA, Dávila Pérez CE, Torres Mendez F, López-Aldrete A. Evaluación de la microfiltración apical de Biodentine como material de obturación apical mediante el transporte de fluidos computarizado. *Rev ADM*. 2016;73(2):65–71.
34. Corral Nuñez C, Covarrubias C, Fernandez E, Oliveira Junior OB de. Enhanced bioactive properties of biodentine™ modified with bioactive glass nanoparticles. *J Appl Oral Sci*. 2017;25(2):177–85.
35. Kim M, Kim S, Ko H, Song M. Effect of ProRoot MTA® and Biodentine® on osteoclastic differentiation and activity of mouse bone marrow macrophages. *J Appl Oral Sci*. 2019;27:1–8.
36. Dental Cost. Biodentine, presentación comercial. [Internet]. Available from: <https://www.dentalcost.es/biomateriales/2364-biodentine-sustituto-dentina-bioactivo-5u-septodont.html>
37. Swati A, Borkar I. Biodentine pulpotomy several days after pulp. *J Conserv Dent*. 2010;18(1).
38. Cedillo J. Nuevo sustituto bioactivo de la dentina; silicato tricalcico purificado. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 2013;2(2).
39. Ochoa-rodríguez VM, Tanomaru-filho M, Rodrigues EM, Guerreiro-JM. Addition of zirconium oxide to Biodentine increases radiopacity and does not alter its physicochemical and biological properties Abstract. *J Appl Oral Sci*. 2019;27:1–10.
40. Cedres C, Giani A, Jose L. Una nueva alternativa biocompatible: BIODENTINE. *Actas Odontológicas*. 2014;
41. ResearchGate. Preoperative radiograph showing tooth 21. Biodentine. [Internet]. Available from: https://www.researchgate.net/figure/a-Preoperative-radiograph-showing-tooth-21-with-open-apices-and-periapical_fig2_262022099
42. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement

- material. J Dent. 2013;41(7):600–10.
43. Septodont USA. Biodentine IFU [Internet]. 2018. p. 2. Available from: [https://www.septodontusa.com/sites/default/files/Biodentine IFU.pdf](https://www.septodontusa.com/sites/default/files/Biodentine%20IFU.pdf)
 44. Quintana Olivares C. Evaluación de la bioactividad del cemento de silicato de calcio (Biodentine) y del efecto del grabado dentinario previo a su aplicación. [Internet]. 2016. Available from: <https://docplayer.es/58568332-Evaluacion-de-la-bioactividad-del-cemento-de-silicato-de-calcio-biodentine-y-del-efecto-del-grabado-dentinario-previo-a-su-aplicacion.html>
 45. Pereira JC, Esteves Barata T de J, Costa LC, Ramos de Carvalho CA, Cestari Fagundes T, Ribeiro de Mattos C, et al. Recubrimiento pulpar directo e indirecto: mantenimiento de la vitalidad pulpar. Acta Odontológica Venez [Internet]. 2011;49(1). Available from: <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2011/1/art-15/>
 46. Díaz L, Flores G, Palma AM. Recubrimiento directo con agregado trióxido mineral (MTA) comparado con hidróxido de calcio para caries dentinaria profunda en pacientes con dentición permanente. Int J Interdiscip Dent. 2020;13(3):181–5.
 47. Pereira J, Sene F, Hannas A, Costa L. Tratamientos conservadores de la vitalidad pulpar: principios biológicos y clínicos. Biodonto. 2004;2(3):8–70.
 48. Odontoayuda. Blog sobre odontología. Recubrimiento pulpar [Internet]. 2011. Available from: <https://odontoayuda.com/presentaciones/recubrimiento-pulpar/>
 49. Corral Nuñez C, Fernandez-Godoy E, Casielles J, Estay J, Bersezio-Miranda C, Cisternas Pinto P, et al. El estado actual de los cementos de silicato de calcio en odontología restauradora: Una revisión. Rev Fac Odontol Univ Antioquia. 2016;27(2).
 50. Abarca J, Díaz C, Garay M, Monardes H. Multidisciplinary tooth treatment with unfavorable prognosis. Case report. Rev clínica periodoncia, Implantol y rehabilitación oral. 2019;12(2).

51. MTA-HP Angelus FM. The Treatment of a Dental Root Perforation. [Internet]. Available from: https://www.youtube.com/watch?v=T5BkGo_bjJk
52. Universidad de Valencia. Cirugía periapical. [Internet]. Open Course Ware. Available from: <http://ocw.uv.es/ciencias-de-la-salud/cirugia-bucal/pract08.pdf>
53. Pradeep K, Mohata P, Butula R. Biodentine: novel endodontic material for single step apexification: A case report. South African Dent J. 2018;73(7):452–5.
54. Vidal K, Martin G, Lozano O, Salas M, Trigueros J, Aguilar G. Apical Closure in Apexification: A Review and Case Report of Apexification Treatment of an Immature Permanent Tooth with Biodentine. J Endod [Internet]. 2016;42(5):730–4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.007>
55. Aboy Pazos S, Martín Bidema B, Varela Patiño P, Fernández Alonso P, Castelo Baz P. Regeneración pulpar en diente permanente con ápice inmaduro. Rev del Ilus Cons Gen Colegios Odontólogos y Estomatólogos España [Internet]. 26(1). Available from: <https://rcoe.es/articulo/26/regeneracion-pulpar-en-diente-permanente-con-apice-inmaduro>
56. Bucchi C. Tratamiento del diente permanente necrótico. Un cambio de paradigma en el campo de la Endodoncia. Int J Odontostomatol [Internet]. 2020;14(4). Available from: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-381X2020000400670&lang=es
57. OdontoVida. Apexificación en odontopediatría. [Internet]. Available from: <https://www.odontovida.com/2020/07/apexificacion-en-odontopediatria.html>
58. Paula AB, Laranjo M, Marto CM, Paulo S, Abrantes AM, Fernandes B, et al. Evaluation of dentinogenesis inducer biomaterials: An in vivo study. J Appl Oral Sci. 2020;28:1–13.
59. Cedillo J, Espinosa R, Curiel R, Huerta A. Nuevo sustituto bioactivo

- de la dentina; silicato tricálcico purificado. *RODYB*. 2013;2(2).
60. Luo T, Liu J, Sun Y, Shen Y, Zou L. Cytocompatibility of Biodentine and iRoot FS with human periodontal ligament cells: an in vitro study. *Int Endod J*. 2018;51(7):779–88.
 61. Romero PF, Flores ME, Ehrenfeld P, Köning T, Pavicic F. Biodentine Induce Proteínas Apoptóticas Caspasa 3 y PARP-1 en Células de la Pulpa Dental Humana. *Int J Odontostomatol*. 2019;13(4):411–7.