



**UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS DE LA SALUD
AREA ACADEMICA DE ODONTOLOGIA
LICENCIATURA DE CIRUJANO DENTISTA**

TESIS

**DE LA APICOFORMACIÓN A LA REGENERACIÓN: EVOLUCIÓN EN EL MANEJO
ENDODÓNTICO DEL DIENTE INMADURO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.**

Para obtener el grado de Cirujano Dentista

Nombre de la tesista

Itzel Castro Aguilar

Comité tutorial

Director:

Dr. Vicente Rueda Ibarra

Codirectora interna:

Dra. Sandra Isabel Jiménez Gayosso

Codirector externo:

Dr. Juan Alejandro Casanova Sarmiento

ASESORES:

Dra. Sonia Márquez Rodríguez

Dr. Víctor Jesús Delgado Pérez

Dr. Salvador Eduardo Lucas Rincón

Pachuca de Soto, Hidalgo, México abril de 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias de la Salud

School of Medical Sciences

Área Académica de Odontología

2 de marzo de 2026

No. Oficio UAEH/ICSa/AAO/150/2026

Asunto: Designación comité tutorial

PROFESORES PRESENTE

Me es grato comunicarles que, en atención a sus logros y desempeño laboral, así como a su formación y experiencia profesional han sido designados como integrantes del Comité Tutorial de la Licenciatura de Cirujano Dentista, de la tesis denominada "**DE LA APICOFORMACIÓN A LA REGENERACIÓN: EVOLUCIÓN EN EL MANEJO ENDODÓNTICO DEL DIENTE INMADURO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA**", de la alumna **Itzel Castro Aguilar** con número de cuenta 357627. El Comité Tutorial queda integrado por:

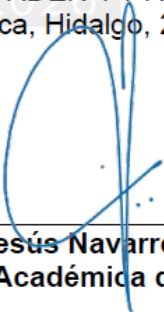
Dr. Vicente Rueda Ibarra, **Director**
Dra. Sandra Isabel Jiménez Gayosso, **Codirector interno**
Dr. Juan Alejandro Casanova Sarmiento, **Codirector externo**
Dra. Sonia Márquez Rodríguez, **Asesor**
Dr. Víctor Jesús Delgado Pérez, **Asesor**
Dr. Salvador Eduardo Lucas Rincón, **Asesor**

Sin otro asunto en particular, reciba usted la seguridad de mi más alta y distinguida consideración, esperando su valioso apoyo que permita la culminación de la tesis del alumno.

ATENTAMENTE

1961 AMOR, ORDEN Y PROGRESO

San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, 2 de marzo de 2026


Dr. José de Jesús Navarrete Hernández
Jefe del Área Académica de Odontología



"Amor, Orden y Progreso"



Circuito ex-Hacienda la Concepción s/n Carretera Pachuca
Actopan, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P.42170
Teléfono: 52(771)7172000 Ext. 41523 y 41534
odontologia@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias de la Salud
School of Medical Sciences
Área Académica de Odontología

5 de marzo de 2026
No. Oficio UAEH/ICSa/AAO/151/2026
Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH
PRESENTE

Por medio del presente, informo a usted que la pasante de la Licenciatura en Cirujano Dentista **Itzel Castro Aguilar** con número de cuenta **357627** presenta bajo la modalidad de tesis, titulada " **DE LA APICOFORMACIÓN A LA REGENERACIÓN: EVOLUCIÓN EN EL MANEJO ENDODÓNTICO DEL DIENTE INMADURO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA** " y que después de haber sido revisado el documento preliminar y realizadas las correcciones indicadas por su comité tutorial, se autoriza la impresión del mismo.

Nombres de los Docentes Jurados	Función	Firma de aceptación del trabajo para su Impresión
Dr. Carlo Eduardo Medina Solís	Presidente	
Dra. Martha Mendoza Rodríguez	Secretario	
Dr. Vicente Rueda Ibarra	Primer Vocal	
Dra. Miriam Alejandra Veras Hernández	Segundo Vocal	
Dra. María de Lourdes Márquez Corona	Tercer Vocal	
Dr. Salvador Eduardo Lucas Rincón	Suplente	
Dra. Mariana Mora Acosta	Suplente	

Sin más por el momento, agradezco la atención a la presente y aprovecho la ocasión para reiterar mi más atenta consideración.

Atentamente
"AMOR, ORDEN Y PROGRESO"
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo 5 de marzo de 2026.

MC. José Antonio Hernández Vera
Director del ICSA

Dr. José de Jesús Navarrete Hernández
Jefe del Área Académica De Odontología



"Amor, Orden y Progreso"



Circuito ex-Hacienda la Concepción s/n Carretera Pachuca
Actopan, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P.42170
Teléfono: 52(771)7172000 Ext. 41523 y 41534
odontologia@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

ICSa/AAO/169/2026

Asunto: Incorporación al repositorio de tesis

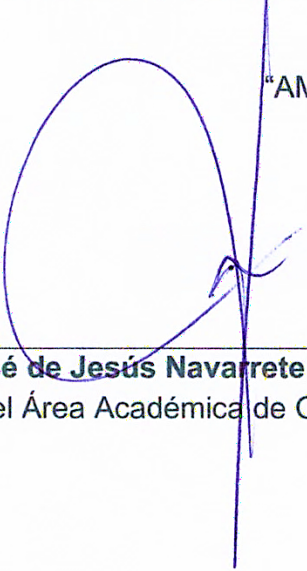
Mtro. Jorge E. Peña Zepeda
Director de Bibliotecas y Centros de Información
P R E S E N T E


Estimado Mtro. Peña,

Por medio del presente hago constar que la tesis en formato digital titulada: **“DE LA APICOFORMACIÓN A LA REGENERACIÓN: EVOLUCIÓN EN EL MANEJO ENDODÓNTICO DEL DIENTE INMADURO. UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA”**, que presenta la pasante de la Licenciatura en Cirujano Dentista **Itzel Castro Aguilar** con número de cuenta **357627**, cumple con el oficio de autorización de impresión y se ha verificado que es la versión digital del ejemplar impreso, por lo que solicito su integración en el repositorio institucional de tesis.

Sin más por el momento, agradezco la atención a la presente y aprovecho la ocasión para reiterar mi más atenta consideración.

Atentamente
“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”


Dr. José de Jesús Navarrete Hernandez
Jefe del Área Académica de Odontología


Itzel Castro Aguilar
Autor



“Amor, Orden y Progreso”

Agradecimientos

El presente trabajo de tesis representa un esfuerzo en el que participaron diversas personas, quienes contribuyeron con su tiempo, conocimiento y apoyo al leer, corregir, opinar y brindarme herramientas a lo largo de este proceso, acompañándome con paciencia en cada etapa.

Agradezco a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y al Instituto de Ciencias de la Salud por proporcionarme los recursos necesarios para la realización de este trabajo de investigación.

De manera especial, expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor, el Dr. Vicente Rueda Ibarra, por su orientación, paciencia y valiosas recomendaciones, las cuales enriquecieron significativamente este trabajo. Su dedicación fue una fuente constante de aprendizaje que contribuyó a mi formación académica y personal.

Asimismo, agradezco profundamente a mi familia y a todas aquellas personas que han sido un pilar en mi vida, acompañándome y brindándome su apoyo incondicional a lo largo de este camino.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mi mamá, María de Lourdes, y a mi abuela Enedina, quienes nunca me han dejado a pesar de las circunstancias. Gracias por su amor, comprensión y apoyo incondicional, por alentarme a ser mejor y por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba. Gran parte de lo que soy se lo debo a ustedes.

A mis amigos, por su apoyo, compañía y por hacer este camino más llevadero. En especial a mejor amigo, Alfredo, gracias por ser un pilar en mi vida, por tu cariño, apoyo constante y por siempre impulsarme a seguir adelante.

A mis tres estrellas, quienes aunque ya no están físicamente, forman parte de este logro. Gracias por todo lo que me brindaron; sé que, dondequiera que estén, están orgullosos de mí.

Finalmente, extendiendo esta dedicatoria a mis maestros, a mi universidad y a todas las personas que, de manera directa o indirecta, formaron parte de este proceso, brindándome palabras de apoyo, confianza y acompañamiento en los momentos más difíciles.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1.Marco Teórico	3
1.1 Introducción	3
1.2 Desarrollo Radicular	3
1.3 Estadios de desarrollo Radicular	4
1.3.1 Método de Nolla	5
1.3.2 Clasificación de Moorrees	6
1.4 Desarrollo pulpar	8
1.5 Funciones de la pulpa	8
1.6 Clasificación de las afectaciones pulpares y perirradiculares	9
1.7 Ápices Abiertos	13
1.8 Opciones De Tratamiento Para Ápices Abierto	13
1.8.1 Recubrimientos Pulpares	14
1.8.2 Apicogénesis Y Apicoformación	15
1.8.2.1 Apicogénesis	15
1.8.2.2 Apicoformación	15
1.8.3 Barrera Apical	17
1.8.3.1 Barrera Apical Convencional Con Hidróxido De Calcio	18
1.8.3.2 Barrera Apical Con Materiales De Base De Silicato De Calcio	18
1.8.4 Revascularización	20
2. Antecedentes	22
3. Objetivo	24
4. Métodos	25
4.1 Metodología	25
4.2 Criterios de selección.	25
4.2.1 Criterios de inclusión.	25
4.2.2 Criterios de exclusión.	25
4.2.3 Criterios de eliminación.	26
4.3 Proceso de selección y diagrama PRISMA	26
5. Discusión	28
6. Conclusión	33
7. Referencias	34

RESUMEN

Introducción: La preservación de la vitalidad pulpar en dientes inmaduros es fundamental para permitir el cierre apical y la continuidad del desarrollo radicular. Los traumatismos y las caries profundas pueden interrumpir la rizogénesis, generando ápices abiertos, paredes delgadas y susceptibilidad a fracturas, lo que representa un desafío clínico significativo. **Objetivo:** Identificar y analizar los principales procedimientos y materiales utilizados en el manejo endodóntico de dientes con ápices abiertos y afectación pulpar o perirradicular, evaluando sus propiedades biológicas, capacidad de sellado y potencial regenerativo. **Métodos:** Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante búsqueda en PubMed, Elsevier, Scielo, Google Académico y Epistemonikos. Se incluyeron estudios publicados entre 2017 y 2025 en español o inglés, que abordaran tratamientos en dientes inmaduros con materiales biocerámicos o técnicas regenerativas. Se excluyeron documentos sin seguimiento postoperatorio o que no evaluaran la eficacia de los materiales empleados. Se identificaron inicialmente 70 documentos, seleccionando 33 para el análisis final. **Resultados:** La apicoformación con hidróxido de calcio, aunque históricamente efectiva, requiere múltiples visitas y presenta riesgo de fractura (hasta 23%). El MTA y el Biodentine han demostrado tasas de éxito superiores (79-98%), con capacidad para formar barreras apicales en una sola sesión, menor número de complicaciones y propiedades bioactivas que estimulan la formación de tejido duro. La revascularización pulpar constituye una alternativa regenerativa prometedora, especialmente en dientes jóvenes sin infección activa, aunque su predictibilidad es variable y requiere seguimiento estricto. **Conclusiones:** Los materiales biocerámicos han mejorado significativamente el pronóstico de los dientes inmaduros, ofreciendo alternativas más predecibles y biológicamente compatibles. La selección del tratamiento debe basarse en el diagnóstico pulpar, el grado de desarrollo radicular y las características del paciente, priorizando siempre la conservación de la vitalidad pulpar cuando sea posible.

Palabras clave: ápice abierto, apicoformación, materiales biocerámicos, MTA, Biodentine, revascularización, desarrollo radicular.

ABSTRACT

FROM APICOFORMATION TO REGENERATION: EVOLUTION IN THE ENDODONTIC MANAGEMENT OF THE IMMATURE TOOTH. A SYSTEMATIC REVIEW.

Introduction: Preserving pulpal vitality in immature teeth is essential to allow apical closure and continuity of root development. Traumatic injuries and deep caries can interrupt rhizogenesis, resulting in open apices, thin walls, and susceptibility to fractures, which represents a significant clinical challenge. **Objective:** To identify and analyze the main procedures and materials used in the endodontic management of teeth with open apices and pulpal or periradicular involvement, evaluating their biological properties, sealing ability, and regenerative potential. **Methods:** A narrative literature review was conducted by searching PubMed, Elsevier, Scielo, Google Scholar, and Epistemonikos. Studies published between 2017 and 2025 in Spanish or English that addressed treatments in immature teeth with bioceramic materials or regenerative techniques were included. Documents without postoperative follow-up or that did not evaluate the efficacy of the materials used were excluded. Initially, 70 documents were identified, with 33 selected for the final analysis. **Results:** Apexification with calcium hydroxide, although historically effective, requires multiple visits and presents a risk of fracture (up to 23%). MTA and Biodentine have demonstrated superior success rates (79-98%), with the ability to form apical barriers in a single session, fewer complications, and bioactive properties that stimulate hard tissue formation. Pulp revascularization constitutes a promising regenerative alternative, especially in young teeth without active infection, although its predictability is variable and requires strict follow-up. **Conclusions:** Bioceramic materials have significantly improved the prognosis of immature teeth, offering more predictable and biologically compatible alternatives. Treatment selection should be based on pulpal diagnosis, degree of root development, and patient characteristics, always prioritizing the preservation of pulpal vitality when possible.

Keywords: open apex, apexification, bioceramic materials, MTA, Biodentine, revascularization, root development.

1.Marco Teórico

1.1 Introducción

La conservación de la vitalidad pulpar constituye un pilar fundamental dentro de la odontología conservadora y la endodoncia moderna, ya que permite mantener la función, estructura y estética del órgano dental. Dentro de este contexto, el complejo pulpodentinario, que está formado por odontoblastos, células mesenquimatosas, vasos sanguíneos y fibras nerviosas, actúa como una unidad funcional, cuya integridad es indispensable para el mantenimiento del diente. No obstante, la vitalidad puede verse afectada por factores como caries profunda, traumas o exposiciones pulpares, lo que puede interferir con el cierre apical y provocar alteraciones en los tejidos periapicales (1).

Una vez que la corona dental ha erupcionado, el desarrollo radicular continúa durante un periodo que puede abarcar de 2 a 3 años, tiempo en el cual el órgano dental atraviesa diversos estadios de maduración que pueden ser determinados gracias a las clasificaciones de desarrollo radicular. Si el tejido pulpar se ve afectado durante estas etapas, se puede producir una interrupción en el proceso de rizogénesis, dando lugar a la presencia de ápices abiertos o inmaduros (2).

En dientes inmaduros, la conservación de la vitalidad de la pulpa representa un factor determinante para permitir el cierre apical y el desarrollo radicular. Para esto, la elección del tratamiento y del material que se utilizará es crucial, debe poseer propiedades como la biocompatibilidad, actividad antimicrobiana, radiopacidad, no tóxico, insoluble y debe tener un correcto sellado hermético que pueda garantizar un éxito clínico (2,3).

En la práctica clínica, los materiales más empleados para tratamientos pulpares y endodónticos incluyen el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), trióxido mineral agregado (MTA) y más recientemente, Biodentine. Estos materiales son utilizados en tratamientos como pulpotomías, recubrimientos pulpares, apicogénesis, apicoformación, entre otros, cada uno con ventajas y limitaciones en cuanto a manipulación, tiempos de manejo, eficacia biológica. Debido a la amplia variedad de terapéuticas disponibles, se debe realizar un análisis comparativo de los materiales y el tipo de tratamiento, evaluando sus resultados biológicos, capacidad regenerativa y efectividad clínica en el manejo de dientes con ápices abiertos. (4, 5).

1.2 Desarrollo Radicular

La embriología estudia el desarrollo prenatal de los organismos y dentro de ella se encuentra el concepto de odontogénesis, definido como el proceso que conduce al desarrollo de los elementos dentales como esmalte, dentina, cemento y pulpa, tanto maxilares como en la mandíbula, abarcando la dentición primaria y permanente. Este proceso atraviesa por etapas de desarrollo hasta lograr el completo desarrollo. (6).

El germen dental empieza su formación en la corona del diente mediante la acción de los ameloblastos, comienza por los bordes incisales o cúspides y continúa avanzando hacia la zona cervical. Durante este proceso, los odontoblastos se logran diferenciar para dar origen a otras células y estructuras necesarias para el desarrollo dental.

El desarrollo restante del órgano dental puede tardar algunos años. Una vez que finaliza el proceso coronal y ocurre la erupción, la raíz del diente aún no completa su formación, pudiendo tardar de 2 a 3 años más. A partir del órgano del esmalte ocurre una fusión entre el epitelio interno y externo, dando origen a la vaina epitelial radicular de Hertwig, la estructura responsable de determinar el número y forma de las raíces.

En la vaina de Hertwig se pueden distinguir 2 estructuras:

- **Papila dental:** cuando se estimula, da origen al componente que da vitalidad al diente, la pulpa. La papila es capaz de crear pre odontoblastos y colágeno para la generación de dentina y cemento.
- **Saco dental:** a medida que avanza el desarrollo radicular, las células de la vaina comienzan a desaparecer permitiendo que el saco libere células que se diferencian en cementoblastos, los cuales son los encargados de generar cemento radicular.

Los restos epiteliales de Malassez son los remanentes celulares de la vaina epitelial, estos se extienden en la periferia, dejando libre la zona de la raíz o zona basal, que posteriormente da origen al foramen apical.

Una vez formada la pulpa, se pueden encontrar células mesenquimales o células madre, éstas tienen un papel importante en la regeneración de los tejidos dentales. Sin embargo, el proceso puede verse interrumpido por factores externos.

Un 30% de los casos en desarrollo pueden sufrir alteraciones por traumatismos dentales, lo que resulta en un desarrollo radicular incompleto. Cuando ocurre un traumatismo dental se puede ver comprometida la vitalidad de la pulpa, ocasionando que las paredes de la raíz sean más frágiles, delgadas, y cortas (2, 6).

1.3 Estadios de desarrollo Radicular

El desarrollo de las raíces comienza después de la formación del esmalte y de que la dentina llegó a la línea amelodentinaria. Según el diente en el que se vaya a formar, la vaina de Hertwig se divide, en dientes unirradiculares la abertura cervical es única, pero en dientes multirradiculares se forman varias lengüetas, dependiendo del número total de raíces que vaya a tener. (6).

Si los dientes sufren un trauma donde se ve involucrado el término del desarrollo radicular, debemos tener en cuenta la mineralización y grado de formación en que se encuentra, esto se logra ayudándonos de un diagnóstico mediante radiografías. Existen clasificaciones que nos ayudan a identificar en qué estadio se encuentra el desarrollo o en el que se detienen ante el trauma:

1.3.1 Método de Nolla

Este método fue creado por la Doctora Nolla entre la década de los 1950 y 1960, con el objetivo de examinar el grado de desarrollo del diente, se analizan los procesos de calcificación y maduración a través de radiografías. Este sistema inicia por la formación del esmalte coronal y termina con la formación completa de las raíces, estableciendo un total de 10 estadios (Figura 1):

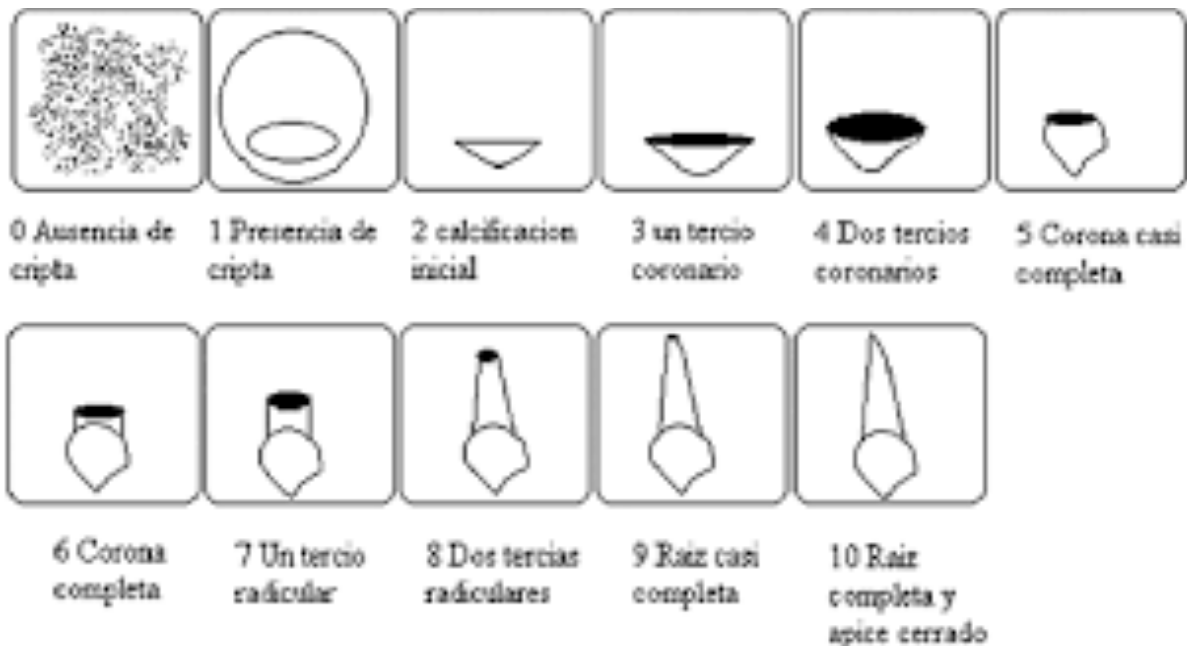


Figura 1. Estadios de Nolla.

- **Estadio 0**
 - Ausencia de la cripta dental, sin calcificación, usualmente el germen no se puede ver en radiografías.
- **Estadio 1**
 - Presencia de cripta dental, en radiografías se observa una línea radiopaca.
- **Estadio 2**
 - Calcificación inicial coronal, se observa una imagen circular o media luna en la cripta.
- **Estadio 3**
 - Un tercio completo de la corona, en radiografía se ve una imagen con mayor tamaño.
- **Estadio 4**
 - Dos tercios de la corona completa, se logra apreciar dentina.
- **Estadio 5**
 - Corona casi completa, en radiografía se aprecia una imagen radiopaca que supera la mitad de la corona.
- **Estadio 6**
 - Corona casi completa, en radiografía se ve usualmente hasta la línea cemento esmalte.
- **Estadio 7**
 - Un tercio de la raíz completa, en este estadio inicia la erupción.
- **Estadio 8**
 - Dos tercios completos de la raíz con paredes divergentes.
- **Estadio 9**
 - Raíz casi completa (con ápice abierto).
- **Estadio 10**
 - Ápice totalmente formado y cerrado.

(7).

1.3.2 Clasificación de Moorrees

Durante la década de 1990, en colaboración Fanning y Hunt, crearon una clasificación parecida a la clasificación de Patterson que cuenta con únicamente 5 estadios de desarrollo radicular, la principal diferencia es que describe en un diente permanente el crecimiento de la raíz, pasando

por 6 estadios, que describen el proceso desde la formación inicial hasta la reducción de la papila logrando el cierre total apical, esto es representado en la Figura 2:

- **Estadio 1**
 - Comienza con $\frac{1}{4}$ de la formación radicular con un ápice sin forma y desordenado.
- **Estadio 2**
 - Hay $\frac{1}{2}$ de la formación radicular con un ápice sin forma y desordenado.
- **Estadio 3**
 - Hay $\frac{3}{4}$ de la formación radicular con un ápice sin forma y desordenado.
- **Estadio 4**
 - El desarrollo radicular se encuentra completo con la presencia de un ápice abierto y paredes divergentes.
- **Estadio 5**
 - Ya existe un desarrollo completo de las raíces con un ápice parcialmente cerrado.
- **Estadio 6**
 - El diente ha terminado su formación radicular y también el ápice se ha cerrado por completo.

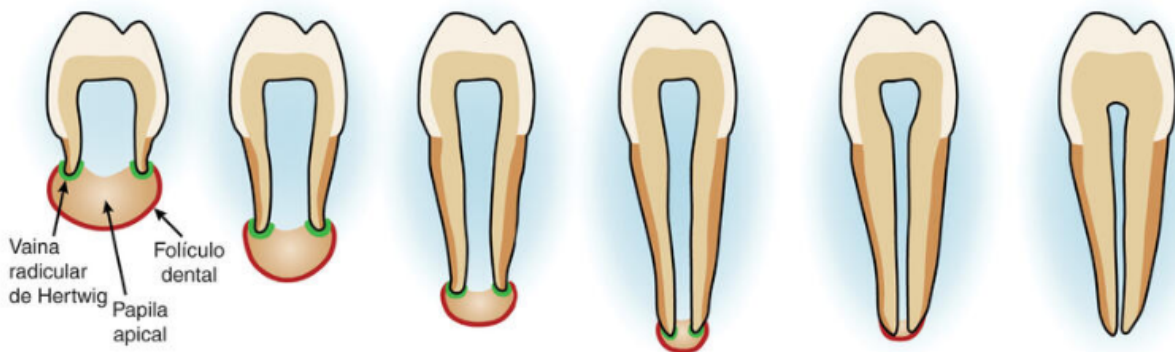


Figura 2. Estadios de Moorrees.

(7, 8).

1.4 Desarrollo pulpar

La pulpa dental es un tejido blando, especializado y vascularizado, que tiene origen a partir de la papila dental una vez completada la formación de la dentina. El conjunto dentino pulpar se desarrolla mediante la odontogénesis durante el 4to mes de vida intrauterina.

La formación de la pulpa ocurre durante la etapa de campana del desarrollo dentario. En la fase final de esta etapa, se hace una diferenciación de células madre a ameloblastos y odontoblastos, los cuales intervienen en la formación de dentina y pulpa. Posteriormente, durante la etapa del folículo, la pulpa dental termina de formarse y algunos de los odontoblastos contribuyen a la formación de redes capilares dentro de la pulpa. (6).

La ubicación anatómica de la pulpa determina su clasificación:

- **Pulpa coronal:** se ubica dentro de la corona, tiene extensiones denominadas como cuernos pulpares, las cuales son las zonas más altas de la pulpa.
- **Pulpa radicular:** es aquella que se encuentra entre el cuello y el ápice de las raíces.

El perímetro que rodea a la pulpa tiene una capa rica en células, grandes vasos sanguíneos y fibras nerviosas que se extienden hacia la periferia. (9).

1.5 Funciones de la pulpa

La pulpa dental tiene 4 funciones principales que garantizan la vitalidad y protección del órgano dental:

- ***Función formativa o inductora***

La pulpa dental ayuda activamente a la formación de dentina primaria y secundaria, así como la diferenciación de odontoblastos. De igual forma es un apoyo en el desarrollo del esmalte mediante la actividad de los ameloblastos. Esta función depende del mantenimiento de la vitalidad pulpar del órgano dental.

- ***Función de nutrición***

Mediante la red vascular pulpar, esta aporta humedad y nutrientes a la dentina, entre los que se encuentran la albúmina, transferina, tenascina y otros proteoglicanos.

- ***Función de inervación o sensitiva***

Esta función se ve reflejada por la respuesta ante los estímulos térmicos y agresiones en contra de la pulpa, la mayoría de veces se manifiesta como dolor o molestias. La pulpa tiene 2 grupos principales de fibras nerviosas:

- **Tipo A mielínicas:** de conducción rápida, usualmente son las causantes del dolor agudo.
- **Tipo C amielínicas:** de conducción lenta, usualmente son las causantes del dolor duradero, ante el calor.

- **Función defensora**

La función de defensa se cumple mediante el desarrollo de nueva dentina, mejor conocida como dentina terciaria o de reparación, esta es capaz de proporcionar una barrera contra agentes capaces de irritar a la pulpa y hacer el proceso cariado activo más lento. La dentina de reparación se crea al estimular a los odontoblastos para el desarrollo de tejido nuevo.

La respuesta depende de la extensión de daño, el agente causal (lesiones cariosas, factores térmicos o químicos) y la profundidad de la lesión. (2, 9).

1.6 Clasificación de las afectaciones pulpares y perirradiculares

Las afectaciones pulpares tienen origen por diversos factores como caries, traumatismo, irritaciones o procesos de reabsorción, ante estas alteraciones es necesario implementar una serie de intervenciones orientadas a conservar la vitalidad pulpar, la eliminación de la infección y en algunos de los casos, extirpar la pulpa y colocar un material biocompatible para rellenar los conductos (10). Debemos prestar atención al diagnóstico pulpar, ya que este determina el tratamiento a seguir y la selección del biomaterial más adecuado para garantizar el éxito del procedimiento. (5).

La American Association of Endodontist en 2016 desarrolló una terminología y clasificación de patologías pulpares y periapicales, siendo la siguiente (11):

Patología pulpar:

- **Pulpa normal:**

La pulpa presenta sintomatología de nula a leve, que no resultan molestos y vuelve a la normalidad en segundos. No se necesita de ningún tratamiento de índole endodóntico. (11).

- **Pulpitis reversible:**

Es una pulpa que está inflamada, con vitalidad y capacidad regenerativa, causada por caries o exposiciones, generando un dolor agudo y rápido. Se puede recuperar la salud pulpar si se elimina el agente irritante. (5, 11).

Puede ser ocasionada por caries, traumatismos, restauraciones recientes o defectuosas, o dentina expuesta (debido al movimiento líquido dentro de los túbulos dentinarios y que tan abiertos se encuentran, pudiendo causar hipersensibilidad dentinaria). Usualmente puede manifestarse como sensibilidad a estímulos térmicos o alimentos dulces o ácidos. (11).

- **Pulpitis irreversible**

Se puede definir como un proceso inflamatorio que no puede regenerarse o cicatrizar, causada por daños a la pulpa como caries, obturaciones desajustadas o extensas, enfermedades periodontales o atrición dental. Se presenta como un dolor prolongado, persistente y espontáneo ante estímulos térmicos, principalmente ante el calor y puede tener alivio temporal ante el frío. (5).

Si una pulpitis reversible no es tratada y evoluciona, puede llegar a generar un estado inflamatorio donde es necesario eliminar el tejido enfermo, convirtiéndose en una pulpitis irreversible con 2 subcategorías posibles según la sintomatología. (11).

→ **Pulpitis irreversible sintomática**

Afección pulpar más avanzada donde ocurre una inflamación que no es capaz de cicatrizar, generando dolor espontáneo, agudo, localizado (o difuso) y prolongado ante cambios térmicos fríos (11). Usualmente es causada por caries, obturaciones mal ajustadas y extensas, patologías endoperiodontales, alteraciones masticatorias e incluso un tratamiento previo de ortodoncia. (5) Radiográficamente en el área periapical, presenta cambios mínimos, principalmente se aprecia el ensanchamiento del ligamento periodontal. Si esta afectación pulpar no se llega a tratar, la pulpa puede necrosarse y generar infecciones. (11).

→ **Pulpitis irreversible asintomática**

Afección pulpar avanzada donde la pulpa no puede cicatrizar y no existe una sintomatología clínica, es causada principalmente por caries de larga evolución y profunda, exposición pulpar u obturaciones mal ajustadas y profundas. La única sintomatología puede ser un dolor de duración corta y leve que puede aumentar a moderado con cambios térmicos o presión. (5, 11).

Al tener nula sintomatología, esta afectación puede no ser tratada y la pulpa dental acabará por necrosarse, es necesario realizar un tratamiento endodóntico lo antes posible para evitar dolores intensos y molestias futuras. (11).

- **Necrosis Pulpar:**

Este estadio también se conoce como “pulpa desvitalizada”. Es la categoría que establece que la pulpa dental ya no presenta vitalidad debido a la ausencia de vascularización e inervación, manifestándose como la poca o nula respuesta a las prueba de vitalidad, principalmente a la eléctrica o la estimulación con frío. Sin embargo, ante la estimulación con calor puede haber respuesta dolorosa gracias a los restos de líquido o gases en el espacio pulpar. (5, 11).

- **Tratamiento realizado previamente:**

Esto se define cuando un diente ya ha tenido un tratamiento endodóntico terminado, es decir que los conductos estén obturados con un material, pudiendo existir sintomatología o no.

Usualmente su diagnóstico es radiográficamente, se aprecia un ensanchamiento del ligamento o zona del periápice persistente, para poder tratar un caso con obturación endodóntica, se requiere de un tratamiento adicional de endodoncia o quirúrgico como la apicectomía. (11).

- **Tratamiento iniciado previamente:**

A diferencia del tratamiento previamente realizado, esta categoría indica que un diente ha sido tratado con una endodoncia parcial pero no se ha completado, pudiendo ser una pulpotomía, limpieza de la mayoría de los conductos como un tratamiento de urgencia en pulpitis irreversibles, tratamientos para apicoformación o apicogénesis.

La desventaja es que no se puede hacer un diagnóstico pulpar exacto, pero pese a esto, se debe terminar el tratamiento de los conductos radiculares. (11).

Patología periapical:

- **Tejidos periapicales normales:**

Clínicamente el diente no presenta sintomatología, pero responde de forma normal a las pruebas de percusión y palpación. Radiográficamente están intactos los ápices, ligamentos y la lámina dura. (11).

- **Periodontitis apical:**

Radiográficamente se logra apreciar una inflamación en el ligamento sin sintomatología clínica. Aunque sí está localizada en tejidos cerca del periápice, se denomina periodontitis apical. (11):

→ **Periodontitis apical sintomática:**

Se puede definir como una inflamación de tejidos periodontales de la zona apical, causando dolor o molestias al momento de morder o a la percusión, ante las pruebas de vitalidad puede arrojar resultados difusos. Radiográficamente se puede manifestar como una zona radiolúcida en el área apical de una o todas las raíces, así como un espacio del ligamento ensanchado. (11).

→ **Periodontitis apical asintomática:**

Se define como una inflamación de origen pulpar acompañada de destrucción del área periodontal apical, radiográficamente se ve como una lesión radiolúcida apical sin generar ninguna sintomatología clínica, un diente con PAA, no responde a las pruebas de vitalidad.

Se suele diferenciar de una periodontitis apical sintomática, por la nula sintomatología y por la insensibilidad ante la presión, como la percusión. Aunque el paciente puede describir sentir un diente “diferente”, esto puede ser variable en cada caso. (11).

Una opción de tratamiento para la periodontitis apical asintomática es la cirugía periapical, siempre y cuando el diente no pueda ser tratado con procedimientos no quirúrgicos, ya exista un tratamiento previo que o que se necesite una biopsia de la zona. (12).

- **Absceso apical agudo:**

Es una reacción inflamatoria de inicio rápido que puede evolucionar en algunos días hacia la formación de un absceso con pus. Clínicamente, tiene manifestaciones como dolor intenso y espontáneo, sensibilidad a la presión oclusal, percusión y palpación. Se caracteriza por la formación de pus y la tumefacción de los tejidos circundantes, especialmente en el área del diente afectado, pudiendo expandirse hacia los tejidos faciales.

Frecuentemente, es originada como consecuencia de una necrosis pulpar por lo que el paciente puede presentar fiebre y adenopatía dolorosa cuando se toca en los ganglios linfáticos cervicales y/o submandibulares. El diente afectado no mostrará respuesta a las pruebas de vitalidad y en algunos casos, existirá movilidad. Radiográficamente se puede evidenciar un ensanchamiento del espacio del ligamento periodontal y en la mayoría de los casos, se puede encontrar una radiolucidez en la zona perirradicular. (11).

- **Absceso apical crónico:**

El absceso apical crónico es definido como una reacción inflamatoria gradual por una infección y/o necrosis, puede llevar un tiempo más prolongado de formación que el absceso apical agudo, por lo que las molestias pueden ser nulas o leves, sin respuestas a las pruebas de vitalidad. La producción de pus es intermitente y frecuentemente se asocia a un tracto sinusal del diente afectado. El paciente no presenta sensibilidad ante la presión oclusal o percusión, pero se puede referir “sentir el diente raro o la zona diferente”.

Radiográficamente, se observa una radiolucidez apical definida. La principal diferencia con la periodontitis apical asintomática, es que habrá una supuración intermitente del tracto sinusal asociado al diente afectado. (11).

1.7 Ápices Abiertos

- Rizogénesis incompleta

La rizogénesis incompleta se presenta cuando un diente sufre necrosis pulpar antes del término del desarrollo apical, generando ápices abiertos, paredes radiculares delgadas y frágiles. Los dientes con estas alteraciones usualmente presentan conductos de menor longitud, por lo que se requiere implementar un tratamiento endodóntico que promueva el cierre apical. (5).

Las causas más frecuentes abarcan caries profundas o iatrogenias como perforación en raíces o furcas, permitiendo un contacto del complejo pulpar con la superficie externa de las raíces, afectando la formación de dentina y el crecimiento radicular. (3, 13).

Esta afectación necesita tratamientos de endodoncia regenerativa, como la apicogénesis o apicoformación, permitiendo la creación apical de una barrera artificial dentro de la raíz. Estos tratamientos deben realizarse con materiales bioactivos para poder tener resultados predecibles, reducir la cantidad de visitas y evitar reincidencias infecciosas, y favorecer la formación de tejido duro disminuyendo la posibilidad de fracturas (y por lo tanto, futuras extracciones).

Con el fin de estimular la formación de tejido mineralizado y promover la regeneración apical, se utilizan materiales bioactivos como el Agregado Trióxido Mineral (MTA), Biodentine u otros cementos a base de silicato. (10, 14).

1.8 Opciones De Tratamiento Para Ápices Abierto

El manejo de dientes con desarrollo radicular incompleto es un gran reto para la práctica clínica. Se debe evaluar la vitalidad pulpar y el grado de inflamación, se debe tomar en cuenta la presencia de necrosis, abscesos, periodontitis apical o la existencia de pulpitis. El éxito clínico de los tratamientos para ápices abiertos puede variar entre el 77 al 85%, dependiendo de la técnica y material utilizado.

El principal objetivo de los tratamientos con ápices abiertos es mantener la vitalidad pulpar, eliminar tejido necrótico o inflamado afectado, así como desinfectar el sistema de conductos y promover una barrera de tejido nuevo duro en la zona apical mediante materiales bioactivos. Los tratamientos para los ápices abiertos más utilizados incluyen recubrimientos pulpaes, apicogénesis, apicoformación y en la actualidad se agregan tratamientos regenerativos endodónticos como la revascularización del diente con ayuda de un coágulo (2).

1.8.1 Recubrimientos Pulpaes

- *Recubrimiento pulpar indirecto:*

Aunque actualmente existe un debate en sí un recubrimiento pulpar indirecto es de utilidad o no, es un tratamiento indicado cuando el diagnóstico es una pulpitis reversible sin exposición pulpar. Los recubrimientos pulpaes indirectos son procedimientos que consisten en eliminar el agente irritante de la pulpa, como la caries, y colocar un material protector en el piso de la cavidad con el objetivo de preservar la vitalidad pulpar. Tradicionalmente, el hidróxido de calcio era la primera opción para este procedimiento, aunque en la actualidad se recomiendan alternativas como el MTA o Biodentine, por su biocompatibilidad y bioactividad superior.

El Biodentine, por la similitud con la dentina natural una vez fraguado, su actividad como biocerámico y la buena capacidad de promover tejido reparador, actualmente se considera como la opción ideal para recubrimientos pulpaes indirectos. Estos últimos, son materiales biocerámicos con la capacidad de ayudar a la estimulación de tejido nuevo. (5).

- *Recubrimiento pulpar directo*

Indicado cuando la pulpa dental es vital y está expuesta. Se debe aplicar un material protector sobre la exposición para estimular la formación de un puente de dentina y protegiendo así la vitalidad pulpar para que la formación radicular pueda continuar. (5).

Históricamente, el hidróxido de calcio fue considerado el estándar de oro gracias a sus propiedades alcalinas y bactericidas; sin embargo, por su disolución a largo y mediano plazo y su posibilidad de microfiltraciones han llevado a ser reemplazado por el Agregado de Trióxido Mineral, material biocerámico, biocompatible y bioactivo que es capaz de aumentar el éxito clínico. Hay que tomar en cuenta que los materiales como el MTA, necesitan de una restauración definitiva sobre ellos. (15, 16, 17).

Posterior al MTA, se desarrolló el Biodentine, un cemento a base de silicato cálcico que actúa como un sustituto de la dentina natural, al tener propiedades mecánicas y biológicas similares. Puede ser empleado tanto en la zona radicular como en el área coronal, convirtiéndolo en una

alternativa viable para recubrimientos directos de exposiciones menores a 2,5 mm, gracias a su bajo potencial irritativo y su buena biocompatibilidad con los tejidos.

En resumen, el MTA se considera la mejor opción para recubrimientos pulpaes directos de gran tamaño, mientras que el Biodentine destaca como un material de primera elección para los recubrimientos directos de menor tamaño, por la gran similitud con la dentina natural del diente y la capacidad de estimulación para generar puentes dentinarios. (4).

1.8.2 Apicogénesis Y Apicoformación

1.8.2.1 Apicogénesis

La apicogénesis más que un tratamiento, es el resultado que se desea obtener ante dientes jóvenes inmaduros que han sufrido una lesión o trauma, pero que aún conserva su vitalidad pulpar. Su finalidad es inducir una formación de tejidos duros mediante el uso de materiales bioactivos y biocompatibles, con el objetivo de permitir el cierre apical a largo plazo. (5).

Este resultado se logra a través de un recubrimiento pulpar directo en pulpotomías parciales, cervicales o totales, dependiendo del grado de inflamación pulpar. La pulpa dental tiene la capacidad de regenerarse de forma natural, especialmente en dientes con ápices inmaduros, excepto cuando los odontoblastos han muerto.

Para lograr una apicogénesis exitosa en pulpa vital, el odontólogo debe retirar el tejido pulpar inflamado y cubrir el tejido sano con materiales inductores de la estimulación celular. Entre los más comunes, están el hidróxido de calcio y MTA (Agregado Trióxido Mineral); sin embargo, en la actualidad se ha utilizado el Biodentine, por su resistencia a la compresión, bioactividad y buena capacidad de sellado (2).

1.8.2.2 Apicoformación

La apicoformación también es conocida como apexificación, es definida como el procedimiento capaz de inducir el cierre apical en dientes no vitales, marcando la principal diferencia con la apicogénesis. Aquí, los dientes presentan una formación radicular incompleta, por lo que se requiere realizar la limpieza de la cámara pulpar y los conductos mediante irrigantes, para posteriormente colocar materiales bioactivos que permitan la formación de un tapón apical y finalmente una obturación definitiva. (5).

La principal base de este proceso endodóntico es la creación de una barrera apical, compuesta principalmente de dentina, cemento, hueso u osteodentina, esto mediante materiales inductores dentro del conducto radicular. (18).

Cuando el diagnóstico corresponde a una necrosis pulpar en un diente inmaduro que pueden ser restaurado, se debe eliminar la pulpa necrótica y posteriormente obturar el conducto con un material bioactivo, como el hidróxido de calcio o el MTA, los cuales promueven la liberación de células óseas y odontoblastos, creando una barrera calcificada en el ápice (2).

En sus inicios, en el tratamiento de apicoformación se utilizaba el hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), que lograba inducir la formación de una barrera apical de tejido duro nuevo en un tiempo prolongado. La tasa de éxito de este material puede variar entre un 27 a 77% de los casos, dependiendo del estadio de desarrollo radicular. No obstante, este método con hidróxido de calcio requería usualmente de múltiples visitas, medicación dentro del conducto a largo plazo y con renovaciones periódicas, además de la cooperación del paciente. Debido a las limitaciones del material como la solubilidad, debilidad estructural y necesidad de reemplazos frecuentes, el hidróxido de calcio fue eventualmente reemplazado.

En 1995, el MTA se consolidó como el material de primera elección para la apicoformación, solucionando las limitaciones del hidróxido de calcio. Este material permite la creación de una barrera de 3 a 4 mm en algunas horas, siendo compatible con la utilización de gutapercha; también reduce el número de citas clínicas y disminuye las complicaciones postoperatorias. La tasa de éxito reportada para tratamientos de apicoformación con MTA, varía entre 85 a 96%, con una posibilidad de fractura radicular de 5.5 a 8.3%.

Posterior al MTA surgió una nueva generación de cementos a base de silicato de calcio, siendo el Biodentine el principal competidor del MTA. Este material logra un fraguado más rápido, aunque muestra cierto grado de solubilidad ante líquidos o sangre. (8, 19, 20).

1.8.2.2.1 Tipos de apicoformación según el tiempo de tratamiento:

- Apicoformación con renovación periódica

En este método se estimula la formación de una barrera apical mediante materiales inductores, generalmente se usa el Ca(OH)_2 . La primera renovación se realiza a los 30 días, con seguimientos posteriores cada 3 o 6 meses, pudiendo extenderse hasta los 24 meses. (21).

Los tratamientos de Apicoformación con hidróxido de calcio, presentan dos desventajas principales a corto y mediano plazo:

- La necesidad de colocar una obturación temporal entre citas, ya que el material debe renovarse algunas veces durante el tratamiento.
- La posibilidad de fractura radicular es de hasta 23% de los casos durante los primeros 18 meses.

Debido a esto, se desarrollaron alternativas como el MTA, que ofrece una mayor tasa de éxito y menor riesgo de fracturas. (8, 22).

- Apicoformación sin renovación periódica

Para la técnica de apicoformación sin renovación periódica, se puede emplear una mezcla de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) con clorhexidina y óxido de zinc, lo que proporciona una fórmula bactericida, radiopaca y alcalina, además de promover la formación de dentina. (21).

En esta técnica, el hidróxido de calcio también puede utilizarse como medicación dentro del conducto en una fase inicial del tratamiento, seguido por la colocación de MTA para crear un tapón apical. Recomendado especialmente en dientes donde la estética no es algo prioritario.

En los casos donde se exige mayor estética, se puede utilizar el Biodentine, que posee propiedades parecidas al MTA pero sin manchar la corona del diente. Usualmente, se debe colocar un tapón apical de 4 a 5 mm, complementando con una obturación de gutapercha, logrando alcanzar una tasa de éxito que va del 79% al 96%. (8, 22).

1.8.3 Barrera Apical

Cuando un órgano dental tiene una anomalía que comunica el área pulpar, la dentina o incluso el esmalte coronal con el tejido periapical, el principal objetivo es preservar la mayor cantidad de tejido dental posible, manteniendo la vitalidad pulpar. Esta comunicación puede provocar afectaciones en los tejidos circundantes, como periodontitis apical con o sin sintomatología clínica, así como alteraciones en el hueso o las raíces del diente.

Los órganos dentales con raíces completamente formadas pueden ser tratados mediante procedimientos endodónticos convencionales; sin embargo, aquellos con rizogénesis incompleta requiere de un abordaje especial, sobre todo si presentan alteraciones periapicales. Estas condiciones complican el tratamiento, afectando el tiempo clínico requerido, por la dificultad en la instrumentación y obturación, representando un desafío para la preservación de la vitalidad e integridad del diente.

El principal propósito de una barrera apical, es crear una separación entre el ambiente perirradicular y el ambiente interno del diente, mediante materiales bioactivos, los cuales favorecen los tratamientos endodónticos tanto de tipo regenerativo (apicoformación, revascularización) como obturante (funcionando como sellador final en combinación con gutapercha). (19, 23).

Para la inducción de un tapón apical, es necesario eliminar completamente los microorganismos del sistema de conductos. Esta barrera puede ser indispensable en casos de raíces inmaduras o cirugías periodontales como la apicectomía, donde la dentina queda expuesta. En estas situaciones, el uso de materiales convencionales como amalgama, ionómeros de vidrio, el óxido

de zinc y eugenol o gutapercha pueden ser resultar inadecuados; por ello, se recomienda emplear materiales bioinductores y biocompatibles, capaces de sellar eficazmente y favorecer la regeneración tisular, como el MTA. (16, 17).

Las cirugías endo-periodontales son una alternativa viable en los dientes afectados con periodontitis apical cuando un retratamiento no es factible, hubo tratamientos sin éxito o se requiere de una biopsia. En estos casos, la cirugía puede ser el tratamiento ideal para ofrecer un soporte regenerativo óseo, siempre acompañada de un material sellador que impida la contaminación microbiana residual en el área radicular. Las propiedades de sellado y adaptabilidad del material determinan el éxito del tratamiento o la persistencia de la lesión. (12).

1.8.3.1 Barrera Apical Convencional Con Hidróxido De Calcio

Ha sido utilizado desde 1964 y hasta la aparición del MTA, fue considerado como el estándar de oro para el recubrimiento pulpar directo en su forma pura. Además, es ampliamente usado como medicación dentro del conducto y en algunas ocasiones, como un sellador en tratamiento de endodoncia.

Al mezclarse con un vehículo líquido, como agua destilada, solución salina o anestesia local, alcanza un pH de 12.5 a 12.8, por lo que adquiere actividad microbiana al inhibir el crecimiento de microorganismos.

Sin embargo, este material puede generar microfiltraciones y requiere de renovaciones periódicas en tratamientos como apicoformación. A pesar de sus limitaciones, el hidróxido de calcio tiene la cualidad de estimular la formación de tejido duro y dentina reparadora, al inducir la diferenciación de células mesenquimatosas hacia odontoblastos.

No existe un número específico de renovaciones para lograr el cierre apical, el cual puede requerir entre 18 y 24 meses según cada paciente, el tipo de trauma, así como patologías presentes en el área periapical. Debido a su solubilidad o la ineficacia de eliminar a los microorganismos resistentes, como la *E. Faecalis*, se han buscado alternativas más efectivas para lograr un cierre apical, como los cementos biocerámicos a base de silicato de calcio (2, 20, 24).

1.8.3.2 Barrera Apical Con Materiales De Base De Silicato De Calcio

MTA COMO MATERIAL PARA BARRERA APICAL

Gracias a su alta biocompatibilidad, el MTA es el material de primera elección para la formación de un “plug” (tapón) apical. Su uso permite reducir el número de consultas y favorece la formación

de una barrera apical efectiva, resultado de la interacción con la dentina y su capacidad de desinfección del conducto radicular. (21, 25).

El MTA posee buenas propiedades biológicas y físicas, aunque debe evitarse su extrusión fuera del conducto. Para mejorar su control, se puede combinar el material con una membrana de colágeno en el tercio apical; a pesar de ello, esta combinación es de alto costo y tiene una dificultad de manejo alta.

Este material proporciona suficiente resistencia estructural al diente para prevenir fracturas; no obstante los dientes no vitales pueden volverse más susceptibles a fracturas debido al debilitamiento de las paredes dentinarias. (23).

El MTA es indicado en dientes inmaduros o cirugías apicales, gracias a su capacidad de inducir la cementogénesis, promover la regeneración tisular, ofrecer un excelente sellado, su hidrofilia. Las versiones de Nano-MTA mejoradas con nanotecnología y nano aditivos, presentan mayor adaptabilidad entre los tejidos duros y el ambiente perirradicular.

El Nano-MTA tiene una composición muy parecida al MTA pero con partículas más pequeñas, haciendo su hidratación más rápida. En un estudio aleatorizado en 2022 con 40 premolares sometidos a apicectomía, se compararon obturaciones con Nano-MTA (con una proporción de polvo/líquido de 1:4) y MTA convencional (con una proporción de polvo/líquido de 1:3). Los resultados mostraron que el Nano-MTA presentó una mejor adaptación marginal y una interfase más homogénea, logrando una ausencia de vacíos. Además, al utilizar un tapón de mínimo 3 mm, la tasa de éxito alcanzó hasta un 98%, con menor filtración que materiales convencionales como amalgama, óxido de zinc y eugenol, IRM o hidróxido de calcio. (12).

BIODENTINE COMO MATERIAL PARA BARRERA APICAL

El Biodentine es un material bioactivo y biocompatible que puede emplearse tanto en tratamientos de recubrimiento pulpar indirecto y directo, como en obturaciones en tratamientos endodónticos. Posee propiedades similares al MTA, pero resolviendo sus limitaciones, como el tiempo prolongado de fraguado y la tinción dental.

Después de un mes, el Biodentine puede igualar la dureza de la dentina, gracias a su potencial de reparación y sin efectos citotóxicos. Se utiliza para inducir la formación de una barrera apical en tratamientos como apicogénesis o apicoformación.

En procedimientos quirúrgicos como la apicectomía, el Biodentine ha mostrado resultados comparables al MTA, resaltando propiedades como la baja citotoxicidad, capacidad de inducción de tejido duro y una menor inflamación postoperatoria (la cual va disminuyendo después de 30 días). (10, 17, 21, 23, 25).

1.8.4 Revascularización

La revascularización es un procedimiento incluido dentro de la endodoncia regenerativa. Es descrito como una alternativa para tratar los dientes necróticos e inmaduros que han sufrido traumatismos, como una avulsión, caries extensa o periodontitis apical asociada a reabsorción radicular. Su principal objetivo es preservar las células madre pulpares y papilares para restablecer la vitalidad del órgano dental y permitir la continuación con el desarrollo radicular, logrando finalmente el cierre apical (2, 26).

La técnica de revascularización pulpar conlleva un alto grado de dificultad su realización y generalmente se realiza en 2 citas:

- En la primera, se lleva a cabo la desinfección total del conducto.
- En la segunda cita se promueve la formación del coágulo sanguíneo que servirá como una matriz biológica. (26).

Durante la primera cita, la desinfección del sistema de conductos se efectúa utilizando una aguja de salida lateral y extremo cerrado. Se recomienda realizar una irrigación con NaOCl al 1,5%, seguido de EDTA al 3-17% o solución salina. Posteriormente, tras el secado, se coloca una pasta antibiótica triple (ciprofloxacino, metronidazol y minociclina) o alternativamente, hidróxido de calcio por debajo de la línea amelo cementante. Para sellar, se debe colocar una restauración temporal de al menos 3 mm de espesor, pudiendo emplearse cavit o IRM.

La segunda cita se realiza antes de las 4 semanas. En esta fase se repite la irrigación con EDTA al 17%, se seca el conducto y se induce la hemorragia intraconducto mediante una sobreinstrumentación con una lima k, de manera que el sangrado alcance hasta la unión cemento esmalte. También pueden usarse alternativas biológicas como plasma rico en plaquetas (PRP) o fibrina rica en plaquetas (FRP). Una vez formado el coágulo, se coloca un material sellador biocompatible, como el MTA blanco o Biodentine.

El MTA se emplea con frecuencia en la revascularización debido a su buen comportamiento ante sangre y líquidos, su biocompatibilidad y su capacidad de sellado, actuando como un tapón coronal que mejora hasta un 90% de los síntomas clínicos. Sin embargo, el MTA puede causar una coloración grisácea en la corona, por lo que se pueden considerar alternativas biocerámicas como el Biodentine o Endosequence. (17, 26, 27).

El seguimiento radiológico y clínico debe realizarse durante algunos meses. En los casos de éxito, entre el sexto y vigésimo cuarto mes se aprecia la desaparición de la radiolucidez apical, aumento del grosor de las paredes radiculares, incremento de la longitud de las raíces y ausencia

de dolor. Si en los primeros 3 a 6 meses no se evidencian signos de mejoría, se recomienda realizar un tratamiento alternativo, como la apicoformación. (20, 26, 27).

2. Antecedentes

Antes de la década de 1960, el tratamiento de elección para dientes inmaduros que llegaban a tener infección o necrosis pulpar era la extracción del diente ya que se creía que si se retiraba la pulpa de la cámara, el espacio vacío se volvía un foco infeccioso capaz de generar enfermedades sistémicas, enunciado que fue contradecido hasta la década de 1950; en 1964, comenzó la búsqueda del siguiente paso a la eliminación del foco infeccioso al introducir biomateriales en la práctica odontológica. (27).

En 1966, Frank fue el antecesor de la técnica de apicoformación, un tratamiento que era considerado como un procedimiento quirúrgico por su dificultad para realizarse, especialmente con pacientes infantiles. En los últimos años, la apicoformación se ha considerado como un método no quirúrgico capaz de formar una barrera calcificada favoreciendo el desarrollo de las raíces de los dientes que aún no completan su formación evitando que las bacterias se filtren por el orificio apical.

La técnica de apicoformación de Frank, conocida como la “Técnica de Frank” consistía en la obturación de los conductos con el material de primera elección de 1966, el hidróxido de calcio, pero debido que este material se reabsorbe, se requería de mínimo 3 recambios durante la duración del tratamiento. Una vez logrado el cierre apical, se debe colocar un material permanente dentro de los conductos. (28).

Trasladándonos a la década de 1990, en 1993 Torabinejad reportó un material derivado del cemento Portland a base de óxido tricálcico y silicato tricálcico, siendo considerado como el primer cemento biocerámico, se le asignó el nombre de “Agregado Mineral Trióxido” o por sus siglas en inglés, MTA; logrando que en el año 1998 fuera autorizada su comercialización en California, EE.UU, este material fue usado por su buena biocompatibilidad y capacidad de estimular la formación de nuevo tejido duro. Sin embargo, el MTA tiene ciertas limitaciones como la decoloración de los dientes, dándoles un tono grisáceo en la corona, el tiempo de fraguado y la dificultad de su manipulación.

Con el MTA se abrió paso a una variedad de materiales “biocerámicos” a base de silicato de calcio como por ejemplo el Biodentine, Bioaggregate o Endosequence, los cuales se pueden usar para tratamientos endodónticos donde se necesite biocompatibilidad y bioactividad, como la apicoformación. (27, 29).

A partir del 2000, las terapias odontológicas han ido orientándose hacia procedimientos más conservadores optando por materiales capaces de reparar el generar tejido vital perdido del complejo dentino-pulpar, especialmente en dientes que no completaron la formación de sus raíces. Entre 2008 y 2012 se ha hablado que en la papila dental se generan células madre 2 a 3

veces más que en la pulpa, por lo que la papila es capaz de regenerarse y sobrevivir a las infecciones; Lovelace et al, evaluaron la liberación de células madre en los conductos, induciendo un sangrado, tomando el nombre de “Revascularización”. (27, 30).

3. Objetivo

Identificar y analizar por medio de una revisión sistemática de la bibliografía los principales procedimientos y materiales utilizados en el manejo endodóntico de dientes con ápices abiertos y con afectación pulpar o perirradicular. Con el principal objetivo de reconocer las alternativas más eficaces para la conservación de la vitalidad pulpar, favoreciendo la regeneración tisular y por lo tanto, el cierre apical.

4. Métodos

4.1 Metodología

Se realizó una revisión de la literatura, llevada a cabo por una estudiante de la licenciatura en cirujano dentista en proceso de titulación. La búsqueda bibliográfica fue desarrollada del 18 de Junio de 2025 al 28 de Octubre de 2025, siguiendo la metodología del protocolo PRISMA y en congruencia con los objetivos planteados.

La búsqueda se realizó en las siguientes bases de datos: PubMed, Elsevier, Scielo, Google Académico, Epistemonikos y fuentes bibliográficas de libros de endodoncia. Se utilizaron como palabras clave: “open apex”, “apicoformation”, “apexification”, “root development”, “bioceramic materials”, “pulpal pathologies”, “perirradicular pathologies”, entre otros.

Se estableció como un límite temporal, la inclusión de estudios publicados entre 2017 y 2025, que estuvieran disponibles en español o inglés y de acceso gratuito. Inicialmente se identificaron 70 documentos, de los cuales tras aplicar los criterios de inclusión, exclusión y eliminación, se seleccionaron 39 artículos, de los cuales 33 quedaron para la revisión final.

4.2 Criterios de selección.

4.2.1 Criterios de inclusión.

Se incluyeron documentos que cumplieran con las siguientes características:

- Estudios in vivo e in vitro, reportes de caso o series de casos clínicos relacionados con el manejo endodóntico de dientes inmaduros con ápices abiertos y que tuvieran algún tipo de afectación pulpar y/o perirradicular
- Tratamientos en ápices abiertos realizados con MTA, Biodentine o un material biocerámico, así como procedimientos de endodoncia regenerativa, como la revascularización.
- Artículos que abordan desarrollo radicular, incluyendo métodos de clasificación como Nolla o información relevante sobre desarrollo embriológico del órgano dental.
- Que sean publicaciones abarcando desde los años 2017 a 2025, que sean de acceso libre con texto completo disponible, ya sea en español o inglés.

4.2.2 Criterios de exclusión.

Se excluyeron los documentos que presentaran alguna de las siguientes características:

- Publicaciones cuya antigüedad excediera el rango establecido o que no incluyeran palabras clave en relación con los objetivos de la investigación
- Estudios que no hablaran de tratamientos endodónticos en dientes con ápices inmaduros

- Documentos cuyo contenido no contribuye al cumplimiento de los objetivos.

4.2.3 Criterios de eliminación.

Durante la revisión completa de los contenidos, se eliminaron:

- Artículos que no presentaran un seguimiento postoperatorio de los casos clínicos incluidos.
- Publicaciones que a pesar de haber pasado los filtros iniciales, no describieron tratamientos en dientes con ápices abiertos ni aportaran información relevante sobre la eficacia de los materiales empleados.

4.3 Proceso de selección y diagrama PRISMA

El proceso de identificación, selección y elegibilidad de los estudios que fueron incluidos en esta revisión de la literatura se realizó siguiendo el protocolo PRISMA. El flujo completo de selección de estudios puede visualizarse en el diagrama PRISMA (Figura 3).

Durante la fase de búsqueda inicial, fueron identificados 70 artículos provenientes de las bases de datos: PubMed (n=20), Elsevier (n=4), Scielo (n=8), Google Académico (n=19), Epistemonikos (n=10) y fuentes bibliográficas de libros de endodoncia (n=9).

Posteriormente, se procedió a la eliminación de 7 elementos duplicados y a la revisión de títulos y resúmenes, aplicando los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos fueron excluidos 6 registros, quedando 63 títulos. Durante esta fase, fueron descartados documentos que no abordan patologías pulpares o perirradiculares en dientes que tenían ápices abiertos, aquellos que no evaluaban materiales biocerámicos o tratamientos regenerativos, así como artículos que no se encontraran dentro del rango de fechas, de los cuales se conservaron 48 artículos.

Después de esta fase, se revisaron los documentos en texto completo para valorar su elegibilidad. Durante este proceso, se excluyeron aquellos trabajos que no describen adecuadamente los procedimientos realizados o que no aportaron evidencia en el manejo de ápices abiertos, siendo 39 textos los considerados para una evaluación más detallada.

Al final, un total de 33 artículos cumplieron con todos los criterios de elegibilidad fueron incluidos en la revisión. El detalle de cada etapa del proceso de selección puede observarse en la Figura 3.

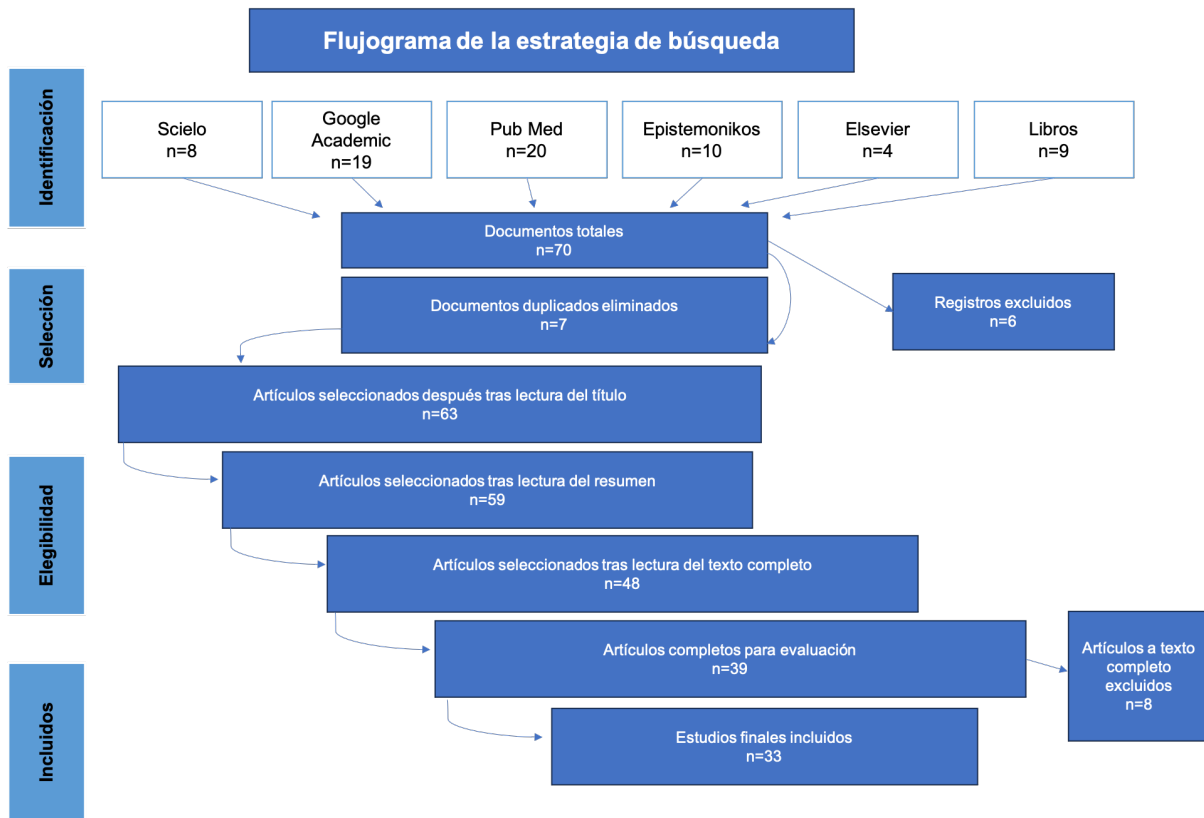


Figura 3. Diagrama de flujo PRISMA de la estrategia de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de estudios.

5. Discusión

La presente discusión analiza la evidencia disponible sobre las principales alternativas para el manejo de dientes con afectaciones pulpares y ápices inmaduros con ayuda de materiales bioactivos como el MTA. Se comparan hallazgos de distintos autores en relación a etiologías, tratamientos de apicoformación, procedimientos regenerativos y las propiedades de los principales materiales, con el fin de identificar coincidencias, diferencias y posibles factores que expliquen las variaciones en los resultados.

1. Etiología de los ápices abiertos: Caries vs Trauma

Los estudios revisados muestran unanimidad en que tanto la caries extensa como los traumatismos dentales constituyen las principales etiologías de necrosis pulpar en dientes inmaduros. García López et al. (2024) y Luzón Caigua et al. (2020) coinciden en que estas condiciones conducen a la detención del desarrollo radicular y a la formación de ápices abiertos, así como favorecer la formación de infecciones pulpares y perirradiculares, comprometiendo la resistencia estructural del diente.

Mientras que García López et al enfatiza la necesidad de intervención terapéutica inmediata para evitar la fragilidad radicular, Luzón Caigua et al en 2020 amplía el análisis epidemiológico al señalar una mayor prevalencia en población pediátrica, especialmente asociada a traumatismos (60–90%). Por su parte, Ricucci (2017), Caviedes (2022) y Funes Gómez (2022) también respaldan que la necrosis secundaria debido a una patología pulpar inflamatoria causada por un trauma o caries profundas representan los principales factores desencadenantes de ápices abiertos.

Por tanto, existe coincidencia entre los autores respecto a la etiología; las diferencias no radican en la causa, sino en el enfoque terapéutico posterior. Esto refuerza que el verdadero debate no está en el origen del problema, sino en cuál tratamiento ofrece mayor predictibilidad y éxito clínico una vez establecida la necrosis en dientes inmaduros.

2. Apicoformación: MTA vs Biodentine vs Hidróxido de Calcio

Este apartado concentra la mayor discusión, dado que la comparación de materiales en los diferentes tratamientos mencionados.

El hidróxido de calcio ha sido históricamente el material de elección para apicoformación; sin embargo, aunque reporta tasas de éxito entre 74–100%, presenta desventajas importantes como la necesidad de múltiples recambios, mayor tiempo de tratamiento y debilitamiento radicular a largo plazo.

El MTA surge como alternativa con mayor estabilidad, menor número de citas y mejor sellado apical. Mendoza y González León lo describen como material de primera elección por su alcalinidad, bioactividad y capacidad de inducir formación de tejido duro. Luzón Caigua et al., pese a trabajar con muestras pequeñas, reportan éxito clínico del 100% en seguimiento a mediano plazo, destacando además el cese rápido de sintomatología dolorosa e infecciosa.

En contraste, Qiao Liang et al. (2025), en un estudio in vitro con muestra limitada (n=5 por grupo), observaron que tanto MTA como Biodentine mostraron adecuada respuesta biológica, aunque Biodentine presentó una inflamación inicial que disminuyó en los primeros días. Este hallazgo podría explicarse por diferencias en composición y tiempo de fraguado. Sin embargo, al tratarse de evaluación a corto plazo, los resultados no necesariamente reflejan comportamiento clínico a largo plazo.

Las diferencias entre los estudios pueden atribuirse a:

- Diferencias en diseño (in vitro vs. in vivo).
- Tamaños muestrales reducidos.
- Variabilidad en protocolos de irrigación y desinfección.
- Tiempo de seguimiento.

En conjunto, la evidencia respalda principalmente el uso de cementos a base de silicato de calcio, siendo el MTA como el material con mayor respaldo clínico acumulado a largo plazo, mientras que Biodentine se posiciona como alternativa con ventajas operativas (menor tiempo de fraguado y manipulación más sencilla). El hidróxido de calcio, aunque accesible y económico, muestra menor predictibilidad comparativa. Otros cementos endodónticos tales como óxido de zinc y eugenol, de base de resina o silicona no muestran resultados tan buenos como los biocerámicos, que pueden ser usados como sellantes, restauraciones, cementos endodónticos o para protección pulpar.

3. Tratamientos Regenerativos: Revascularización

La revascularización es un tratamiento considerado regenerativo ya que representa una alternativa biológicamente atractiva, que busca no solo cerrar el ápice, sino restablecer vitalidad y continuar el desarrollo radicular.

Rodrigues de Souza et al (2017) describe la técnica como una opción innovadora basada en la inducción de sangrado controlado, el uso de pastas antibióticas y biomateriales como MTA o Biodentine, auxiliándose de otros aditamentos como plaquetas o fibrina. Funes Gómez et al (2022), con una muestra más amplia (367 dientes), reporta que aunque la mayoría de casos

evolucionan favorablemente, un porcentaje requirió tratamiento adicional recurriendo a la apicoformación, lo que evidencia cierta impredecibilidad en los resultados.

Ricucci (2017) señala que el éxito depende de factores críticos como control de infección, diámetro apical y protocolo de irrigación en ciertos porcentajes. Coincide en que la técnica no es universalmente predecible y que, ante ausencia de respuesta clínica o radiográfica en 3–6 meses, debe considerarse tratamientos más predecibles como la apicoformación, siempre y cuando se acompañe de cementos biocerámicos, como MTA. Estos autores mencionan que el hidróxido de calcio en lugar de utilizarse como cemento definitivo, puede ser usado como medicación dentro de los conductos por su alta alcalinidad.

En comparación con la apicoformación, la revascularización no ha demostrado ser consistentemente superior; más bien, ofrece potencial biológico mayor, pero con menor previsibilidad clínica. Por ello, actualmente parece ocupar un lugar intermedio: opción válida en casos seleccionados que cumplan con ciertas características clínicas, pero no sustituto definitivo de otros tratamientos endodónticos como la apicoformación con MTA o Biodentine.

4. Propiedades de los Materiales y su Relación con Resultados Clínicos

Las propiedades biológicas y fisicoquímicas de materiales a base de silicatos de calcio considerados biocerámicos explican en gran medida los resultados clínicos observados.

Cassiano Ferraz y Garuba Rahhal et al en 2025 demostraron que materiales como MTA, Biodentine y Endosequence presentan niveles similares de bioactividad y citocompatibilidad in vitro. Biodentine mostró menor tiempo de fraguado y menor solubilidad, lo que clínicamente podría traducirse en mayor comodidad operativa y menor riesgo de filtración temprana, aunque en sus primeros días tiende a presentar cierta inflamación tisular que baja con los días.

El MTA, por su alta alcalinidad y liberación de iones calcio, favorece la formación de tejido mineralizado, lo cual se correlaciona con los altos índices de éxito en apicoformación reportados en estudios clínicos, a parte de su nula o baja inflamación de los tejidos.

Endosequence y Bioaggregate presentan comportamiento biológico comparable, aunque con menor respaldo clínico en comparación con el MTA.

Así, la relación entre propiedades biológicas (pH alcalino, bioactividad, citotoxicidad baja) y éxito clínico parece consistente. Con el fin de sintetizar estas diferencias, se presenta la tabla 1, donde se comparan las principales características del MTA, Biodentine y Endosequence. No obstante, la mayoría de estudios de laboratorio carecen de seguimiento prolongado, lo que limita la extrapolación directa a resultados clínicos definitivos

Tabla 1. Comparación de propiedades de los principales materiales biocerámicos

Propiedad	MTA	BIODENTINE	ENDOSEQUENCE
Componentes	Polvo: silicatos de dicálcico y tricálcico, aluminio tricálcico, óxido tricálcico y óxido de bismuto Líquido: agua destilada	Polvo: silicato tricálcico (3CaO.SiO ₂), silicato dicálcico, carbonato de calcio, dióxido de zirconio (ZrO ₂) (radioopacador) y óxido de hierro Líquido: cloruro de calcio	Silicatos de calcio (Ca ₂ SiO ₄), fosfato monobásico de calcio, óxido de zirconio, óxido de tántalo
Tiempo de manejo y fraguado	Tiempo de trabajo: 4-5 minutos Tiempo de fraguado: empieza a fraguar en 1 h y termina a las 3-4 hrs	Tiempo de trabajo: 6 minutos Tiempo de fraguado: comienza a los 6 minutos y termina a los 12-14	Tiempo de trabajo: 34-30 minutos Tiempo de fraguado: comienza a fraguar a los 25 minutos y termina a los 138 minutos
	Entre los valores iniciales de Endosequence y MTA hay un $p \leq 0.005$, entre MTA y Biodentine hay un $p \leq 0.0005$		
pH	10.5 a 12.5 (alcalino)	12.5 (alcalino)	9.5 (alcalino)
	A las 72 horas, Endosequence muestra un pH de 10,5, MTA de 9,5 y Biodentine de 9. Por lo que entre Endosequence y MTA, existe $p \leq 0.05$ y entre MTA y Biodentine existe $p \leq 0.005$ Bioaggregate comparado con MTA y Biodentine puede tener $p \leq 0.001$		
Solubilidad	Algunas marcas de MTA presentan solubilidad de 11% después de 6 meses	Algunas marcas de MTA presentan solubilidad de 11% después de 6 meses	Algunas marcas de MTA presentan solubilidad de 11% después de 6 meses
	Entre valores de Endosequence y MTA existe $p \leq 0.05$. Entre valores MTA y Biodentine existe un $p \leq 0.0005$		
Citotoxicidad	Tiene bajo nivel citotóxico.	No es citotóxico. Antibacteriano (E.	Tiene bajo nivel citotóxico.

	Antibacteriano (E. faecalis, mutans) y antifúngico.	faecalis, mutans) y antifúngico	Antibacteriano (E. faecalis, mutans) y antifúngico
Fuerza de compresión	93 Mpa (los primeros 7 días)	300-350 Mpa (los primeros 7 días), es el material que más se parece a la dentina natural	40-50 Mpa
Indicaciones clínicas	Recubrimientos directos, indirectos, pulpotomías, cementos endodónticos, revascularización, apicogénesis, apicoformación, tapón apical	Recubrimientos directos, indirectos, pulpotomías, cementos endodónticos, revascularización, apicogénesis, apicoformación, tapón apical	Recubrimientos directos, indirectos, pulpotomías, pulpectomías, sellador de conducto, tapón apical, apicoformación

(33)

Las diferencias observadas en las propiedades fisicoquímicas y biológicas influyen directamente en la indicación clínica de cada material. El Biodentine, debido a su menor tiempo de fraguado y adecuada resistencia mecánica, puede resultar favorable en procedimientos como el recubrimiento pulpar directo o indirecto, donde se requiere manipulación rápida y estabilidad inicial.

Por su parte, el MTA, gracias a su estabilidad dimensional, alta bioactividad y capacidad de inducir formación de tejido mineralizado, continúa posicionándose como material de elección en procedimientos como la apicoformación, reparación de perforaciones y cirugías periapicales.

Endosequence, al presentar propiedades biocerámicas comparables y buena citocompatibilidad, se perfila como una alternativa viable dentro de los cementos bioactivos, especialmente en protocolos regenerativos y obturación apical en dientes inmaduros. No obstante, su respaldo clínico a largo plazo aún es menor en comparación con el MTA.

6. Conclusión

El manejo endodóntico de dientes inmaduros con ápices abiertos ha evolucionado significativamente, desplazando los tratamientos tradicionales con hidróxido de calcio —que requerían múltiples sesiones y presentaban riesgo de fractura hasta en un 23% de los casos— hacia alternativas más eficientes y biológicamente compatibles. Los cementos biocerámicos a base de silicato de calcio, particularmente MTA y Biodentine, han demostrado ser superiores al permitir la creación de barreras apicales en una sola sesión, con tasas de éxito que oscilan entre el 79% y el 98%, gracias a su excelente biocompatibilidad, bioactividad y capacidad para estimular la formación de tejido duro.

La revascularización pulpar emerge como una alternativa regenerativa prometedora para dientes jóvenes necróticos, aunque su predictibilidad es variable y requiere una rigurosa desinfección del conducto, inducción controlada de coágulo sanguíneo y un periodo de observación de 3 a 6 meses antes de considerar la apicoformación como alternativa ante ausencia de mejoría.

En última instancia, la selección del tratamiento debe fundamentarse en una valoración clínica integral que considere el diagnóstico pulpar preciso, el estadio de desarrollo radicular y las características del paciente, priorizando siempre la conservación de la vitalidad pulpar cuando sea posible. Futuras investigaciones con seguimiento a largo plazo son necesarias para consolidar la evidencia sobre la eficacia y estabilidad de los procedimientos regenerativos en el tiempo.

7. Referencias

1. Gomez F, Fuentes J, Saravia D, Silva M. Induction of Root Development and Apical Closure in Permanent Mandibular Molar with Irreversible Pulpitis through Total Pulpotomy with Application of Mineral Trioxide Aggregate. *Int J. Odontostomat.* 2020; 14(2): 144-149. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2020000200144>.
2. Caviedes Bucheli J, González MC, Irazábal V, Martínez MA, Muñoz HD, Gómez Sosa JF, Muñoz Roldán HR., Diferentes alternativas para el tratamiento de un diente permanente con ápice abierto. *Canal Abierto.* 2022; 46: 10 – 22.
3. Dastorani M, Shourzarvi B, Nojourni F, Ajami M. Comparison of Bacterial Microleakage of Endoseal MTA Sealer and Pro-Root MTA in Root Perforation. *J Dent Shiraz Univ Med Scien.* 2021; 22 (2):96-101. doi: 10.30476/DENTJODS.2020.86042.1164
4. Peñaloza De La Torre UM., Calizaya Laquise N., Actualidad de los cementos reparadores endodónticos: MTA y biodentine. *Revista Odontológica Basadrina.* 2020; 4(2):57-62. doi: <https://doi.org/10.33326/26644649.2020.4.2.964>
5. Monar López JK., Chimbo Sánchez KD., López Torres RG. Análisis comparativo entre el uso de MTA y Biodentine en patologías pulpares. *Gaceta Médica Estudiantil.* 2023; 4(1): 1-14. ISSN: 2708-5546
6. Carmona Betancourt J., Martínez Lima JM. Tejidos Dentarios: Desarrollo Embriológico. *Morfovirtual.* 2020; 1 – 13. Disponible en: <http://www.morfovirtual2020.sld.cu/index.php/morfovirtual/morfovirtual2020/paper/viewFile/728/611>
7. González Martínez ME., Guerrero Castellón MP., Gutiérrez Rojo JF., Métodos de estimación de la edad dental. *Rev Tamé,* 2017; 6 (16): 589 - 593 . ISSN 2007-462X
8. Diogenes A., Simon S., Law AS., 12. Endodoncia regenerativa. En: Rotstein. Cohen Vías de la Pupa. 12va edición. Barcelona, España: ELSEVIER. 2022. P: 475- 509. ISBN: 978-0-323-67303-7
9. Ghannam MG, Alameddine H, Bordoni B. Anatomía de cabeza y cuello, pulpa (diente) [Actualizado el 8 de agosto de 2023]. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; Enero de 2025. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537112/>
10. Sri Kadali N., Krishna Alla R., Ramaraju AV., Suresh Sajjan MC., Satayanarayana Raju M., Venkateswara R. An overview of composition, properties, and applications of Biodentine. *International Journal of Dental Materials.* 2021; 3(4):120-126. doi: <http://dx.doi.org/10.37983/IJDM.2021.3404>

11. Berman L., Rotstein I., 1. Diagnóstico. En: Rotstein. Cohen Vías de la Pupa. 12va edición. Barcelona, España: ELSEVIER. 2022. P: 2- 33. ISBN: 978-0-323-67303-7
12. Wagih M., Hassanien E., Nagy M., Sealing Ability and Adaptability of Nano Mineral Trioxide Aggregate as a Root-End Filling Material. *J Med Sci.* 2022; 10 (D): 323-330. doi: <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.10080>
13. Singla R., Laller V., Singh Gill G., Jain N., Kumar T., Singh Dhillon J., Comparative assessment of the outcome of complete pulpotomy using material trioxide aggregate and Biodentine in mature permanent mandibular molars with symptomatic irreversible pulpitis: A randomized clinical trial with 18 months of follow up. *Journal of Conservative Dentistry and Endodontics.* 2023; 26 (4): 402-408. doi: 10.4103/jcd.jcd_170_23
14. Tolibah YA., Kouchaji C., Lazkani T., Ali Ahmad I., Baghdali ZD., Comparison of MTA versus Biodentine in Apexification Procedure for Nonvital Immature First Permanent Molars: A Randomized Clinical Trial. *Children.* 2022; 9 (410): 1-10. doi: <https://doi.org/10.3390/children9030410>
15. 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 Inter Dent.* 2020;13(3):181–5. doi: 10.4067/S2452-55882020000300181
16. Nabeel M., Abu-Seida AM., Elgendy AA., Tawfik HM. Biocompatibility of mineral trioxide aggregate and Biodentine as root-end filling materials: an in vivo study. *Scientific reports.* 2024; 14(3568): SP. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53872-w>
17. Ali Somaie R., El-Banna A., El-Korashy D., Mineral Trioxide Aggregate in Dentistry: A Review of Literature. *ERUR J.* 2024; 3(4): 1857-1878. doi: 10.21608/erurj.2024.272939.1125
18. Mendoza Cama LL, Universidad de San Martín de Porres. Lima, Perú, González León de Peralta J, Universidad de San Martín de Porres. Lima, Perú. Uso del mineral trióxido agregado (MTA) en dientes con formación apical incompleta. *Kiru [Internet].* 2018; 15 (4): 192–196. Doi: <http://dx.doi.org/10.24265/kiru.2018.v15n4.06> <https://doi.org/10.24265/kiru.2018.v15n4.06>
19. Chotvorrarak K., Danwittayakorn S., Banomyong D., Suksaphar W. Intraradicular reinforcement of traumatized immature anterior teeth after MTA apexification. *Dental Traumatology Wiley.* 2024; 40: 389-397. doi: 10.1111/edt.12947
20. García López MP., Figueroa Fernández NP., González Ráscon AA., Alternativas en endodoncia regenerativa en dientes inmaduros. *Texto Odontológico,* 2024; 14 (27): 24-34. ISSN: 2007-3461
21. Cardoso Pereira A, Herrera Morante DR, Correia Laurindo de Cerqueira Neto AC, Nagata JY, Rocha Lima TF, Soares A de J. Alternativas clínicas para el tratamiento de dientes traumatizados

- con rizogénesis incompleta: una visión actualizada. Rev Estomatol Hered [Internet]. 2017; 26 (4): 271-280. doi: <http://dx.doi.org/10.20453/reh.v.26i4.3034>
22. Yuan-Ling NG., Gulabivala K. 17. Evaluación de resultados. En: Rotstein. Cohen Vías de la Pupa. 12va edición. Barcelona, España: ELSEVIER. 2022. P: 2- 33. ISBN: 978-0-323-67303-7
23. Van Pham K., Anh Tran T., Effectiveness of MTA apical plug in dens evaginatus with open apices. BMC Oral Health. 2021;21(566):1-9. doi: <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01920-6>
24. Jiménez Rosas IM. Biomateriales que inducen la remineralización del esmalte dental y dentina. Rev ADM. 2021; 78(4): 195-204. doi: <https://dx.doi.org/10.35366/101073>
25. Estrela C, Cintra LTA, Duarte MAH, Rossi-Fedele G, Gavini G, Sousa-Neto MD. Mechanism of action of Bioactive Endodontic Materials. Braz Dent J [Internet]. 2023 Jan-Feb; 34 (1): 1-11. doi: 10.1590/0103-6440202305278. PMID: 36888836; PMCID: PMC10027099
26. Funes Gómez E., Barbero Navarro I., Rodríguez Menacho D., Castaño Séiquer A., Revascularización pulpar en dientes permanentes inmaduros. Revisión bibliográfica sobre los últimos avances en la revascularización pulpar. RCOE, 2022; 27 (1): 164 - 179. ISSN: 1138-123X
27. Santiago Dager E., Venzant Fontaine C., Hechavarría Martínez BO., La O Salas NO., Evolución histórica del tratamiento en dientes permanentes inmaduros neuróticos., MEDISAN 2023; 27 (3): E4565. ISSN: 1029-3019
28. Luzón Caigua KL., Sánchez Robles BA., González Eras SP., Gahona Carrión DI., Apicoformación en dientes necróticos. Artículo de revisión narrativa. RECIMUNDO, 2020; 4 (4): 134 - 143. doi: 10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.134-143
29. Cervino G., Laino L., D'Amico C., Russo D., Nucci L., Amoroso G., Gorassini F., Tepedino M., Terranova A., Gambino D., Mastroneini R., Didem Tözüm M., Fiorillo L. Mineral Trioxide Aggregate Applications in Endodontics: A Review. Dental Investigation Society [Internet]. 2020; 14: 683-691. doi: <https://doi.org/10.1055/s-0040-1713073>
30. Rodrigues de Souza Araújo, P., Barreto Silva L., Pereira dos Santos Neto A., Almeida de Arruda JA., Recco Álvarez P., Veras Sobral AP., Alves Júnior S., Carneiro Leão J., Braz da Silva R., Caillou Sampaio G. Revascularización: una revisión de la literatura. Dent abierto. 2017; 11: 48 - 56. doi: 10.2174/1874210601711010048
31. Qiao L., Zheng X., Xie C., Wang Y., Ye L., Zhao J., Liu J., Materials in Vital Pulp Therapy: Promoting Dental Pulp Repair Through Inflammation Modulation. Biomolecules, 2025; 15 (2): 258-284. doi: <https://doi.org/10.3390/biom15020258>
32. A Saoud T.M., Ricucci D., M Lin L., Gängler P., Regeneration and Repair in Endodontics A Special Issue of the Regenerative Endodontics: A New Era in Clinical Endodontics. Dent J. 2017; 4 (1): 3. doi: <https://doi.org/10.3390/dj4010003>

33. Cassiano Ferraz D., Garuba Rahhal J., Paz Dotto ME., Alberti Ferreira L., Sipert CR., Letra A., Menezes Silva R., Chaves de Souza L., Physicochemical and Biological Properties of Biodentine XP, Endosequence RRM and Bio-C Repair Cements. JOE. 2025; 9(25): 1-9. doi: 10.1016/j.joen.2025.03.009