

**INDUCCIÓN DEL CIERRE APICAL EN DIENTES
PERMANENTES JÓVENES. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

T E S I S

*Que para obtener el diploma de:
Especialista en Odontopediatría*

PRESENTA:

C.D Silvia Sánchez Castillo

DIRECTORA:

Dra. María de Lourdes Márquez Corona

CODIRECTORA

Dra. Sonia Márquez Rodríguez

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Elena Saraí Baena Santillán

Dra. América Patricia Pontigo Loyola

Dra. Martha Mendoza Rodríguez

Pachuca de Soto, Hgo; abril 2023

**INDUCCIÓN DEL CIERRE APICAL EN DIENTES
PERMANENTES JÓVENES. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

T E S I S

*Que para obtener el diploma de:
Especialista en Odontopediatría*

PRESENTA:

C.D Silvia Sánchez Castillo

DIRECTORA:

Dra. María de Lourdes Márquez Corona

CODIRECTORA

Dra. Sonia Márquez Rodríguez

COMITÉ TUTORIAL

Dra. Elena Saraí Baena Santillán

Dra. América Patricia Pontigo Loyola

Dra. Martha Mendoza Rodríguez

Pachuca de Soto, Hgo; abril 2023



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias de la Salud

School of Medical Sciences

Área Académica de Odontología

Department of Dentistry

ICSa/AAO/277/2023

16 de mayo de 2023

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar
Presente.

El Comité Tutorial del **PROYECTO TERMINAL O TESIS** del programa educativo de posgrado titulado, "Inducción del Cierre Apical en Dientes Permanentes Jóvenes. Revisión Bibliográfica", realizado por la sustentante **Silvia Sánchez Castillo**, con número de cuenta 429589, perteneciente al programa de posgrado "Programa Único de Especialidades Odontológicas con Énfasis en Odontopediatría", una vez que ha revisado, analizado y evaluado el documento recepcional, de acuerdo a lo estipulado en el Artículo 110 del Reglamento de Estudios de Posgrado, tiene a bien extender la presente:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Por lo que la sustentante deberá cumplir los requisitos del Reglamento de Estudios de Posgrado y con lo establecido en el proceso de grado vigente.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"
San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo a 16 de mayo de 2023

El Comité Tutorial

Director
Dra. María de Lourdes
Márquez Corona

Codirector
Dra. Sonia Márquez
Rodríguez

Miembro del comité
Dra. Elena Saraí Baena
Santillán

Miembro del comité
Dra. América Patricia
Pontigo Loyola

Miembro del comité
Dra. Martha Mendoza
Rodríguez



22:00
22



Circuito ex-Hacienda La Concepción s/n
Carretera Pachuca Actopan, San Agustín
Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P. 42160
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 4311,4320
odontologia@uaeh.edu.mx

www.uaeh.edu.mx



ICSa/AAO/803/2022

Asunto: Asignación comité tutorial

C.D. Silvia Sánchez Castillo

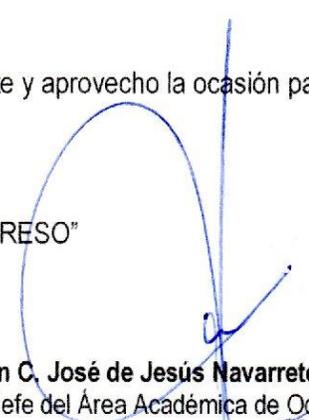
Por medio del presente, informo a usted, la integración del comité tutorial, para la estructuración del proyecto terminal con título **“Inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes. Revisión bibliográfica”** para obtener el diploma de Especialista en Odontopediatría, dentro Programa Único de Especialidades Odontológicas.

Dra. María de Lourdes Márquez Corona	Director
Dra. Mirna Minaya Sánchez	Codirector
Dra. Elena Sarai Baena Santillán	Asesor
Dra. América Patricia Pontigo Loyola	Lector
Dra. Martha Mendoza Rodriguez	Tutor

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”


Dra. Rebeca María Elena Guzmán Saldaña
Directora del Instituto de Ciencias de la Salud


M en C. José de Jesús Navarrete Hernández
Jefe del Área Académica de Odontología


Dra. Lydia López Pontigo
Coordinador de Posgrado del ICSa


Mtra. Martha Mendoza Rodriguez
Responsable del PUEO/AAO

c.c.p. Alumno interesado
MMR/MMR

Circuito ex-Hacienda La Concepción s/n
Carretera Pachuca Actopan, San Agustín
Tlaxiaca, Hidalgo, México. C.P. 42160
Teléfono: 52 (771) 71 720 00 Ext. 4311,4320
odontologia@uaeh.edu.mx



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias de la Salud
Área Académica de odontología

Advertencias

Cualquier trabajo de investigación no publicado postulado para el grado de posgrado y depositado en la modalidad de tesina en las bibliotecas de esta Universidad, queda abierto para inspección, y solo podrá ser usado con la debida autorización. Las referencias bibliográficas pueden ser utilizadas, sin embargo, para ser copiadas se requerirá el permiso del autor y el crédito se dará a la escritura y publicación del trabajo.

Esta tesina ha sido usada por las siguientes personas, que firman y aceptan las restricciones señaladas

La biblioteca que presta esta tesina se asegurará de recoger los datos de cada persona que la utilice.

Nombre	Dirección	Fecha

AGRADECIMIENTOS

A mis amados padres, por darme las fuerzas que necesitaba para seguir adelante, por darme sabiduría e inteligencia para poder alcanzar uno de mis sueños y sobre todo proveer para poder lograrlo.

A mi amada hermana, porque siempre está para mí en todo momento, por ser una fuente de inspiración a mi vida para nunca defraudarte, doy gracias a Dios por ti porque sin tu ayuda hoy no estuviera aquí, te amo.

A mi querido Cris, por su apoyo durante mi carrera fue una bendición que estuvieras siendo un pilar de apoyo para mí, cada día pido a Dios para que siga bendiciendo tu vida.

A mis hermosos hijos, por toda su paciencia y comprensión desde el principio hasta el final y por estar ahí cuando necesitaba de ustedes.

A mi querida amiga Viri, sin ti no hubiera tomado esta decisión, por escucharme en mis momentos de crisis, por darme palabras de aliento en mis momentos más débiles y sobre todo ser una grandiosa amiga incondicional.

Silvia

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios, que fue el que me permitió culminar con éxito esta hermosa etapa de mi vida, en la cual pude entender y valorar cada una de las bendiciones con las cuales él me rodea.

Gracias a Dios por mis hijos, que más que el motor de mi vida son parte muy importante de lo que hoy he logrado, gracias por cada palabra de apoyo, por cada momento en familia sacrificado para ser invertido en el desarrollo de esta especialidad, gracias por entender que el éxito demanda algunos sacrificios.

A mis hijos dedico este trabajo, a ellos dedico todas las bendiciones que de parte de Dios vendrán a nuestras vidas como recompensa de tanta dedicación, tanto esfuerzo y fe en la causa misma.

Silvia

Índice

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Introducción.....	5
CAPÍTULO 1. Antecedentes.....	6
1.2 Justificación.....	7
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Hipótesis de investigación.....	8
CAPÍTULO 2. Marco Teórico.....	9
2.1 Importancia y función de los dientes deciduos.....	9
2.2 Dientes permanentes jóvenes.....	9
2.3 Complejo Dentino-Pulpar.....	11
2.4 Clasificación del desarrollo radicular y apical.....	13
2.5 Factores que ayudan a la formación del cierre apical.....	14
2.6 Apicoformación.....	15
2.7 Materiales empleados en apicoformación.....	16
2.7.1 Hidróxido de Calcio.....	16
2.7.2 Agregado de trióxido mineral (MTA®).....	18
CAPÍTULO 3. Metodología.....	24

3.1 Material y métodos.....	24
3.1.1 Criterios de inclusión	24
3.1.2 Criterios de exclusión	24
3.2 Recolección de datos y garantía de la calidad de la información.....	24
CAPÍTULO 4. Resultados	26
4.1 Análisis de resultados.....	26
4.2 Discusión de resultados	38
CAPÍTULO 5. Conclusión.....	40
5.1 Conclusión y recomendaciones	40
5.1.1 Conclusión.....	40
5.1.2 Recomendaciones	41
Abreviaturas	42
Referencias bibliográficas	43

Resumen

Introducción: Se le llama rizogénesis al proceso de no culminar la formación radicular de los dientes permanentes jóvenes, este fenómeno tendrá como consecuencia un ápice abierto y posteriormente un diente imposible de tratar; la ausencia de una constricción natural hace que el ápice radicular represente un desafío al colocar un material de obturación, debido a que un foramen abierto no proporciona una barrera anatómica. Actualmente existen tres materiales utilizados para este tratamiento con mejores propiedades físicas, químicas y biológicas. Este trabajo se enfoca al Hidróxido de Calcio, Agregado de Trióxido Mineral (MTA®) y Silicato de Calcio (Biodentine®).

Objetivo: Conocer los materiales empleados en la inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes.

Material y métodos: La búsqueda de información se realizó con; 250 artículos de Medigraphic, 148 de PubMed y 705 en Google Académico, en total se obtuvieron 1003 resultados, de los cuales fueron seleccionados 30 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión, en el período 2015 al 2021.

Resultados: Se recopilan 30 artículos, se agrupan en: Estudios de casos clínicos, revisiones bibliográficas y estudios experimentales.

Conclusión: En la inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes, durante años, se utilizó el Hidróxido de Calcio como material de elección, pero fue sustituido por nuevos materiales debido a algunas desventajas. Por ejemplo; el MTA® tiene resultados favorables en la terapéutica pulpar, demostrando ser mejor que el Hidróxido de Calcio, sin embargo, en sus desventajas están; el tiempo de fraguado y alto costo. El Biodentine® ha demostrado ser un material que cuenta con excelentes propiedades, fácil manipulación, mantiene la vitalidad pulpar en los conductos radiculares y además permite que continúe el proceso de formación radicular fisiológica del órgano dental, en comparación con otros cementos, como única desventaja es el costo elevado.

Palabras clave: Apexificación, Necrosis Pulpar, Apicogénesis, Apicoformación, Dientes permanentes jóvenes.

Abstract

Introduction: The process of not completing the root formation of young permanent teeth is called rhizogenesis. This phenomenon will result in an open apex and later a tooth that is impossible to treat; The absence of a natural constriction makes the root apex a challenge when placing a filling material, as an open foramen does not provide an anatomical barrier. Currently there are three materials used for this treatment with better physical, chemical and biological properties. This work focuses on Calcium Hydroxide, Mineral Trioxide Aggregate (MTA®) and Calcium Silicate (Biodentine®).

Objective: To know the materials used in the induction of apical closure in young permanent teeth.

Material and methods: The search for information was carried out with; 250 articles from Medigraphic, 148 from PubMed and 705 from Google Scholar, a total of 1003 results were obtained, of which 30 articles that met the inclusion criteria were selected, in the period 2015 to 2021.

Results: 30 articles are collected, grouped into: Clinical case studies, bibliographical reviews and experimental studies.

Conclusion: In the induction of apical closure in young permanent teeth, for years, Calcium Hydroxide was used as the material of choice, but it was replaced by new materials due to some disadvantages. For example; MTA® has favorable results in pulp therapy, proving to be better than Calcium Hydroxide, however, its disadvantages are; setting time and high cost. Biodentine® has proven to be a material that has excellent properties, easy handling, maintains pulp vitality in root canals and also allows the process of physiological root formation of the dental organ to continue, compared to other cements, the only disadvantage being the high cost.

Key words: Apexification, Pulp Necrosis, Apicogenesis, Apex formation, Young permanent teeth.

Introducción

Cuando un diente permanente erupciona, presenta una formación radicular incompleta, con base en los estadios de Nolla estaría en un estadio número 8 o 9 por lo que se le conoce como un diente inmaduro o con ápice abierto, también se le denomina rizogénesis incompleta, en esta condición el conducto radicular es más amplio en el tercio apical de la zona interna hacia cervical y una vez erupcionado requiere un mínimo de 3 años para que se considere completo.¹

Morales Miranda y Gómez González en 2019² reportaron que los dientes permanentes jóvenes pueden sufrir patologías pulpares por consecuencia de caries o lesiones traumáticas, afectando la vitalidad y requerir de tratamiento pulpar, lo que conlleva a una interrupción de la formación del cierre de la raíz.

La pulpa es un tejido especializado que contiene odontoblastos, con la capacidad de formar dentina. Cuando la pulpa es removida del diente por alguna causa o se pierde su vitalidad, no se termina de formar la raíz, en consecuencia, puede presentar ausencia de un cierre adecuado apical, por lo que, en estos casos, la rehabilitación de estos dientes se debe de dar a partir de la formación de un tejido mineralizado y semejante al cemento.³

Estos dientes sufren un proceso de pulpitis irreversible o de necrosis pulpar por lo cual el tratamiento de elección es la apicoformación.

En la literatura se ha empleado indistintamente los términos; apicoformación, apexificación y apicogénesis para referirse al mismo proceso de inducción del cierre apical.

CAPÍTULO 1. Antecedentes

1.1 Planteamiento del problema

Cuando un diente permanente joven se ve afectado por caries a nivel pulpar o por un traumatismo dental, la elección del tratamiento es un desafío para el odontopediatra. Este problema se produce en una edad promedio entre los siete y 10 años de edad, cuando aún la raíz no alcanzó su desarrollo completo. Los dientes permanentes jóvenes se caracterizan por estar en erupción y por lo mismo el cierre apical se encuentra incompleto. Estos dientes, presentan un conducto radicular troncocónico con base mayor apical y un diámetro exageradamente amplio. Adicionalmente, las paredes del conducto radicular son delgadas debido a que se encuentra en formación y esto puede predisponer a fracturas si se llegara a realizar un tratamiento de conductos convencional. De igual manera la terapéutica para lograr el cierre del ápice es el objetivo, habitualmente a través de la preparación y aplicación correcta de hidróxido de calcio en el conducto de manera general, sin embargo, existen otros materiales que aportan valor al tratamiento según sea el caso. Es por eso que se considera importante conocer las diferentes alternativas de materiales para la terapéutica pulpar en dientes permanentes jóvenes, por lo que se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son los materiales empleados en la inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes?

1.2 Justificación

Uno de los problemas con mayor frecuencia de los dientes permanentes jóvenes son las lesiones cariosas profundas, hipomineralización incisivo-molar o traumatismos, estos mismos padecimientos afectan de gran manera el desarrollo radicular, debido a estas consecuencias está indicado realizar un tratamiento de terapia pulpar, ya sea que la pulpa se encuentre vital o necrótica, con la finalidad de ayudar a lograr el cierre de su ápice. Este tipo de lesiones requieren un tratamiento oportuno, para conseguir que el diente siga funcional en boca por muchos años más.

Las ventajas que se obtienen al realizar una terapéutica oportuna son: aliviar el dolor, restablecer la función masticatoria, evitar la pérdida dental, por lo cual, es primordial conocer los materiales que son capaces de lograr el cierre apical.

En el presente trabajo se investigó la diversidad de materiales ideales para realizar el tratamiento de los dientes permanentes jóvenes, describiendo características como: que sean biocompatibles, que mantengan la vitalidad de la pulpa para obtener como resultado un buen desarrollo radicular; se seleccionaron materiales de fácil manipulación y con una tasa de éxito favorable.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Conocer los materiales empleados en la inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir la importancia de los dientes deciduos
- Conocer el complejo Dentino-Pulpar de los dientes permanentes jóvenes
- Conocer la clasificación del desarrollo radicular y apical de los dientes permanentes
- Describir los materiales para lograr la inducción del cierre apical
 - Hidróxido de Calcio
 - MTA®
 - Biodentine®

1.4 Hipótesis de investigación

Esta hipótesis se enuncia con fines operacionales.

Existe diferencia entre los materiales empleados en la inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes.

CAPÍTULO 2. Marco Teórico

2.1 Importancia y función de los dientes deciduos

El número de dientes temporales son 20 y erupcionan en un periodo que va de los 6 y 30 meses de edad, alrededor de los 3 años de edad todas las raíces de estos dientes están totalmente formadas y a los 6 años de edad aproximadamente los dientes temporales van exfoliando por sus sucesores permanentes. La dentición temporal cumple una utilidad sustancial durante la primera fase de crecimiento y desarrollo físico de un niño; y también cumple con una función durante la transición hacia la dentición permanente, si existe la pérdida prematura de algún diente temporal esto genera un problema significativo causando a su vez la pérdida de espacio lo cual podría provocar la aparición de una maloclusión.⁴

Es de gran importancia preservar los dientes temporales hasta que se complete el tiempo de exfoliación de la raíz, manteniendo así la integridad del arco dental; en los casos de exposición pulpar por motivos de caries el recubrimiento pulpar directo y la pulpotomía son el tratamiento más común, este último es considerado uno de los enfoques terapéuticos de la terapia pulpar vital en molares temporales.⁵ Por lo tanto, se debe prevenir la pérdida prematura de los dientes temporales a consecuencia de lesiones cariosas, ya que actúan en el proceso de erupción de los dientes permanentes como guía de erupción de los mismos.

2.2 Dientes permanentes jóvenes

Cuando un niño nace ya presenta calcificados los dientes temporales y las cúspides del primer molar permanente. Los dientes temporales y permanentes cumplen con una función importante, como lo es la masticación, la fonación y la deglución. Los dientes permanentes realizan una oclusión funcional que permitirá un equilibrio armonioso con todo el sistema estomatognático y así mismo con las funciones mencionadas.⁶

Es importante mencionar la variación que se puede presentar en la cronología de la erupción, ya que, no es de una manera exacta, va a variar entre cada niño, ya que influyen diversos factores como: herencia, sexo, desarrollo esquelético, edad radicular, cronológica, factores ambientales, extracciones prematuras de dientes

primarios, raza, condicionantes socioeconómicos y otros. Existen diferentes estudios que coinciden, estos factores pueden influir en la secuencia y el tiempo de erupción, asimismo, el desarrollo dentario, crecimiento general del cuerpo y la maduración del esqueleto. ⁷

Mayoral⁸ indica un tiempo y secuencia de erupción de los dientes permanentes, establece que el inicio de la erupción de los dientes permanentes comienza con los primeros molares inferiores, seguidos por los primeros molares superiores a los 6 años, enseguida los incisivos centrales inferiores e superiores a los 7 años de edad, posteriormente erupcionan los incisivos laterales inferiores a los 8 años de edad, seguidos de los superiores, continúan los caninos inferiores a los 9 años y la primera bicúspide superior, después primera bicúspide inferior a los 10 años de edad, seguido por el canino superior a los 11 años de edad, segunda bicúspide inferior y superior, a los 12 años de edad el segundo molar inferior y superior. Una vez que erupcionan los dientes permanentes en la cavidad bucal, necesitan un tiempo determinado para completar la formación de su raíz. La raíz, se caracteriza por presentar una gran apertura apical, paredes delgadas, divergentes, paralelas o ligeramente convergentes, esto, va a depender de la etapa de la formación radicular en que se encuentre. Según los diferentes autores, un diente permanente joven o diente con ápice inmaduro, para que tenga un desarrollo normal de la raíz, es necesario que se mantenga el tejido pulpar vital y en óptimas condiciones, si resulta afectado por diversas cuestiones, se requieren tratamientos específicos, que difieren según el estado pulpar. Cuando la pulpa se encuentra afectada, pero se conserva vital, el tratamiento de primera elección es la apexogénesis, que, según la sintomatología clínica, será a través del recubrimiento pulpar indirecto, directo o de la pulpotomía. Cuando el tejido pulpar pierde la vitalidad y se desarrolla una patología ápico-periapical antes de concluir la formación radicular, uno de los tratamientos de elección es la apicoformación, en el cual se realiza la obturación con un material que actúa induciendo los tejidos ápico-periapicales, formando una barrera de tejido duro que funciona de tope al material de obturación definitivo posterior. ⁹

Los dientes permanentes con formación incompleta de la raíz pueden presentar necrosis pulpar debido a un traumatismo, caries u otras patologías pulpares, la formación de dentina se interrumpe y detiene el desarrollo radicular.¹⁰

La apicoformación es un método que induce una barrera calcificada en la raíz con un ápice abierto, o cuando el desarrollo se encuentra incompleto con pulpa necrótica. El objetivo inicial de este tratamiento es obtener una barrera apical para permitir la compactación del material y rellenar la raíz. El objetivo final de este tratamiento es lograr el cierre apical del diente. Con el paso del tiempo se han logrado nuevas técnicas y existen nuevos materiales con este fin: lograr el selle apical y un buen cierre radicular.¹¹

2.3 Complejo Dentino-Pulpar

El complejo dentino-pulpar se encuentra constituido por dentina y pulpa, tienen el mismo origen embrionario, ambas nacen del ectomesénquima donde se forma la papila del germen dentario. La dentina y la pulpa forman una estructura debido a la inserción de las prolongaciones odontoblásticas que se contienen en la dentina, formando una unión funcional donde la pulpa suministra la vitalidad a la dentina y ésta misma salvaguarda a la pulpa. La dentina representa la parte mineralizada y tiene un espesor de 1 a 3 mm, la pulpa es un tejido conectivo laxo que se encuentra en el interior de la dentina, este se va reduciendo poco a poco con el pasar de los años, debido a la formación constante de dentina¹²

Durante el desarrollo dental el complejo dentino pulpar se caracteriza por la proliferación de fibroblastos y diferenciar de los odontoblastos así forma una matriz orgánica la cual se va a calcificar para crear a la dentina, el diente joven se caracteriza por un alto contenido de células con pocas fibras y tiene un vasto suministro de sangre.

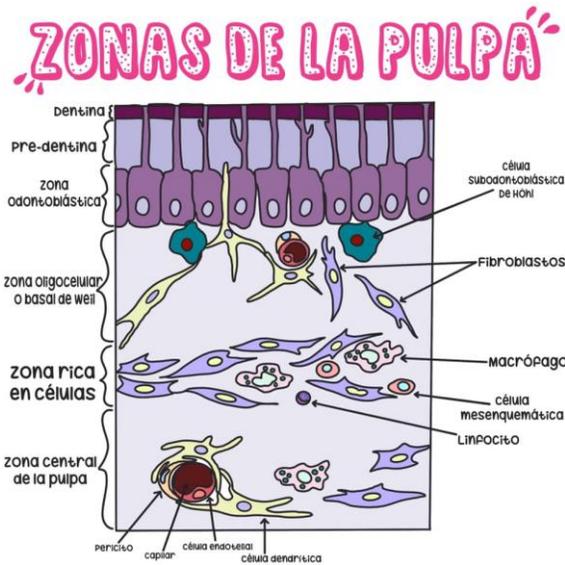
La dentina se encuentra químicamente compuesta por 70 % de materia inorgánica principalmente de cristales de hidroxiapatita, 18 % de fibras de colágeno y esto es materia orgánica y 12 % está constituido de agua. La pulpa se encuentra químicamente compuesta por 75 % de agua y 25 % de materia orgánica la cual está

compuesta de células odontoblásticas y de una matriz extracelular, la cual está representada por fibroblastos y una sustancia fundamental.¹³

En los artículos revisados, coinciden que la conformación principal de la dentina son los túbulos dentinarios porque contienen prolongaciones odontoblásticas, fluidos y terminaciones nerviosas amielínicas, este fluido funciona como medio para proteger a la pulpa de agentes agresores y no provoquen una respuesta inflamatoria y que la permeabilidad de la dentina desfavorezca el mantenimiento de la vitalidad pulpar debido al intercambio de materia entre la pulpa y la dentina.¹⁴ Zafar en 2020¹⁵ refiere que la pulpa tiene cuatro zonas bien definidas, son las siguientes y se muestra en la figura 1:

- **Zona odontoblástica:** esta se encuentra localizada por debajo de la predentina. Esta es el estrato más exterior de las células de la pulpa, está constituida por odontoblastos y sus proyecciones se localizan en el interior de los túbulos dentinarios, su función es la producción de dentina.
- **Zona de Weil:** Está se encuentra por debajo de la capa odontoblástica, esta zona tiene contenido muy bajo de células, por ella atraviesan capilares sanguíneos, fibras nerviosas amielínicas y un proceso citoplasmático de los fibroblastos. En esta zona se produce dentina de reparación.
- **Zona celular:** Es una zona rica en células, contiene fibroblasto y contiene una cantidad variable de macrófagos, células mesenquimáticas indiferenciadas y linfocitos.
- **Zona central:** Esta zona es la parte central de la pulpa. La mayoría de las células que se encuentran aquí son de tejido conectivo, como lo son los fibroblastos.

Figura 1: Zonas de la Pulpa



Fuente: Zafar, 2020.

Al comparar los dientes temporales con los permanentes, se encuentran diferencias de distribución de las fibras nerviosas pulpares. En los dientes permanentes sus fibras terminan entre los odontoblastos e incluso en la pre dentina a diferencia de los dientes temporales que no se encuentran, porque los dientes temporales inician el proceso de resorción radicular, causando la degradación de los elementos nerviosos, y es por eso que son menos sensibles que los permanentes.¹⁶

2.4 Clasificación del desarrollo radicular y apical

En 1958 el Dr. Patterson publicó una clasificación para los dientes permanentes según su desarrollo radicular y apical. Consiste en 5 categorías. A continuación, se describe y se muestra en la figura 2.

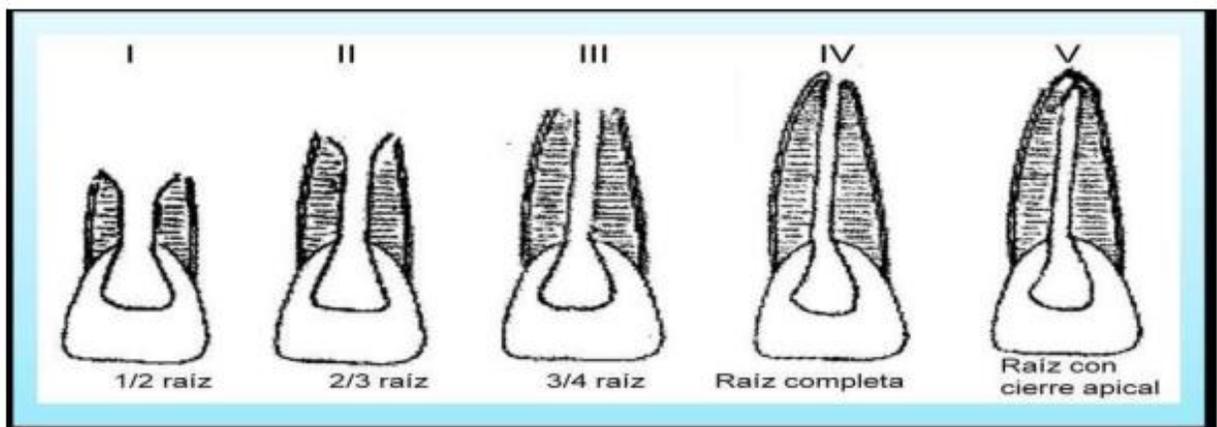
- Clase 1.- Es el desarrollo de 1/2 de la raíz con una luz apical mayor que el diámetro del conducto.
- Clase 2.- Es el desarrollo de 2/3 de la raíz, pero con una luz apical mayor que el conducto.

- Clase 3.- Es el desarrollo de 3/4 de la raíz con un conducto apical, igual diámetro que el del conducto.
- Clase 4.- Es el desarrollo completo de la raíz con diámetro apical más pequeño que el del conducto.
- Clase 5.- Es el desarrollo completo radicular formando un cierre apical¹⁷

Figura 2

Clasificación de Patterson

Nota. Clasificación de formación radicular y apical. Reproducida de la clasificación de



Fuente: Vidal, 2016.

2.5 Factores que ayudan a la formación del cierre apical

Para lograr un cierre apical exitoso depende de diversos factores, entre ellos influye la edad del paciente, ya que eso determina el grado de abertura del ápice. El principal factor que influye para la formación del cierre apical es que no debe haber presencia de infección ya que es una causa significativa para la aceleración o retraso en la reparación tisular, por lo tanto se debe tomar en cuenta el material a utilizar para el tratamiento como; los irrigantes antibacterianos para una desinfección correcta y reducir los microorganismos, teniendo como resultado una buena reparación, así mismo elegir el material de obturación correctamente para que se genere la formación del cierre apical. ¹⁸

2.6 Apicoformación

El tratamiento ideal de los dientes permanentes jóvenes para realizar un cierre de la raíz es realizando una apicoformación ya que es uno de los procedimientos eficaces que se han implementado en este tipo de patologías. Se debe tener precaución debido a las características de la raíz, ya que sus paredes son muy divergentes y paralelas. La apicoformación consiste en crear una barrera calcificada en los ápices de las raíces abiertas, y así mismo lograr la conformación del desarrollo del cierre del ápice o la formación de un puente o barrera calcificado que oblitere adecuadamente el orificio radicular, posteriormente de 9 a 18 meses, esto permite realizar un tratamiento de conductos convencional (endodoncia) ¹⁹

Para realizar este tratamiento se debe de tomar en cuenta dos aspectos importantes. Uno es la edad del paciente y otro el grado del desarrollo radicular, estos dos deben de coincidir. Si no existe coincidencia se recomienda formar una barrera calcificada en el ápice para dejar una longitud radicular al mismo nivel en que se deberían de encontrar antes de iniciar el tratamiento, sin perjudicar la luz del conducto. Al iniciar el tratamiento se deberá eliminar por completo el tejido pulpar, evitando presionar demasiado las paredes de cada conducto, para evitar fracturas o adelgazamiento de las mismas. Durante el procedimiento se realizan los controles radiográficos para verificar que todo vaya bien. Una vez que se encuentren limpios los conductos se desinfectan, irrigando constantemente con clorhexidina o hipoclorito de sodio al 2.5%, deberán ser secados los conductos con puntas de papel y se obtura con el material que hay sido seleccionado. ¹⁸

De acuerdo a lo anterior, las indicaciones y contraindicaciones son las siguientes:

Indicaciones:

- Diente permanente joven que se encuentre con una formación incompleta de la raíz y presente daño en la pulpa coronal y la pulpa radicular se debe de encontrar sana
- La corona dental se debe encontrar casi intacta con posibilidad de restauración¹⁹

Contraindicaciones:

- Dientes avulsionados, reimplantados o muy luxados
- Que presente una fractura grave en la corona-raíz
- Que el diente presente una fractura corono-radicular horizontal desfavorable
- Diente con caries muy extensa e imposible de restaurar.²⁰

2.7 Materiales empleados en apicoformación

2.7.1 Hidróxido de Calcio

El hidróxido de calcio fue el primer material introducido en odontología por B. W. Hermann, en los años 1920. A partir de ese momento, ha sido usado ampliamente para tratamientos con lesiones endodónticas. El uso del hidróxido de calcio en Endodoncia abarca diversas situaciones clínicas; sus principales aplicaciones han sido como bases dentinarias, agentes recubridores pulpares, materiales de obturación temporal del conducto radicular y cementos selladores de conductos radiculares.²¹

El hidróxido de calcio es un material que se puede mezclar con diferentes tipos de sustancias, ejemplo: agua destilada, monoclórofenol alcanforado, solución anestésica, solución salina, clorhexidina, cualquiera de estas sustancias junto con el hidróxido de calcio induce el cierre apical. En el artículo de Yepes y Delgado, mencionan que para lograr la formación de una barrera apical transcurre aproximadamente de 5 a 20 meses.²²

Composición:

Basicamente esta compuesto de Calcio, Hidrógeno y Oxígeno, teniendo como resultado la siguiente composición química: Ca(OH)_2 , obtenido del calcinamiento del carbono de calcio (cal viva).²¹

Propiedades:

- Presneto un efecto bactericida hasta un 88 %, debido a la densidad de iones OH efecto de la disolución de los iones de calcio e hidroxilo, dando como resultado un pH 12.4 -12.8 (alcalino), generando un ambiente negativo para las bacterias²³
- Forma una barrera mecánica de cicatrización apical, esta propiedad es fundamental para la realizacion de una apexificación
- Disminuye la sensibillidad debido a su efecto que genera sobre las fibras nerviosas.²⁴
- Estimula la calcificación, en procesos reparativos debido a la acción osteoblástica; esto sucede cuando aumenta el pH en los tejidos; inhibiendo la actividad osteoclástica
- Reduce el edema de los tejidos
- Origina una barrera mecánica de cicatrización apical
- Equilibra la toxicidad al ser mezclarlo con solución fisiológica o anestesia
- Lu y colaboradores demuestran que el Hidróxido de Calcio cuando se coloca produce una inflamación leve, la cual se convierte en necrosis superficial, permitiendo la formación de un puente dentinario²⁵

Ventajas:

- Manipulación favorable
- Una difusión y aplicación sencilla
- Es de un costo bajo²⁶

Desventajas:

- No tiene resistencia a la compresión
- Es soluble a los fluidos
- No tiene características adhesivas
- Se fractura con facilidad, presentando micro filtraciones
- Reabsorción radicular interna
- La presencia de humedad reduce el potencial aislante²⁷

2.7.2 Agregado de trióxido mineral (MTA®)

El Agregado Trióxido Mineral (MTA®) fue descrito por primera vez en la literatura científica dental en 1993, sin embargo, fue aplicado y patentado en 1995 por Torabinejad & White, al quedar demostrado que es un material superior a otros materiales en términos de habilidad de sellado, biocompatibilidad y capacidad de regeneración del ligamento periodontal, además de poseer excelentes propiedades, como son: tolerante a la humedad, radiopaco, de estabilidad dimensional y antimicrobiano. Es un material que ha sido considerado idealmente para la reparación de una perforación, relleno retrógrado se utiliza para recubrimientos pulpaes y apexificación desde 1993.²⁷

El MTA® es considerado un material bioactivo, porque al entrar en contacto con los fluidos que se encuentran en boca, liberan componentes catiónicos como son:²⁸ Calcio (Ca), promueve la aceleración de la formación de hidroxiapatita en la dentina de las raíces. (Domina en el MTA®), Silicio (Si), Bismuto (Bi), Aluminio (Al), Hierro (Fe), Magnesio (Mg)

Composición²⁴

Está compuesto por finas partículas hidrofílicas de:

- Silicato tricálcico en un 75 % (3CaO-SiO_2)
- Silicato dicálcico (2CaO SiO_2)
- Aluminato férrico tetracálcico ($4\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$)
- Óxido tricálcico
- Óxido de silicio
- Sulfato de calcio dihidratado el 4.4 % ($\text{CaSO}_4\text{-}2\text{H}_2\text{O}$)
- Aluminato tricálcico ($3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$)
- Sulfato de potasio y sodio un 0.6 %²⁹

Propiedades

Las propiedades del MTA® generalmente dependen del tamaño de las partículas, proporción agua-polvo, temperatura, aire en la preparación y manipulación, encontrando características tales como:

1. Material hidrofílico, el cual se fragua en presencia de humedad.
2. No es tóxico.
3. Su pH es de 10.2 después del mezclado y a las 3 horas presenta un pH de 12.5; lo que le da como resultado antibacteriano y promueve la formación de tejido duro.
4. Resistencia a la compresión, a partir del día 21 puede llegar a resistir fuerzas comprensivas de hasta 70 Megapascuales (Mpa).
5. Tiempo de endurecimiento: Fraguado entre 3 y 4 horas, es decir, posee un tiempo de fraguado lento que origina que el grado de contracción sea menor, razón por la cual tiene mejor capacidad de sellado.
6. Biocompatibilidad: El cemento MTA® induce a la formación de dentina reparativa, mantiene la calidad de la pulpa radicular y promueve la regeneración del tejido original, mientras se mantiene en contacto con el tejido pulpar y periapical.
7. Radiopacidad: Esta propiedad es debido al óxido de bismuto, el cual permite observar radiográficamente la presencia del material.
8. El MTA® le brinda una radiopacidad superior a la dentina en un 20 %.
9. Ausencia de solubilidad: Idóneo para la obturación con un adecuado sellado.
10. Adapte marginal: Resultando en una mayor y mejor adaptación y sellado.²⁴

Resistencia a la compresión

Una de las principales características que posee el MTA® es su resistencia de 40 MPa (Mega pascales) pasando 24 horas de su colocación y 67 MPa a los 21 días.³⁰

Potencial de hidrogeniones (pH)

Presenta un pH inicial de 10,2, que va aumentado a 12,5 después de tres horas de la mezcla, manteniéndose constante.³¹

Ventajas

- Fácil de eliminar excedentes
- Tiene propiedades hidrofílicas
- No es tóxico
- Es biocompatible con los tejidos
- No es mutagénico
- Es radiopaco
- Fácil manipulación ³¹

Desventajas

- Requiere de un largo tiempo de fraguado, aproximadamente de tres a cuatro horas
- Tiene un alto costo
- Puede ocasionar decoloraciones de la estructura dentaria³²

2.7. 3 Silicato tricálcico (BIODENTINE®)

Actualmente también existe el Silicato tricálcico (Biodentine®), este es un material biocompatible que se caracteriza por poseer excelentes propiedades al ser usado en este tipo de patología. Estudios han señalado que puede ser utilizado para reparar perforaciones que se hayan cometido en algún procedimiento dental, así como también se puede utilizar como material de obturación en una apicectomía. El Biodentine®, también lo podemos utilizar en casos de exposición pulpar por iatrogenia y como sustituto dentinario. El Biodentine® es un material que presenta varios beneficios en comparación con otros materiales, como lo es: Regenera dentina o se comporta de manera similar a la dentina, nos da tiempo de trabajo ya que el fraguado es de 9 a 12 minutos, su anclaje micromecánico natural le confiere propiedades selladoras sin necesidad de preparar la superficie, es radiopaca lo que va a facilitar el seguimiento a corto y largo plazo los tratamientos.³²

Composición

El cloruro cálcico sirve como acelerador del polímero hidrosoluble que funciona como reductor del agua y realiza efecto de fraguado rápido, elemento principal del producto. El polímero hidrosoluble funciona como poli carboxilato, motivo por el cual disminuye la viscosidad y produce mayor resistencia a corto plazo, reduciendo la proporción de agua en la mezcla. El Biodentine® tiene el propósito de mejorar algunos inconvenientes del MTA®, tal como ciertas propiedades mecánicas, manipulación y el largo tiempo de fraguado, basado en silicato de calcio es recomendado como una buena opción de material de restauración, sus indicaciones endodónticas son a las del MTA®.³³

Cuadro 1
Composición del Biodentine®

POLVO	VEHÍCULO
Silicato tricálcico (3CaOSi O_2)	Cloruro de calcio deshidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
Carbonato de calcio (CaCO_3)	Polímero hidrosoluble
Dióxido de zirconio (ZrO_2)	H_2O

Fuente: Hincapie S, 2015

Actividad antibacteriana

Las propiedades antibacterianas que presenta el Biodentine® se pueden comparar con los cementos que están constituidos a base de hidróxido de calcio, en diversos estudios el Biodentine® ha demostrado tener propiedades antibacterianas y antifúngicas.³³

Aplicación del Silicato tricálcico en Odontología restauradora

El Biodentine® está indicado para ser utilizado como sustituto de dentina, colocándolo en la porción coronal y radicular.

Indicaciones para ser aplicado en la odontología restauradora:

1. Restauración temporal de esmalte
2. Restauración definitiva de dentina
3. Restauración para caries profundas y/o extensas
4. Está indicado para restaurar lesiones cervicales o radiculares profundas
5. Recubrimiento pulpar directo e indirecto ³⁴

Ventajas:

Las principales ventajas del Biodentine® se puede mencionar:³⁴

1. Tiene un uso variable, como, por ejemplo: se puede utilizar para reparaciones endodónticas o para procedimientos restaurativos.

2. Unión directa con cemento en la misma sesión.
3. El diente reacciona de una manera adecuada ya que va generando dentina nueva lo que nos da como resultado preservación de la vitalidad pulpar.
4. Presenta propiedades similares a la dentina
5. Radiopacidad.

Desventajas

En comparación con otros cementos como única desventaja es el costo elevado del producto ³⁵

CAPÍTULO 3. Metodología

3.1 Material y métodos

Ante los avances en la tecnología y biomateriales se planteó realizar esta revisión de la literatura con el objetivo de recoger de manera sistematizada el conocimiento actualizado sobre los diferentes materiales para lograr la apicoformación de dientes permanentes jóvenes. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica, partiendo de artículos científicos, se tomaron en consideración a partir del año 2013 al 2021. La búsqueda se realizó con las siguientes bases de datos: 250 artículos de Medigraphic, 148 artículos de PubMed y 705 artículos en el buscador académico de Google. Se utilizaron palabras clave para la búsqueda (Necrosis Pulpar, Apicogénesis, Apicoformación, Dientes permanentes jóvenes).

En la búsqueda de la información se obtuvieron 1003 resultados donde 50 cumplen con las características del tema. A partir de la revisión minuciosa de 50 artículos se seleccionaron 30 artículos que cumplieron con los criterios de inclusión.

3.1.1 Criterios de inclusión

- a) Estudios de casos clínicos, revisiones bibliográficas y estudios experimentales.
- b) idioma de publicación: inglés y español
- c) dientes permanentes con ápice abierto
- d) artículos de los últimos ocho años

3.1.2 Criterios de exclusión

- a) artículos de divulgación
- b) idioma diferente a inglés y español
- c) artículos de más de 10 años de publicación

3.2 Recolección de datos y garantía de la calidad de la información

Se realizó la recolección de los 30 artículos, para posteriormente agruparlos en: estudios de casos clínicos, revisiones bibliográficas y estudios experimentales. Se

capturo en una base de datos la información más importante para el estudio y se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- Autor
- Año
- Tipo de Estudio
- Población
- Muestra
- Unidad de estudio
- Edad
- Sexo
- Material Utilizado
- Resultados obtenidos

Se analizo la base de datos con los artículos seleccionados para obtener un panorama completo y preciso de las variables de interés, logrando evaluar los resultados y responder la pregunta de interés de la investigación.

CAPÍTULO 4. Resultados

4.1 Análisis de resultados

A partir de la revisión minuciosa de 30 artículos seleccionados de acuerdo a los criterios de inclusión se encontró:

En once artículos de revisión bibliográfica: Dos artículos, en los cuales se reporta que el Biodentine, tiene ciertas propiedades exclusivas, como la capacidad adhesiva adecuada, la insolubilidad, la estabilidad dimensional, la biocompatibilidad y bioactividad similar a la dentina sana y puede reemplazarla tanto a nivel coronario como a nivel radicular,³⁵ en otro artículo de revisión Rajasekharan y colaboradores en 2018, señalan que el silicato tricálcico Biodentine® tiene un gran potencial para revolucionar las diferentes modalidades de tratamiento en odontopediatría y endodoncia especialmente después de lesiones traumáticas.³⁶

Tres artículos^{37, 38, 39} compararon dos tipos de materiales; Agregado de trióxido mineral MTA® e Hidróxido de Calcio, se concluye que ambos materiales brindan una tasa de éxito similar, sin embargo, el tiempo de trabajo es más corto y presenta un mejor sellado con MTA®, logrando un éxito más alto.

Un artículo refiere la comparación de tres materiales para la formación de la barrera apical; MTA® e Hidróxido de Calcio y Biocerámicos, refiriendo un mayor éxito con MTA® y Biocerámicos ya que solo se requiere una sola visita y se cumple con el objetivo, siendo así más superiores al Hidróxido de Calcio.⁴⁰

Cinco artículos donde únicamente se revisó MTA®, se demostró que es un material de amplio horizonte para las áreas de endodoncia y odontología restauradora. Los materiales más nuevos podrían verse como la alternativa prometedora al MTA® pero se sugiere que se necesitan más estudios de seguimiento a largo plazo.¹⁵

Luzón y colaboradores, determinaron que el MTA® gracias a sus propiedades, es el material de elección para favorecer el cierre apical en dientes necróticos con ápice inmaduro.¹⁹

La apexificación es un tratamiento alternativo usado cuando hay presencia de pulpa no vital, para este tipo de padecimiento los materiales comúnmente usados son el Hidróxido de calcio y el MTA® y posteriormente, cuando exista la formación de tejido

nuevo para lograr el cierre apical, se ejecutará el tratamiento de endodoncia convencional con gutapercha.⁴¹

Todos los materiales actualmente disponibles entre otros como MTA® y Biodentine®, son alternativas para lograr la reparación de la pulpa dental expuesta o dañada, aunque no existe el material ideal, un buen diagnóstico basado en el conocimiento de la biología y del paciente permitirá seleccionar el más adecuado para cada caso.⁴²

El uso de MTA® como tapón apical para dientes con pulpas necróticas y ápices abiertos tiene varias ventajas sobre el uso de hidróxido de calcio para la apexificación, incluido un número reducido de visitas de tratamiento (por lo tanto, más rentable) y una probabilidad reducida de fractura dental.⁶¹ Los resultados descritos anteriormente se observan en el **Cuadro 2**.

Se seleccionaron trece artículos de casos clínicos, con pacientes menores de edad, diagnóstico de necrosis pulpar, traumatismo o caries muy extensas; los dientes afectados y tratados fueron; incisivos centrales, primeros y segundos molares permanentes. La terapia pulpar se realizó con diferentes materiales como: Hidróxido de Calcio, MTA® y Biodentine®. En todos los casos clínicos hacen mención del éxito obtenido con los tres materiales utilizados. Se observó que el Hidróxido de Calcio realiza un correcto sellado del ápice, el MTA® muestra una favorable recuperación a largo plazo logrando el ensanchamiento de las paredes del ápice obteniendo un logro en la formación de la barrera apical, el Biodentine® demostró ser una alternativa eficiente, debido al buen desarrollo de las raíces, se obtuvo la creación del tapón apical y en un caso en específico se logró obtener la vitalidad del diente.

Se recopila un reporte donde se atiende a un paciente masculino de 9 años de edad, un incisivo central por motivo de un traumatismo, el resultado clínico y radiográfico fue favorable, se demostró que el Biodentine® puede ser una alternativa eficiente a los materiales de apexificación convencionales.¹⁷

Los dientes a los cuales se colocó MTA® mostraron una resistencia a la fuerza oclusal más favorable que aquellos medicados con Hidróxido de Calcio. Otro caso clínico en un paciente de 7 años de edad que presentó un traumatismo en incisivo

central, se le realizó el tratamiento de apicoformación con MTA® y se recuperó favorablemente y tuvo seguimiento a 20 años con muestras radiográficas favorables.²⁰

Se presenta a consulta un paciente masculino de 10 años de edad, al realizar la valoración se menciona que presenta necrosis pulpar en el primer molar inferior izquierdo, se menciona que el tratamiento de elección es la realización de apexificación con hidróxido de calcio, se realizó un control radiográfico donde se demostró una disminución de la lesión en furca y de los ápices, logrando el cierre apical.²¹

El uso de hidróxido de calcio, en un paciente con traumatismo en un incisivo central, ha demostrado excelentes resultados en la formación de la barrera apical.⁴³

Un estudio reporta que se obturaron con MTA® diez dientes y ocho casos específicos mostraron un aumento del grosor de las paredes del conducto radicular apical, aumento de la longitud de la raíz apical y cierre apical. Este procedimiento permitió que el diente se restaure con un poste/núcleo si es necesario para la restauración final en el futuro, así como el desarrollo continuo de la raíz.⁴⁴

Se evaluaron los siguientes materiales: Hidróxido de Calcio y la Revascularización de un paciente de 7 años de edad que se presentó por traumatismo en los incisivos centrales superiores, a cada diente le realizaron protocolos diferentes de materiales de obturación, con el mismo fin de lograr la apexificación, se concluye que ambos protocolos arrojan resultados diferentes, pero logran el mismo objetivo de la apicoformación.⁴⁵

En otro estudio se realizó un tratamiento de apicoformación a un paciente de 10 años de edad en un primer molar permanente, colocando un tapón apical con MTA® en el seguimiento se concluye que el MTA® presenta una tasa de éxito favorable.⁴⁶

En 15 dientes, que buscaba evaluar el MTA® colocando un tapón apical en dientes permanentes jóvenes simulado el efecto de la apexificación en una sola visita, ocupando como material de obturación el MTA® fue una técnica exitosa y efectiva para el manejo a largo plazo de este grupo de dientes con pulpas necróticas con desarrollo radicular inmaduro y lesiones periapicales.⁴⁷

Se presentan 21 niños con 22 incisivos centrales permanentes todos con necrosis pulpar, donde la colocación de la barrera apical con MTA® ProRoot (®) blanco y Ángelus MTA® blanco después de colocación inicial con hidróxido de calcio mostró resultados clínicos y radiográficos favorables similares.⁴⁸

Se presentan dos casos clínicos con traumatismo en incisivos centrales superiores, en pacientes de 10 y 12 años de edad. Los resultados de estos casos mostraron que es posible la formación de una barrera apical y una cicatrización periapical completa a pesar de la colocación apical incompleta del tapón MTA®. Esto podría deberse a las propiedades biológicas del MTA®. Aun así, no se recomienda una colocación tridimensional incompleta del material de relleno.⁴⁹

El uso de silicato tricálcico en un paciente de 9 años de edad, con un primer molar inferior izquierdo, arrojó buenos resultados en la apexificación; el seguimiento de la evolución del paciente permitió apreciar que el diente mantuvo su vitalidad, las raíces continuaron desarrollándose y no se aparecieron signos o síntomas de lesiones periapicales.⁵⁰

Paciente de 14 años de edad con presencia de necrosis pulpar en un segundo molar inferior derecho, en este caso clínico, la creación de un tapón apical con Biodentine® permitió realizar una obturación con gutapercha inmediata y sellado coronal definitivo, generando resultados clínicos inmediatos favorables.⁵¹

Se presenta un caso clínico de un paciente de 17 años de edad, con diagnóstico de rizogénesis en el órgano dental 37, en el cual mencionan que se necesitan más estudios y seguimiento del caso clínico, ya que las paredes se encontraron muy delgadas y falta de formación apical. Se sugiere realizar más estudios al respecto.⁵²

Los resultados descritos anteriormente se observan en el **Cuadro 3**.

Se obtuvieron cinco artículos de estudios experimentales, en tres de ellos, se realiza un estudio de los materiales: Hidróxido de Calcio y MTA®,^{55,56,57} colocado en dientes centrales y premolares, donde se mostró que el MTA® presenta una resistencia a la fuerza oclusal más favorable que aquellos con canales medicados con HC. Se concluyó que la mezcla de Hidróxido de Calcio con suero fisiológico es la manera más indicada y sencilla para lograr la inducción de la apexificación con un pronóstico

exitoso. Esto permitió que se realice el tratamiento de endodoncia posteriormente, obturado con gutapercha y realizar la rehabilitación con corona de acero cromo.

El estudio se realizó en 45 incisivos centrales donde buscó evaluar y comparar la resistencia a la fractura de dientes permanentes jóvenes simulado el efecto de la apexificación en una sola visita versus la obturación completa usando MTA® y Biodentine®. En casos de apexificación, es ventajoso reforzar los dientes inmaduros con materiales biocerámicos como MTA® y Biodentine®.⁵³

Se comprobó que en 60 dientes tratados con MTA® y Biodentine®,⁵⁴ no se observaron diferencias significativas en la resistencia a la fractura, después de 3 meses cuando se obturaron, lo que indica que el Biodentine® podría ser un sustituto adecuado para MTA®. Los resultados descritos anteriormente se observan en el **Cuadro 4.**

A lo largo del tiempo se han utilizado diversos materiales, desde el Hidróxido de Calcio, al Agregado Trióxido Mineral, y en la actualidad se agregó a la lista de materiales los biocerámicos que aportan múltiples beneficios al momento de realizar la apexificación como tratamiento para dientes permanentes con ápices inmaduros. A su vez la presente revisión bibliográfica indica que la apexificación es realizada en dientes con pulpa necrótica o vital, este tipo de tratamiento está indicado en pacientes que han presentado algún traumatismo, fractura radicular o en dientes que no terminaron de completar el proceso de formación de raíz y requieren de un tratamiento endodóntico utilizando los materiales indicados para un mejor pronóstico. Con el conocimiento de las alternativas terapéuticas se debe aplicar el criterio clínico al momento de emitir el diagnóstico definitivo para realizar un tratamiento efectivo en dientes permanentes con ápices inmaduros.

Cuadro 2

Resumen de artículos revisión bibliográfica

AUTOR / AÑO	MATERIAL	RESULTADO
Mena AG / 2020 ³⁵	Biodentine®	Un material de reparación dental ideal debe poseer ciertas propiedades exclusivas, como la capacidad adhesiva adecuada, la insolubilidad, la estabilidad dimensional, la biocompatibilidad, la bioactividad.
Rajasekharan, <i>et al</i> / 2018 ³⁶	Biodentine®	Las propiedades físicas y biológicas mejoradas de Biodentine™, tiene un gran potencial para revolucionar las diferentes modalidades de tratamiento en odontopediatría. Sin embargo, se requiere seguimiento clínico a largo plazo para facilitar conclusiones definitivas.
Agrafioti, <i>et al</i> / 2017 ³⁷	MTA® / Hidróxido de calcio	Ambos materiales pueden conducir a resultados clínicos favorables. Pero el uso de hidróxido de calcio es una medicación intraconducto durante un tiempo breve.
Lin <i>et al</i> / 2016 ³⁸	MTA® / Hidróxido de calcio	Si bien ambos materiales brindan tasas de éxito similares, sin embargo, el tiempo de trabajo es más corto y un mejor sellado con MTA® puede traducirse en tasas de éxito generales más altas.
Corbella S. <i>et al</i> / 2014 ³⁹	MTA® / Hidróxido de calcio	El hidróxido de calcio es el material estándar de oro utilizado en la apexogénesis y la apexificación. Las nuevas tecnologías están promoviendo el creciente interés en las estrategias utilizadas para la preservación de la vitalidad y la regeneración de la pulpa.
Shaik, <i>et al</i> / 2021 ⁴⁰	MTA® / Hidróxido de calcio / Biocerámicos endosequence (BCRRM)	Los tres materiales tuvieron una tasa de éxito casi similar, pero el tiempo necesario para la formación de la barrera apical y también el tratamiento en una sola visita hacen que MTA® y Endosequence BCRRM sean superiores al hidróxido de calcio.

AUTOR / AÑO	MATERIAL	RESULTADO
Zafar, et al / 202015	MTA®	MTA® ha demostrado ser un factor decisivo en materiales bioactivos y tiene un amplio horizonte de aplicaciones en endodoncia y odontología restauradora, pero se necesitan más estudios de seguimiento a largo plazo para esta noción.
Luzón, et al / 202019	MTA®	Se determinó que el MTA® gracias a sus propiedades, es el material de elección para favorecer el cierre apical en dientes necróticos con ápice inmaduro.
Velásquez & Álvarez /2009 41	MTA®	La apexificación es una alternativa de tratamiento muy usada para la pulpa no vital, siendo el Hidróxido de calcio y el MTA® los materiales comúnmente usados y que posteriormente, cuando exista formación del nuevo tejido para el cierre apical, se ejecutará el tratamiento de endodoncia convencional con gutapercha.
Teicher et al / 201942	MTA®	Todos los materiales actualmente disponibles entre otros como MTA® y BIODENTINE®, son alternativas para lograr la reparación de la pulpa dental expuesta o dañada.
Torabinejad et al/2018 61	MTA®	El uso de MTA® como tapón apical para dientes con pulpas necróticas y ápices abiertos tiene varias ventajas sobre el uso de hidróxido de calcio para la apexificación, incluido un número reducido de visitas de tratamiento y una probabilidad reducida de fractura dental.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de los artículos bibliográficos. MTA®: Agregado de Trióxido Mineral, BCRRM: Biocerámicos endosequence, BIODENTINE®: Silicato Tricálcico.

Cuadro 3
Resumen de artículos de casos clínicos

Autor / Año	Población	Edad / Sexo	Material	Diente Tratado	Motivo	Conclusión
Vidal <i>et al</i> / 2016 ¹⁷	1 niño	9 años / H	Biodentine®	Incisivo central	Traumatismo	El resultado clínico y radiográfico favorable en este caso demostró que Biodentine® puede ser una alternativa eficiente a los materiales de apexificación convencionales.
Bogen <i>et al</i> / 2021 ²⁰	1 niño	7 años / H	MTA®	Incisivo central	Traumatismo	Se realizó el tratamiento quirúrgico que incluía la colocación con MTA®. La curación periapical y la función dental fueron evidentes en la revisión de 20 años.
Hernández <i>et al</i> / 2015 ²¹	1 niño	10 años / H	Hidróxido de Calcio	Molar 36	Necrosis Pulpar	El tratamiento de apexificación con hidróxido de calcio, ha demostrado en el control radiográfico una disminución de la lesión en furca y ápices, logrando el cierre apical.
Hoyos, <i>et al</i> / 2018 ⁴³	1 niño	H	Hidróxido de Calcio	Incisivo	Traumatismo	Se utilizó hidróxido de calcio, con excelentes resultados en la formación de la barrera apical
Songtrakul, <i>et al</i> / 2020 ⁴⁴	10 dientes	Sin dato	MTA®	Dientes inmaduros	Traumatismo	El 100% de los casos mostraron evidencia radiográfica de cicatrización. En ocho casos se observó aumento del grosor de las paredes del conducto radicular apical, aumento de la longitud de la raíz apical y cierre apical.

Autor / Año	Población	Edad / Sexo	Material	Diente Tratado	Motivo	Conclusión
López, <i>et al</i> / 2017 ⁴⁵	2 niño	8 años / H	Hidróxido de Calcio y Revascularización	Incisivo central Primer Molar	Traumatismo	El presente caso demuestra que la apexificación y la revascularización, a pesar de ser dos protocolos diferentes con resultados diferentes, tienen un objetivo común de tratar el diente permanente inmaduro necrótico.
Asgary <i>et al</i> / 2018 ⁴⁶	Niño	10 años / M	MTA®	MOLAR		El tapón apical con MTA® podría tener éxito en el manejo de dientes permanentes inmaduros necróticos.
Pace R, <i>et al</i> / 2014 ⁴⁷	15 dientes	Sin dato	MTA®		Necrosis Pulpar	El tapón apical con MTA® fue una técnica exitosa y efectiva para el manejo a largo plazo de este grupo de dientes con pulpas necróticas con desarrollo radicular inmaduro y lesiones periapicales.
Moore <i>et al</i> / 2011 ⁴⁸	22 dientes	21 niños	Hidróxido de Calcio / MTA®	Incisivos Permanentes	Necrosis Pulpar	La colocación de la barrera apical con MTA® ProRoot (®) blanco y Ángelus MTA® blanco después de colocación inicial con hidróxido de calcio mostró resultados clínicos y radiográficos favorables similares.
Floratos <i>et al</i> / 2013 ⁴⁹	2 dientes	10-12 años	MTA®	Incisivo	Traumatismo	Los resultados de estos casos mostraron que es posible la formación de una barrera apical y una cicatrización periapical completa a pesar de la colocación apical incompleta del tapón MTA®. Esto podría deberse a las propiedades biológicas del MTA®.

Autor / Año	Población	Edad / Sexo	Material	Diente Tratado	Motivo	Conclusión
Masson Palacios <i>et al</i> /2020 ⁵⁰	1 diente	9 años	Biodentine®	36 molar	Caries Extensa	El uso de silicato tricálcico arrojó buenos resultados en la apexificación; el seguimiento de la evolución del paciente permitió apreciar que el diente mantuvo su vitalidad, las raíces continuaron desarrollándose y no se aparecieron signos o síntomas de lesiones periapicales.
Consoli Lizzi <i>et al</i> /2021 ⁵¹	1 diente	14 años	Biodentine®	2do molar 47	Necrosis Pulpar	En este caso clínico, la creación de un tapón apical con Biodentine® permitió realizar una obturación con gutapercha inmediata y sellado coronal definitivo, generando resultados clínicos inmediatos favorables.
Sottano <i>et al</i> / 2020 ⁵²	1 diente	17 años	MTA®	37	Rizogénesis	Sin duda, se necesitan más estudios y seguimiento del caso clínico, ya que las paredes se encontraron muy delgadas y falta de formación apical. Se sugiere realizar más estudios al respecto.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de los artículos de revisión de casos clínicos.

MTA: Agregado de Trióxido Mineral, BCRRM: Biocerámicos endosequence, BIODENTINE: Silicato Tricálcico,

H.C.: Hidróxido de Calcio, H: Hombre, M: Mujer

Cuadro 4
Resumen de artículos experimentales

Autor / Año	Población	Material	Diente Tratado	Motivo	Conclusión
Darak, et al / 2020 ⁵³	45 dientes	BIODENTINE® Y MTA®	Incisivo Central	Resistencia a fracturas	El objetivo fue evaluar y comparar la resistencia a la fractura de dientes permanentes jóvenes simulado el efecto de la apexificación en una sola visita versus la obturación completa usando MTA® y BIODENTINE®. En casos de apexificación, es ventajoso reforzar los dientes inmaduros con materiales biocerámicos como MTA® y BIODENTINE®.
Yasin, et al / 2021 ⁵⁴	60 dientes	BIODENTINE® Y MTA®	Premolares	Resistencia a fracturas	No se observaron diferencias significativas en la resistencia a la fractura de los dientes inmaduros después de 3 meses cuando se obturaron con Biodentine® o MTA®, lo que indica que Biodentine® podría ser un sustituto adecuado para MTA®.

Autor / Año	Población	Material	Diente Tratado	Motivo	Conclusión
SG Damle et al / 2020⁵⁵	30dientes	MTA®/Hidróxido de Calcio	Incisivos	Necrosis Pulpar	MTA® demostró un buen éxito y una opción efectiva para la apexificación con la ventaja de un tiempo de tratamiento reducido, buena capacidad de sellado, biocompatible y proporciona una barrera para la obturación inmediata.
Spyridoula Sarris et al / 2008⁵⁶	17 dientes	MTA®/Hidroxido de calcio	Incisivos	Necrosis Pulpar	Este es uno de los pocos estudios que han informado el resultado de MTA® como material de apexificación en niños con dientes desvitalizados y desarrollo radicular incompleto. Sin embargo, se requieren estudios clínicos más amplios para evaluar el éxito a largo plazo de este procedimiento.

Fuente: Elaboración propia con base en datos de los artículos experimentales

MTA: Agregado de Trióxido Mineral, BIODENTINE: Silicato Tricálcico, H.C.: Hidróxido de Calcio

4.2 Discusión de resultados

El MTA® y el Biodentine® son dos de los biomateriales más utilizados en la terapia pulpar en el área de odontopediatría y endodoncia, ya que han demostrado características mejoradas físicas y químicas mucho mejores que el hidróxido de calcio. El autor Hernández²¹, nos ha demostrado que para el tratamiento de apexificación la capacidad de reparación mejor obtenida es con el hidróxido de calcio. El autor C. Hernández²⁰ nos menciona que la mezcla de Hidróxido de Calcio Ca (OH)₂ con solución fisiológica se obtiene un resultado exitoso en la inducción de la apicoformación. Sin embargo, para Hernández y colaboradores mencionan que a pesar de los éxitos conseguidos con el Hidróxido de Calcio, la técnica de apicoformación con este material presenta varias desventajas, uno de ellos serían las constantes citas en un largo periodo de tiempo, el paciente debe de colaborar al 100 %, y si el paciente no coopera podemos obtener un resultado desfavorable, presentando problemas en la formación de una barrera apical, gastos, estéticos y, sobre todo, susceptibilidad a microfiltraciones coronarias o presentar fracturas de estos dientes debilitados.

Por otro lado, tenemos a el autor Guerrero³⁴ donde nos describe a la apexificación con MTA® (Agregado de Trióxido Mineral), en el cual se realizaron varios estudios clínicos donde informa que es una alternativa favorable para obtener el cierre radicular en dientes inmaduros o fracturas radiculares, incluso puede ser utilizado en casos con un ápice abierto. En el artículo realizado por Mente,⁵⁷ realizo un estudio en el que presenta 252 muestras tratados con apexificación y con un período de seguimiento de 10 años, lo que concluye que las tasas de éxito de dientes permanentes jóvenes con ápices abiertos reportados en este estudio sugieren que la colocación de tapones apicales con agregado trióxido mineral es una buena elección de tratamiento para dientes con ápice abierto.

Por otro lado, desde el punto de vista de Agrafioti y colaboradores³³ nos menciona que el Hidroxido de Calcio y el MTA® ambos materiales pueden conducir a resultados clínicos favorables. Pero el uso de hidróxido de calcio es una medicación intraconducto durante un tiempo breve. Por lo tanto, prefiere el MTA®.

R Yasin⁴⁶ y colaboradores mencionan que el Biodentine® no observo fracturas de los dientes inmaduros después de un tiempo de haberse obturado, lo que indica una amplia resistencia del material y los autores nos sugiere que Biodentine® podría ser un sustituto adecuado para MTA®.

Por otro lado, la apexificación con MTA® brinda una alternativa favorable para lograr el cierre de la raíz, por lo cual Agrafioti y colaboradores, observaron que no hubo ningún efecto en los tejidos periapicales al momento de ser examinado, dicho autor recomienda no sobre obturar el material de MTA®.⁵⁸

El Biodentine® y MTA® han demostrado tener tasas de éxito favorables y comparables cuando se utilizan como material de recubrimiento pulpar directo o pulpotomía., mencionando que el MTA® y Biodentine® tienen beneficios similares.⁵⁹

CAPÍTULO 5. Conclusión

5.1 Conclusión y recomendaciones

5.1.1 Conclusión

- La apicoformación es un tratamiento que se ejecuta con el fin de alcanzar el cierre apical y formar un ambiente adecuado para la formación de una barrera calcificada.
- Los criterios clínicos y radiográficos son de primordial importancia para obtener un buen diagnóstico y, por consiguiente, considerar si es o no viable el tratamiento de apexificación.
- El Hidróxido de Calcio es un material favorable para el tratamiento de la apicoformación, desde hace décadas ha sido usado ampliamente en endodoncia, sus principales aplicaciones han sido como base dentinaria, recubrimiento pulpar, materiales de obturación temporal del conducto radicular y cementos selladores de conductos radiculares, sin embargo, una desventaja en el cierre apical son las múltiples citas para verificar que vaya bien el proceso.
- El Agregado de Trióxido Mineral (MTA®) es un material con resultados favorables en la terapéutica pulpar, ha demostrado que requiere de un menor tiempo de formación apical que el Hidróxido de Calcio, siendo así una alternativa más fiable en los procedimientos de apicoformación. Una de sus desventajas es el tiempo de fraguado del material (4hrs) y la humedad que requiere para el mismo, sin olvidar que el costo es elevado.
- El Silicato Tricálcico (Biodentine®) ha demostrado ser un material de primera elección ya que cuenta con excelentes propiedades, fácil manipulación y eso beneficia para la colocación del material dentro del diente. Mantiene la vitalidad pulpar en los conductos radiculares y así mismo permite que continúe el proceso de formación radicular fisiológica del órgano dental, sin alteraciones patológicas. una cicatrización adecuada del tejido no produce alteraciones o reacciones inflamatorias, en general se ha observado radiográficamente la formación del puente dentinario a los 6 meses después del tratamiento.

- Los materiales bioactivos son la primera elección para tratar el complejo dentino pulpar, ya que su principal componente; en el caso de Biodentine® es el silicato tricálcico el cual ayuda a la formación y mineralización de dentina reparativa. En el MTA® es el agregado de trióxido mineral que, al entrar en contacto con los fluidos bucales, libera componentes catiónicos, que promueven la regeneración del tejido original.
- Los tres materiales analizados en esta revisión son favorables para el tratamiento de inducción del cierre apical en dientes permanentes jóvenes, lo importante es elegir de acuerdo a las características clínicas y medioambientales del paciente.

5.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda concientizar al paciente, para que esté dispuesto a cooperar, asistiendo a todas las citas programadas.
- Para llegar a tener un pronóstico favorable al realizar el tratamiento de apexificación se debe tener en cuenta seguir el correcto protocolo y los parámetros que se necesitan para realizar este tratamiento.
- Realizar más estudios clínicos con un control a largo plazo luego de terminar el tratamiento esto se sugiere para obtener evidencias consolidadas en relación al medicamento intraconducto que se utilizó.

Abreviaturas

- MTA®: agregado de trióxido mineral
- Ca: calcio
- Si: silicio
- Al: aluminio
- Fe: hierro
- Mg: magnesio
- MPa: Megapascales
- Silicato tricálcico: 3CaO SiO_2 .
- Aluminato Tricálcico: $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$
- Silicato Dicálcico: 2CaO SiO_2

Referencias bibliográficas

¹ Bernal N, Arias MI. Indicadores de maduración esquelética y dental. CES odontol. [Internet]. 9 de diciembre de 2008;20(1):59-68. Disponible en: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/odontologia/article/view/139>

² Morales Miranda L, Gómez Gonzáles W. Caries dental y sus consecuencias clínicas relacionadas al impacto en la calidad de vida de preescolares de una escuela estatal. Rev Estomatol Hered [Internet]. 2019;29(1):17. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1019-43552019000100003

³ Correa CP, García LB, del Río EP, Caballero AD. Correlación en el diagnóstico clínico, radiográfico e histológico de lesiones apicales dentales. Rev Odontol Mex [Internet]. 2017;21(1):22–9. Disponible en: http://dx.doi.org/10.1016/j.rod_mex.2017.01.004

⁴ Aquino Sánchez BI, Ríos Vera OL, Arrunátegui Huamán BP. Importancia de dientes deciduos en la erupción de dientes permanentes: percepción de los padres de familia en un centro poblado de Lambayeque. Salud & Vida Sipanense [Internet]. 2022;9(1):94–106. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.26495/svs.v9i1.2156>

⁵ Sandra Hincapié, Narváez Andreína, Lis Valerio Rodríguez. Biodentine: Un nuevo material en terapia pulpar. Rev. Universitas Odontologica. [Internet]. 2015; 2015;(73):69–76.

⁶ Sharma S, Deepak P, Vivek S, Ranjan Dutta S. Palatogingival Groove: Recognizing and Managing the Hidden Tract in a Maxillary Incisor: A Case Report. J Int Oral Health. 2015 Jun;7(6):110-4. PMID: 26124612; PMCID: PMC4479763.

⁷ Serafín DM, Castillo ER. Cronología de la erupción dentaria permanente en la población del Área de Salud Norte del municipio Morón. Rev. MediCiego [Internet]. 2013; 19(2). Disponible en: <https://revmediciego.sld.cu/index.php/mediciego/article/view/238>

⁸ Mayoral J, Mayoral G. Desarrollo de los dientes y la oclusión: Ortodoncia Principios fundamentales y práctica. Ortodoncia Principios fundamentales y práctica. Editors, España, Barcelona, Vol. 6, 1990; 59–72.

⁹ Takashi K, Larz SW. Análisis comparativo del tamaño y la forma de las partículas de agregados de trióxido mineral disponibles comercialmente y cemento Portland: un estudio con un analizador de imágenes de partículas de flujo. Rev. Revista de endodoncia. [Internet]. 2016;34(1):16.

¹⁰ Abdelmegid S, Salama F. Resistencia adhesiva al cizallamiento de diferentes materiales restauradores sustitutos de dentina a la dentina de los dientes primarios. Abolladura Mater. 2016; 35:782–7.

¹¹ Villat C, Tran XV, Pradelle-Plasse N, Ponthiaux P, Wenger F, Grosogeat B, Colon P. Impedance methodology: A new way to characterize the setting reaction of dental cements. Dent Mater. 2010 Dec;26(12):1127-32. doi: 10.1016/j.dental.2010.07.013.

¹² Abraham Abramóvich. Histología y embriología dental. Editorial Médica Panamericana S.A., Argentina, Vol. 2; 1999:5:70-89.

¹³ Caldera MM. Prevención y Tratamiento de los Accidentes Durante la Terapia Endodóntica. [Internet]. 2001;3(1):16. Disponible en: https://www.carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado_13.htm

¹⁴ Correa JMA, González RM, López IM, de la Cruz IO. Complejo dentino pulpar. Estructura y diagnóstico. Revista de Medicina Isla de la Juventud [Internet]. 2013;12(1):82–99. Disponible en: <http://www.remij.sld.cu/index.php/remij/article/view/9/22>.

¹⁵ Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. J Pak Med Assoc. 2020 Mar;70(3):497-504. doi: 10.5455/JPMA.16942. PMID: 32207434.

¹⁶ Lillo OC, Herrero MM, Beltri Orta P. Tratamientos pulpares en dentición temporal. Odontol Pediatr. 2010;18(2):153–8. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3535058>

¹⁷ Vidal K, Martín 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. 2016 May;42(5):730-4. doi: 10.1016/j.joen.2016.02.007. Epub 2016 Mar 16. PMID: 26994597.

¹⁸ Regeneración pulpar en dientes permanentes inmaduros. Docplayer.es. Disponible en: <https://docplayer.es/57155520-Regeneracion-pulpar-en-dientes-permanentes-inmaduros.html>

¹⁹ Luzón Caigua KL, Sánchez Robles BA, González Eras SP, Gahona Carrión DI. Apicoformación en dientes necróticos. RECIMUNDO [Internet]. 11oct.2020;4(4):134-43. Available from: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/892>

²⁰ Bogen G, Ricucci D. Mineral Trioxide Aggregate Apexification: a 20-year case review. Aust Endod J. 2021 Aug;47(2):335-342. Doi: 10.1111/aej.12442. Epub 2020 Sep 8. PMID: 32896968.

²¹ Hernández C, Guerrero M, Gutiérrez I, Corona A. Apexificación utilizando el hidróxido de calcio como primera alternativa de tratamiento. *spor* [Internet]. 9 de febrero de 2020;14(2):150-7. isponible en:

<http://www.op.spo.com.pe/index.php/odontologiapediatrica/article/view/83>

²² Yepes Delgado FL, Castrillón Yepes CA. El Hidróxido de Calcio, como paradigma clínico, es superado por el agregado de Trióxido Mineral (MTA). *Rev Fac Odontol Univ Antioq* [Internet]. 2013; 25(1):176–207. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-246X2013000200011

²³ Llanes MG, Boss J. El Hidróxido de Calcio: su uso clínico en la endodoncia actual. *Camagüey - Cuba. Archivo Medico de Camagüey*. 2005;9(3).

²⁴ Mareño Gorinov R, Tito Ramírez EY. *Revista de Actualización Clínica Investiga*. *Revista de Actualización Clínica Investiga* [Internet].1115. Disponible en:

http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?pid=S2304-37682012000800008&script=sci_arttext&tlng=es

²⁵ Lu Y, Liu T, Li H, Pi G. Histological evaluation of direct pulp capping with a self-etching adhesive and calcium hydroxide on human pulp tissue. *Int Endod J* [Internet]. 2008;41(8):643–50. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01396.x>

²⁶ Yepes FL, Castrillón CA. Calcium hydroxide as a clinical paradigm is surpassed by mineral trioxide aggregate (MTA). *Rev Fac Odontol Univ Antioq*. 2013;25(1):176–207.

²⁷ Miñana Gómez M. El Agregado de Trióxido Mineral (MTA) en Endodoncia. RCOE [Internet]. 2002;7(3):283–9. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1138-123X2002000400006&lng=es.

²⁸ Rodríguez-Villalobos P, López VB. Propiedades y Usos en Odontopediatría del MTA (Agregado de Trióxido Mineral). Odovtos - Int J Dent Sci [Internet]. 2011;(13):65–70. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/Odontos/article/view/4772>

²⁹ Agregado trióxido mineral y biodentine en la terapia pulpar (Una revisión de la literatura) [Internet]. Ortodoncia.ws. Disponible en: <https://www.ortodoncia.ws/publicaciones/2022/art-3/>

³⁰ Llanos-Carazas M. Evolution of bioceramic cements in endodontics. CpD [Internet]. 2019;10(1):151–62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/cpd.2019.01.24>

³¹ Generalidades del Agregado de Trióxido Mineral (MTA) y su aplicación en odontología: revisión de la literatura [Internet]. Available from: https://www.actaodontologica.com/ediciones/2007/3/trioxido_mineral.asp

³² Simancas Escorcía VH, Díaz Caballero A. Biodentine: a dentine substitute? Salud Uninorte [Internet]. 2022;36(3):587–605. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/sun.36.3.617.6>

³³ Hincapié Narváez S, Valerio Rodríguez AL. Biodentine: Un nuevo material en terapia pulpar / Biodentine: A New Material for Pulp Therapy. Univ Odontol [Internet]. 2015;34(73). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.uo34-73.bmtp>

³⁴ Guerrero F, Mendoza A, Ribas D, Aspiazu K. Apexificación: una revisión sistemática. *J Conserva Dent* [Internet]. 2018;21(5):462–5. Disponible en:

http://dx.doi.org/10.4103/JCD.JCD_96_18

³⁵ Mena AG, Rodríguez SAV, Sepúlveda AGR. Uso de biodentine como alternativa de recubrimiento pulpar. *Revista Mexicana de Estomatología* [Internet]. 2020;6(2):29–33. Disponible en:

<https://www.remexesto.com/index.php/remexesto/article/view/288>

³⁶ Rajasekharan S, Martens LC, Cauwels RGEC, Anthonappa RP. Biodentine™ material characteristics and clinical applications: a 3 year literature review and update. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2018 Feb;19(1):1-22. doi: 10.1007/s40368-018-0328-x. Epub 2018 Jan 25. Erratum in: *Eur Arch Paediatr Dent*. 2018 Mar 15;: Erratum in: *Eur Arch Paediatr Dent*. 2021 Apr;22(2):307. PMID: 29372451.

³⁷ Agrafioti A, Giannakoulas DG, Filippatos CG, Kontakiotis EG. Analysis of clinical studies related to apexification techniques. *Eur J Paediatr Dent*. 2017 Dec;18(4):273-284. doi: 10.23804/ejpd.2017.18.04.03. PMID: 29380612.

³⁸ Lin J-C, Lu J-X, Zeng Q, Zhao W, Li W-Q, Ling J-Q. Comparison of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide for apexification of immature permanent teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Formos Med Assoc* [Internet]. 2016;115(7):523–30. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfma.2016.01.010>

³⁹ Corbella S, Ferrara G, El Kabbaney A, Taschieri S. Apexification, apexogenesis and regenerative endodontic procedures: a review of the literature. *Minerva Stomatol*. 2014 Nov-Dec;63(11-12):375-89. PMID: 25503339.

⁴⁰ Shaik I, Dasari B, Kolichala R, Doos M, Qadri F, Arokiyasamy JL, Tiwari RVC. Comparison of the Success Rate of Mineral Trioxide Aggregate, Endosequence Bioceramic Root Repair Material, and Calcium Hydroxide for Apexification of Immature Permanent Teeth: Systematic Review and Meta-Analysis. *J Pharm Bioallied Sci.* 2021 Jun;13(Suppl 1):S43-S47. doi: 10.4103/jpbs.JPBS_810_20. Epub 2021 Jun 5. PMID: 34447040; PMCID: PMC8375928.

⁴¹ Velásquez Reyes V, Álvarez Páucar M. Tratamiento pulpar en la apexificación del diente inmaduro mediante agregado de trióxido mineral. *Odontol Sanmarquina* [Internet]. 15 de julio de 2009 [citado 25 de marzo de 2023];12(1):29-32. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/odont/article/view/2912>

⁴² Teicher, Clara, et al. "La reparación de la pulpa dental. Materiales y alternativas de tratamiento. Revisión de la información bibliográfica." *Revista de la Asociación Odontológica Argentina* 107.3 (2019): 110-115.

⁴³ Hoyos, Pinzón R, Rodríguez, Casanova BI, Angulo, Cortés HJ. Apicoformación con hidróxido de calcio en un órgano dental con necrosis pulpar y ápice abierto. *Reporte de un caso.* 2018;10(2):57-62

⁴⁴ Songtrakul K, Azarpajouh T, Malek M, Sigurdsson A, Kahler B, Lin LM. Modified Apexification Procedure for Immature Permanent Teeth with a Necrotic Pulp/Apical Periodontitis: A Case Series. *J Endod.* 2020 Jan;46(1):116-123. doi: 10.1016/j.joen.2019.10.009. Epub 2019 Nov 21. PMID: 31761331.

⁴⁵ Carmen, López et al. "Revascularization in Immature Permanent Teeth with Necrotic Pulp and Apical Pathology: Case Series." *Case reports in dentistry* vol. 2017 (2017): 3540159. doi:10.1155/2017/3540159

⁴⁶ Asgary S, Roghanizadeh L, Haeri A. Surgical Endodontics vs Regenerative Periodontal Surgery for Management of a Large Periradicular Lesion. *Iran Endod J.*

2018 Spring;13(2):271-276. doi: 10.22037/iej.v13i2.20648. PMID: 29707028; PMCID: PMC5911307.

⁴⁷ Pace R, Giuliani V, Nieri M, Di Nasso L, Pagavino G. Mineral trioxide aggregate as apical plug in teeth with necrotic pulp and immature apices: a 10-year case series. *J Endod.* 2014 Aug;40(8):1250-4. doi: 10.1016/j.joen.2013.12.007. Epub 2014 Apr 3. PMID: 25069943.

⁴⁸ Moore A, Howley MF, O'Connell AC. Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in children. *Dent Traumatol.* 2011 Jun;27(3):166-73. doi: 10.1111/j.1600-9657.2011.00984.x. PMID: 21564517.

⁴⁹ Floratos SG, Tsatsoulis IN, Kontakiotis EG. Apical barrier formation after incomplete orthograde MTA apical plug placement in teeth with open apex--report of two cases. *Braz Dent J.* 2013;24(2):163-6. doi: 10.1590/0103-6440201302163. PMID: 23780353.

⁵⁰ Massón Palacios, María José, et al. "Apexificación de un molar permanente a través de silicato tricálcico." *Revista Eugenio Espejo* 14.1 (2020): 105-113.

⁵¹ Consoli Lizzi EP, Corominola PL, Martínez P, Natri ML, Rimaro GA, Rodríguez PA. Técnica de Apexificación con un Sustituto Bioactivo de la Dentina en una Sola Sesión: Caso Clínico. *Rev Fac Odontol, Univ Buenos Aires [Internet].* 1 de octubre de 2021 [citado 28 de marzo de 2023];36(82):43-8. Disponible en: <https://revista.odontologia.uba.ar/index.php/rfouba/article/view/77>

⁵² Sottano, Martín. Apexificación en dientes con rizogénesis incompleta. Diss. Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Odontología, 2020.

⁵³ Darak P, Likhitkar M, Goenka S, Kumar A, Madale P, Kelode A. Comparative evaluation of fracture resistance of simulated immature teeth and its effect on single visit apexification versus complete obturation using MTA and biodentine. *J Family Med Prim Care*. 2020 Apr 30;9(4):2011-2015. doi: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1145_19. PMID: 32670957; PMCID: PMC7346951.

⁵⁴ Yasin R, Al-Jundi S, Khader Y. Effect of mineral trioxide aggregate and biodentine™ on fracture resistance of immature teeth dentine over time: in vitro study. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2021 Aug;22(4):603-609. doi: 10.1007/s40368-020-00597-9. Epub 2021 Jan 2. PMID: 33387346.

⁵⁵ Damle SG, Bhattal H, Loomba A. Apexification of anterior teeth: a comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide paste. *J Clin Pediatr Dent*. 2012 Spring;36(3):263-8. PMID: 22838228.

⁵⁶ Sarris S, Tahmassebi JF, Duggal MS, Cross IA. A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children-a pilot study. *Dent Traumatol*. 2008 Feb;24(1):79-85. doi: 10.1111/j.1600-9657.2006.00485.x. PMID: 18173672.

⁵⁷ Mente J, Leo M, Panagidis D, Ohle M, Schneider S, Lorenzo Bermejo J, Pfeffeler T. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate in open apex teeth. *J Endod*. 2013 Jan;39(1):20-6. doi: 10.1016/j.joen.2012.10.007. PMID: 23228252.

⁵⁸ Agrafioti A, Giannakoulas DG, Filippatos CG, Kontakiotis EG. Analysis of clinical studies related to apexification techniques. *Eur J Paediatr Dent [Internet]*. 2017;18(4):273–84. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23804/ejpd.2017.18.04.03>

⁵⁹ Torabinejad M, Parirokh M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview - part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J*. 2018 Mar;51(3):284-317.