



**UADY**

CIENCIAS DE LA SALUD

FACULTAD DE  
ODONTOLOGÍA

**EFICACIA DEL NEOMTA PLUS EN ÓRGANOS  
DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORAMEN INMADURO**

Tesis presentada por:

**ANA KAREN BASULTO CRUZ**

En opción al Diploma de Especialización en:

**ENDODONCIA**

Directores:

**M. EN O. GABRIEL ALVARADO CÁRDENAS**

**DR. RODRIGO SERRANO PIÑA**

Mérida, Yucatán, julio 2020





**UADY**

CIENCIAS DE LA SALUD

FACULTAD DE  
ODONTOLOGÍA

**EFICACIA DEL NEOMTA PLUS EN ÓRGANOS  
DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORAMEN INMADURO**

Tesis presentada por:

**ANA KAREN BASULTO CRUZ**

En opción al Diploma de Especialización en:

**ENDODONCIA**

Directores:

**M. EN O. GABRIEL ALVARADO CÁRDENAS**

**DR. RODRIGO SERRANO PIÑA**

Mérida, Yucatán, julio 2020

Mérida, Yucatán, 1 de Julio de 2020

**C. ANA KAREN BASULTO CRUZ**

Con base en el dictamen emitido por sus Directores y revisoras, le informo que la Tesis titulada **"Eficacia del NeoMTA Plus en órganos dentarios necróticos con foramen inmaduro"**, presentada como cumplimiento a uno de los requisitos establecidos para optar al Diploma de la Especialización en Endodoncia, ha sido aprobada en su contenido científico, por lo tanto, se le otorga la autorización para que una vez concluidos los trámites administrativos necesarios, se le asigne la fecha y hora en la que deberá realizar su presentación y defensa.



**Dr. José Rubén Herrera Atoche**  
Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación



M. en O. Gabriel Alvarado Cárdenas  
Director de Tesis



Dr. Rodrigo Serrano Piña  
Director de Tesis



Dra. Elina María Vega Lizama  
Revisora



Dra. María Eugenia López Villanueva  
Revisora

## REGLAMENTO

Artículo 78 del reglamento interno de la facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán

Aunque una tesis hubiera servido para el examen profesional y hubiera sido aprobada por el sínodo, solo su autor o autores son responsables de las doctrinas en ella emitidas.

Este trabajo fue realizado en el Posgrado de Endodoncia de la Facultad Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán, haciendo uso de sus instalaciones, material y equipos. Bajo la dirección del Dr. Gabriel Alvarado Cárdenas. Los resultados presentados serán parte del proyecto de investigación “Terapia endodóntica en dientes permanentes en diferentes estadios de formación radicular”. Con registro FODO 2017-0002 ante el SISTPROY.

## AGRADECIMIENTOS

A mi director y tutor de tesis M. en O. Gabriel Alvarado Cárdenas, por el apoyo recibido durante estos dos años en el posgrado; por la orientación, soporte con los pacientes y las dudas que tuve y por transmitirme todos los conocimientos aprendidos.

A mi director y tutor de tesis Dr. Rodrigo Serrano Piña, por el apoyo recibido desde el Posgrado de Odontología infantil estos dos años; por la orientación, por los conocimientos aprendidos y por los soportes con los pacientes pediátricos y la discusión crítica.

A mi coordinador el Dr. Marco Antonio Ramírez Salomón, por creer en mí y haberme dado la oportunidad de pertenecer al posgrado, por compartir todos sus conocimientos. Por guiarnos durante estos dos años, por su invaluable apoyo, confianza y paciencia que me brindó durante esta etapa.

A mis revisoras de tesis, la Dra. Elma María Vega Lizama y la Dra. María Eugenia López Villanueva, por su tiempo que destinaron para las revisiones y modificaciones, en la redacción de la tesis, por toda su ayuda en clínica y por compartir sus conocimientos.

A la marca comercial NuSmile y a la distribuidora Vamasa por el apoyo y las facilidades brindadas para la obtención del material biocerámico con el cual se llevó a cabo este estudio y la elaboración exitosa de la tesis.

A mi familia por su comprensión, apoyo incondicional, por creer en mí y apoyarme para entrar al posgrado, por la paciencia durante momentos difíciles y motivarme a continuar.

Y finalmente, le agradezco al CONACYT por el apoyo mediante el financiamiento otorgado durante estos dos años de duración del posgrado.

## DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza, fortaleza y la salud para seguir adelante en todos mis metas. Gracias por la familia, a mis doctores y compañeros del posgrado y el amor con las que me bendijiste.

A mis papás, Juan Manuel y Maribel, por haberme forjado como la persona que soy actualmente. Todos mis logros se los debo a ustedes, incluyendo este. Por todo el apoyo, paciencia y amor que me han brindado. Los amo.

A mi mamá, Maribel, a quien le dedico toda mi vida y mis éxitos. Todo lo que soy y tengo te lo debo a ti. Gracias por creer en mí, aun en los momentos que yo dudaba. Gracias por el amor, apoyo y paciencia que me brindaste. Sé que desde el cielo sigues cuidándome y protegiéndome. Te extraño y te amo demasiado.

A mi hermana, Alejandra, que fuiste mi principal soporte durante esta etapa. Por motivarme a no rendirme, a seguir trabajando y estudiando, por la paciencia y el apoyo incondicional que me brindaste. Eres mi ejemplo a seguir y cada día te admiro más. Te amo.

A mi hermano, Juan Manuel, que estuviste presente y acompañándome durante esta etapa. Gracias por todo. Estoy orgullosa de ti y de tus logros. Te amo.

A mi abuela, Sebastiana, a mi tía, Angelita, y mi primo, Daniel, que me están apoyando y siempre están al pendiente de mí. Gracias por su apoyo y amor incondicional. Los amo.



## ÍNDICE

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
JUSTIFICACIÓN	26
OBJETIVOS	28
MATERIAL Y MÉTODOS	29
RESULTADOS	35
DISCUSIÓN	40
CONCLUSIÓN	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
ANEXOS	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios clínicos y radiográficos propuestos por Strindberg	33
Tabla 2. Índice Periapical (PAI) propuesto por Orstavik	34
Tabla 3. Casos que recibieron tratamiento de tapón apical	36
Tabla 4. Resultados de controles clínicos y radiográficos de taponos apicales	37
Tabla 5. Casos que recibieron tratamiento de revitalización	38
Tabla 6. Resultados de controles clínicos y radiográficos de revitalizaciones	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de Patterson	9
Figura 2. Índice Periapical (PAI) propuesto por Orstavik	34
Figura 3. Prevalencia de OD con foramen inmaduro	35
Figura 4. Prevalencia de materiales utilizados para tapones apicales	35
Figura 5. Prevalencia de materiales utilizados para las revitalizaciones	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Carta de Consentimiento Informado de Tapón Apical	54
ANEXO 2. Carta de Consentimiento Informado de Revitalización	55
ANEXO 3. Instrumento de Medición y Recolección de Datos	56

## RESUMEN

El desarrollo radicular de los órganos dentarios permanentes jóvenes puede cesar por una afectación pulpar; en consecuencia, dificulta el tratamiento endodóntico convencional. Es indispensable conocer las alternativas de tratamiento y contar con un material que permita brindar una atención adecuada y oportuna a los diferentes casos presentados. El NeoMTA Plus es un nuevo material biocerámico, con propiedades y características mejoradas del MTA que se puede utilizar como alternativa para tratamientos de apicoformación y revitalización. Estos tratamientos no cuentan con investigaciones clínicas que corroboren la información del fabricante y su eficacia clínica a largo plazo. El objetivo de este estudio fue determinar la eficacia del NeoMTA Plus en órganos dentarios permanentes necróticos con foramen inmaduro. Fue un estudio observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo el cual se encuentra en proceso del periodo de enero 2017 a febrero 2020. Se incluyeron a todos los pacientes con OD con necrosis pulpar y forámenes inmaduros con grados de desarrollo radicular según la clasificación de Patterson: I, II, III y IV. De acuerdo a su desarrollo radicular se les realizó los tratamientos de tapón apical y revitalización usando el biomaterial NeoMTA Plus en la Clínica de Posgrado de Endodoncia de la FOUADY, con previa carta firmada de consentimiento informado. El protocolo para el tratamiento fue en dos citas donde el tapón apical es colocado a 3mm de apical a coronal y se remitió al Posgrado de Odontología Infantil para su restauración. El protocolo para el tratamiento de revitalización se realizó en dos citas, donde se colocó un sellado intermedio con el biomaterial y se restauró el OD con ionómero de vidrio y resina en el Posgrado de Odontología Infantil. Se citó a los pacientes para citas de control, en los meses 1, 3, 6, 12 y +24 posterior al tratamiento. Estos tratamientos fueron evaluados según los criterios clínicos de Strindberg y los criterios radiográficos del índice periapical (PAI).

Un total de 1548 pacientes acudieron a la Clínica del Posgrado en Endodoncia de la FOUADY en el periodo comprendido para esta investigación. De los pacientes recibidos, 115 órganos dentarios fueron diagnosticados con foramen inmaduro; 46 presentaron pulpa vital y 69 pulpa necrótica. Los órganos dentarios que presentaron

pulpa vital no fueron considerados para la muestra y se realizó el tratamiento de apicogénesis. Los órganos dentarios diagnosticados con pulpa necrótica se distribuyeron en los siguientes tratamientos: a 21 se les colocó tapón apical y a 6 se realizó la revitalización.

Dos casos con tapón apical tuvieron seguimiento de control a 30 meses, considerando los criterios de Strindberg se clasificaron como éxito. La cicatrización de la lesión se observó radiográficamente a partir del sexto mes en el 50% de estos casos. De los órganos dentarios con tratamiento de revitalización, tres casos tienen 12 meses de seguimiento y con base en la clasificación de Patterson se ha observado el desarrollo y engrosamiento radicular, lo que permitió finalizar el tratamiento de endodoncia. Según los criterios de Strindberg, el total de esta muestra se considera como éxito y de acuerdo con el PAI, el 50% presentan cicatrización de la lesión. Todos los casos seguirán en control

De acuerdo con los resultados de este estudio se concluye que el NeoMTA Plus es un material biocerámico nuevo y eficaz, con ventajas en su manipulación ya que el tiempo de fraguado es menor y su costo – beneficio es mayor. Se reportan resultados positivos con base en los criterios de Strindberg y Orstavik, ya que en los seguimientos de control se observó signos clínicos favorables como el engrosamiento de las paredes radiculares, cambios longitudinales de la raíz, la remisión - curación de las lesiones perirradiculares.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los órganos dentarios (OD) permanentes jóvenes que no han completado su desarrollo, pueden presentar afectaciones al tejido pulpar causadas por diversos factores etiológicos como: caries, anomalías de estructura y de forma, así como traumatismos dentales. Si el daño al tejido pulpar es irreversible impide el cierre completo del ápice en edades tempranas. En consecuencia, su tratamiento puede ser complejo de manera que requiere un manejo rápido y oportuno.

Para seleccionar el tratamiento adecuado en OD con foramen inmaduro, se debe realizar un diagnóstico con base en los exámenes clínicos y radiográficos. El tratamiento endodóntico no quirúrgico es el más conservador y de primera elección a considerar. Se debe mencionar que es un tratamiento complejo por la presencia de diversas condiciones como son: la falta de desarrollo radicular, radiográficamente se observan paredes radiculares delgadas y propensas a fracturas, un foramen apical abierto que no proporciona una barrera anatómica de la raíz. Estas condiciones dificultan la obturación tridimensional y la preservación de los materiales de obturación endodóntico dentro de los límites del conducto.

Es necesario conocer las alternativas de tratamientos endodónticos no quirúrgicos y los materiales que permitirán inducir la formación radicular o crear una barrera para sellar los OD con foramen inmaduro. Los materiales empleados deben contar con ciertas características para su colocación: biocompatibles, bioactivos, no tóxicos, no carcinogénicos, de alta resistencia mecánica a la compresión y flexión, baja solubilidad, fácil manipulación, corto tiempo de fraguado y económicos.

En 1998 se comercializa el agregado de trióxido mineral (MTA), material aprobado en estudios e investigaciones que sustentan su eficacia en tratamientos como: apicogénesis, apicoformación, defectos por reabsorciones externas o internas, recubrimiento pulpar directo, pulpotomía y sellador de perforaciones de furca y radiculares. En la actualidad, existen diferentes productos con características similares al

MTA y con mejor tiempo de fraguado como el NeoMTA Plus, pues además es de fácil manipulación, está libre de resina y tiene menor costo.

Tomando como referencia los casos clínicos previos, el presente trabajo pretende obtener una muestra que permita confirmar la eficacia y éxito clínico a corto y largo plazo del NeoMTA Plus. Por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la eficacia del NeoMTA Plus como alternativa de tratamiento en OD permanentes necróticos con foramen inmaduro?



## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los órganos dentarios (OD) se desarrollan a partir del proceso de odontogénesis. Este comienza en los brotes epiteliales en la porción anterior de los maxilares que avanzan en dirección posterior. Cada brote posee una forma determinada de acuerdo con el OD al que dará origen y su ubicación es precisa en los maxilares. Su desarrollo se dará de forma gradual y paulatina (1).

El proceso de la odontogénesis comienza en la sexta semana de vida intrauterina (45 días aproximadamente) y continua a lo largo de toda la vida del OD (1). Se desencadena cuando el ectomesénquima o mesénquima cefálico, que derivan de la cresta neural que migraron hacia la región cefálica. La ectomesénquima induce su acción sobre el epitelio bucal que reviste al estomodeo, y en conjunto con diversos factores químicos, surge una interacción entre el epitelio-mesénquima, mecanismo que constituye la base para la formación dental. En este proceso hay dos fases: 1) morfogénesis, que consiste en el desarrollo y formación de los patrones coronario y radiculares; 2) histogénesis, que consiste en la formación de los distintos tipos de tejidos dentarios: esmalte, dentina y la pulpa (2).

Una vez formado el patrón coronario y comenzado el proceso de histogénesis dental (mecanismos de dentinogénesis y amelogénesis), comienza el desarrollo y formación del patrón radicular. La formación radicular es inducida y modelada mediante la vaina epitelial de Hertwig. Al proliferar, la vaina induce a la papila para que se diferencien en la superficie de la mesénquima papilar los odontoblastos radiculares, es decir delimitará la futura pulpa dental y será la responsable de la formación, tamaño y número de las raíces. Al depositarse la primera capa de dentina radicular, la vaina de Hertwig pierde su continuidad y se fragmenta, formando los restos epiteliales de Malassez (1).

A medida que ocurre el crecimiento, los depósitos de dentina ocasionan un estrechamiento del conducto radicular, lo cual genera el cierre y convergencia apical de los conductos radiculares y el tejido pulpar se comprime. La longitud de las raíces estará

completa de 1 a 4 años después; la vaina epitelial de Hertwig desaparece al establecerse la longitud de la raíz, en el interior de las raíces sigue depositándose dentina (3).

Cuando erupcionan los OD en la cavidad oral, presentan una o varias raíces con un desarrollo aproximado de 2/3 de su longitud final y alcanza su longitud completa hasta transcurridos de 1 a 4 años después de la erupción; después de este proceso se le considera que su ápice está maduro. Los OD que no han terminado su desarrollo se les denomina OD permanente joven, inmaduro, incompleto o con el ápice abierto (2).

### TEJIDO PULPAR

La pulpa dental es un tejido único y de gran importancia en el pronóstico de largo plazo del OD. Reside en la cámara pulpar, la cual brinda un soporte mecánico y de protección contra los microorganismos orales. Las funciones de la pulpa son de protección contra infecciones, de reparación (formación de dentina), mantenimiento de la resistencia a la tracción para prevenir fracturas dentales. Cuando el tejido pulpar se encuentra frente a un estímulo patógeno como la caries, fisuras, fracturas o restauraciones mal selladas, crean una vía de acceso a los microorganismos y sus toxinas a la pulpa. El tejido pulpar responde inicialmente con irritación, seguido de inflamación, y si no se trata a tiempo, progresa a la necrosis pulpar (NP) e infección (4).

Clasificación histológica de la respuesta pulpar ante estímulos patógenos (5):

1. Pulpitis reversible: el tejido pulpar con evidencia de inflamación crónica moderada o severa confinada a la pulpa coronal. Los linfocitos y las células plasmáticas se ven reunidos en concentraciones variables debajo de las áreas más profundas de la penetración de caries. Ausencia de áreas mínimas de coagulación o necrosis por licuefacción. Se observan bajo microscopio grandes cantidades bacterias en la dentina cariada, pero están ausentes en el tejido de la pulpa (2,3).
2. Pulpitis irreversible: al menos un área del tejido pulpar coronal ha sufrido licuefacción o coagulación, rodeada por masas de neutrófilos polimorfonucleares vivos (PMN). Hay colonias de biopelículas bacterianas en el tejido pulpar necrótico o las paredes de dentina adyacentes. Periféricamente, las concentraciones de células

inflamatorias crónicas (linfocitos, células plasmáticas y macrófagos) forman un halo denso alrededor de estas zonas centrales de absceso (3,5).

3. Necrosis pulpar: de acuerdo con la clasificación de enfermedades pulpares de la American Association of Endodontists (AAE), la categoría de diagnóstico clínico que establece la muerte de la pulpa dental se conoce como necrosis pulpar. Hay una colonización de biopelículas bacterianas en todo o gran parte del tejido y las paredes de la dentina adyacentes (3,5).

El diagnóstico del estado pulpar ante estímulos patógenos dependerá del avance de la enfermedad pulpar; los síntomas clínicos agudos, como el dolor o la hinchazón, rara vez se presentan en el período postraumático temprano. Sin embargo, el OD puede presentar movilidad y quedar sensible a la percusión (5).

El diagnóstico clínico del estado pulpar y la decisión sobre el tratamiento endodóntico deben basarse en la evaluación de: cambios del color coronal, las pruebas de sensibilidad y los hallazgos radiográficos, incluidas las alteraciones en el desarrollo de la raíz de OD inmaduros. Con respecto a la toma de decisiones clínicas, no hay diferencia entre los distintos tipos de lesiones, con la excepción de los OD maduros intruidos o los OD con ápice inmaduro (5).

La decoloración de la corona posterior al trauma se puede presentar en colores como: rosa, amarillo, marrón y gris o una combinación de estos. Un cambio de color rosado o rojizo se presenta de 2 a 3 días después de la lesión indica sangrado intrapulpar, que puede resolverse y la corona puede recuperar su color natural 2 a 3 semanas después. La decoloración persistente, especialmente con un cambio a gris, indica necrosis y probablemente contaminación bacteriana en la pulpa (6).

La decisión de realizar un tratamiento endodóntico debe basarse en una evaluación de los hallazgos clínicos y radiográficos, así como en el historial y la información obtenida de una comparación entre las radiografías en el momento de la lesión y los controles posteriores (5).

## ÁPICE ABIERTO

El desarrollo radicular de los OD permanentes normalmente no se completa hasta 1 a 4 años después de su erupción. Durante el periodo de formación, la pulpa se puede dañar irreversiblemente debido a lesiones de caries o traumatismos, en consecuencia, se detendrá el desarrollo de la raíz, lo que dará lugar a OD con forámenes inmaduros o ápices abiertos, paredes de dentina delgadas y una relación corona-raíz inadecuada. Esto dará lugar a OD frágiles, sensibles a las fuerzas externas y propensos a fracturas (7).

El tratamiento de los OD permanentes inmaduros con pulpas dañadas irreversiblemente son complejos, en el cual, la pulpa requiere un manejo adecuado según el grado de inflamación y su vitalidad. El tratamiento endodóntico convencional siempre se ha indicado como la estrategia terapéutica recomendada para el tratamiento de los OD permanentes con pulpa irreversiblemente dañada con una alta tasa de éxito (78–98%). Sin embargo, tradicionalmente ha sido difícil de lograr en los OD inmaduros debido a la ausencia de constricción apical. Esto puede llevar a la extrusión de los materiales de obturación y las paredes pueden volverse aún más frágiles durante la conformación y limpieza. Existe un tratamiento alternativo a la endodoncia convencional, la cual permitirá continuar el desarrollo de la raíz. Si la pulpa está inflamada irreversiblemente o es necrótica, se requieren procedimientos de cierre radicular cuando el vértice no se ha formado completamente (8).

#### PATOLOGÍA PULPAR Y PERIAPICAL DE LOS OD PERMANENTES CON ÁPICE ABIERTO

La etiología de la enfermedad pulpar y periapical en OD permanentes jóvenes con foramen inmaduro son: caries, traumatismos o la presencia de anomalías dentales, dens invaginatus y dens evaginatus (9). Sin embargo, adultos con formación radicular completa pueden presentar un ápice abierto a causa de: reabsorción externa radicular, iatrogenias (sobre-instrumentación, calor friccional al utilizar las fresas con la pieza de alta velocidad, la toxicidad del material restaurador y la filtración de bacterias y sus productos a través de los márgenes de la restauración), movimientos de ortodoncia (10).

Los traumatismos dentales y la caries son las dos principales afectaciones odontológicas que aquejan a la población infantil produciendo en muchas ocasiones daños irreversibles en los OD. En el caso de la caries, causa que el tejido pulpar y periapical se

inflame propiciando su rápida destrucción; a su vez los traumatismos pueden interrumpir el suministro sanguíneo de la pulpa ocasionando su necrosis (11).

La pulpa reacciona frente a cualquier agente patógeno: físico, químico o bacteriano cuyos estímulos superen el límite de tolerancia fisiológica. Ante estos factores se produce una respuesta inflamatoria o degenerativa, la cual se caracteriza por el aumento de volumen de la pulpa y por consiguiente la compresión de sus elementos estructurales lo que determina la aparición de las alteraciones pulpares (3).

Cuando los OD con formación de raíz incompleta sufren necrosis pulpar, se detiene la formación de dentina y cesa el desarrollo de la raíz. En consecuencia, el conducto sigue siendo amplio, con paredes delgadas y frágiles, y el ápice permanece abierto (7). Debido a estas características, el manejo clínico de estos casos representa un desafío para el profesional ya que se dificulta la instrumentación del conducto y la formación de un tope apical adecuado (11). En tales casos, para permitir la condensación del material de relleno de la raíz y promover un sello apical, es imperativo crear una barrera apical artificial o inducir el cierre. (12)

Los OD traumatizados de niños y adolescentes pueden asociarse frecuentemente con necrosis pulpar a lo largo del tiempo, debido a que el trauma tiene un alto riesgo de interrupción del suministro neurovascular en el vértice del OD que causa el infarto de la pulpa. En una luxación lateral, el trauma se complica aún más por una fractura del hueso y la compresión del tejido en las áreas apical y cervical de los OD. La curación implicará la reorganización y el restablecimiento de las fibras periodontales y la revascularización y reinervación pulpar. En los OD con desarrollo de raíces inmaduras, esto puede ocurrir por el crecimiento de nuevos vasos sanguíneos en la cámara pulpar o por anastomosis de extremo a extremo de los vasos sanguíneos en el área apical (13). Los trastornos del desarrollo de los OD humanos causados por traumatismos se pueden dividir en: reabsorción radicular, pérdida del hueso marginal, anquilosis, obliteración de la pulpa, isquemia pulpar, resorción del conducto radicular y metamorfosis del tejido (14).

La caries es una enfermedad multifactorial que involucra a las bacterias y sus derivados, que pueden penetrar la pulpa, causar inflamación y fibrosis del tejido. Si no se

eliminan las bacterias o se demora en buscar un tratamiento, se puede desarrollar una inflamación crónica (pulpitis irreversible) que evolucionará a necrosis pulpar (19).

La presencia de microorganismos en el conducto radicular es el principal factor etiológico en el desarrollo y la continuación de las lesiones periapicales (15). Es difícil diferenciar radiográficamente si la zona radiolúcida periapical es la papila apical en desarrollo o una periodontitis apical en los OD permanentes inmaduros (16).

El tejido necrótico, independientemente si está infectado o no, no puede persistir en el organismo y generalmente está organizado por tejido de granulación que crece desde el tejido inflamado adyacente y durante la cicatrización de heridas se reemplaza por tejido regenerativo similar al tejido original o tejido cicatricial (16). Si la necrosis pulpar se produce en los OD inmaduros, debe utilizarse un tratamiento alternativo debido a la presencia de un ápice abierto (8).

#### CLASIFICACIÓN DEL DESARROLLO RADICULAR Y APICAL

Los OD inmaduros se deben evaluar de acuerdo al tamaño del foramen y su desarrollo radicular. En el año 1958, Patterson *et al.* publicaron una clasificación de los OD permanentes según su desarrollo radicular y apical (Figura 1) dividiéndolos en las siguientes cinco clases: La clase I la raíz presenta su desarrollo hasta la mitad de su longitud total y el lumen apical mayor al diámetro del conducto. Ápice abierto en forma de embudo; la clase II es el desarrollo casi completo de la raíz, pero con lumen apical mayor que el conducto. Desarrollo radicular de 2/3 de su longitud y ápice de paredes divergentes. El conducto tiene la forma de trombón; la clase III es el desarrollo completo de la raíz con lumen apical de igual diámetro que el del conducto. Desarrollo radicular de 3/4 de su longitud. Ápice de paredes paralelas; la clase IV – es el desarrollo completo de la raíz con diámetro apical más pequeño que el del conducto. Conducto con forma cilíndrica; y la clase V – es el desarrollo completo radicular con tamaño microscópico apical. El conducto presenta la forma cónica de la pieza adulta. La formación de la unión cemento-dentinaria 3 años tras la erupción, permitiendo el cierre apical (17).

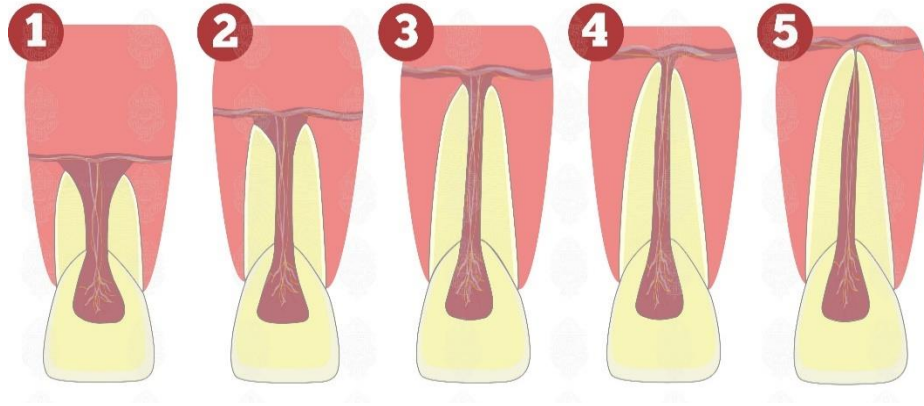


Figura 1: Clasificación de Patterson

### APICOFORMACIÓN

El estado pulpar y la etapa de desarrollo de la raíz son los factores principales en la selección de un plan de tratamiento. Los tratamientos de elección para los OD necróticos con foramen inmaduro son la apicoformación y la revitalización (18). La apicoformación es el tratamiento consistente en la limpieza del conducto radicular y la estimulación para la formación de una barrera natural calcificada en el ápice radicular utilizando un material inductor temporal biológicamente compatible (11).

El enfoque de la revitalización es lograr la generación y regeneración de tejidos. En este tratamiento, se espera que se forme nuevo tejido vivo en el espacio del conducto limpio, lo que permitirá el desarrollo continuo de la raíz en términos de longitud y grosor; mediante la búsqueda activa de la regeneración de pulpa / dentina a través de la tecnología de ingeniería de tejidos para implantar o inducir el crecimiento de la pulpa dental (19).

La apicoformación es un procedimiento que permite crear una barrera apical y preservar a los OD permanentes inmaduros que han perdido vitalidad pulpar (19). Consiste en la inducción del cierre apical para producir condiciones favorables para el relleno convencional del conducto radicular. Esta barrera forma una matriz contra la cual el relleno del conducto radicular o el material restaurador se pueden compactar manteniendo el control de la longitud. Este tratamiento produce el cierre del extremo de la raíz, sin embargo, no estimula el desarrollo de radicular en términos de longitud o

grosor de la pared. La apicoformación, por lo tanto, se considera como un tratamiento de último recurso en OD inmaduros que han perdido vitalidad pulpar (3).

Los materiales más utilizados para la apicoformación son: el hidróxido de calcio, el agregado de trióxido mineral (MTA), Biodentine, por mencionar algunos. La introducción de técnicas para la apicoformación en una visita proporciona una opción de tratamiento alternativa en estos casos. Las tasas de éxito para la apicoformación con hidróxido de calcio son altas, aunque existen riesgos como la reinfección y la fractura dental (18).

El estado pulpar y la etapa de desarrollo de la raíz son los factores principales en la selección de un plan de tratamiento. El número de visitas requeridas, el riesgo de fractura de raíz, la extensión del daño pulpar, la capacidad de restauración del OD, las finanzas y las preferencias del paciente son factores que deben considerarse durante la planificación del tratamiento (20). Según las causas, los signos y síntomas, los hallazgos radiográficos, el estado pulpar y la etapa de desarrollo de la raíz, se pueden considerar varios planes de tratamiento (21).

Las raíces inmaduras con pulpa necrótica y periodontitis apical presentan múltiples desafíos para un tratamiento exitoso (22):

1. El conducto radicular infectado no se puede desinfectar con el protocolo estándar (22).
2. La obturación del conducto radicular se dificulta debido al ápice abierto, ya que no proporciona una barrera para detener el material de relleno de la raíz antes de incidir en los tejidos periodontales (22).
3. Las raíces de estos OD son delgadas, frágiles y con una mayor susceptibilidad a fracturas (22).

Estos problemas se superan mediante el uso de un protocolo de desinfección que no incluye la instrumentación del conducto radicular, estimula la formación de una barrera de tejido duro o proporciona una barrera apical artificial para permitir la obturación óptima del conducto y refuerza la raíz debilitada contra las fracturas. Antes de esto, a menudo se extraían estos OD inmaduros necróticos (22).



Granath, en 1959, fue el primero en describir el uso de hidróxido de calcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) para la formación de una barrera apical. La técnica de apicoformación con  $\text{Ca(OH)}_2$  a largo plazo ha sido un procedimiento clínico muy exitoso, resultando en tasas de éxito en el rango medio del 90%. Sin embargo, a pesar de esta alta tasa de éxito, hay varias desventajas en esta técnica, como: el compromiso del paciente y su seguimiento, múltiples citas por periodos prolongados, solubilización progresiva y la difusión de hidróxido de calcio en los fluidos tisulares debe renovarse periódicamente, impredecibilidad del cierre apical, preocupaciones financieras, estética, susceptibilidad a la microfiltración coronal y riesgo de fracturas radiculares (23,24).

Frank, en 1966, introdujo una técnica en la que los conductos se desbridan y se rellenan con la mezcla de hidróxido de calcio con p-clorofenol alcanforado. La pasta se cambia cada 3 meses hasta que se formara una barrera apical, esto podría tomar hasta 24 meses. Los pasos para seguir son los siguientes (22):

1. Aislamiento absoluto, acceso a la cavidad de acceso adecuado que permita la instrumentación correcta y manipulación del conducto radicular.
2. Cavometría con una lima autolimitante.
3. Instrumentación el conducto radicular, irrigación frecuente y generosa, empleando hipoclorito de sodio hasta eliminar la mayor cantidad de tejido necrótico.
4. Secado del conducto.
5. Introducción de la pasta de hidróxido de calcio, se recubre con un algodón, óxido de zinc y eugenol como material restaurador provisional para las siguientes citas programadas.

El uso de  $\text{Ca(OH)}_2$  proporciona respuestas clínicas, radiográficas e histológicas favorables, que están relacionadas con la participación de iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{OH}$  en varios mecanismos que proporcionan: 1) control de la reacción inflamatoria al formar de puentes de proteína de calcio e inhibición de fosfolipasa; 2) neutralización de productos ácidos de los osteoclastos como hidrolasas ácidas y ácido láctico; 3) la inducción de mineralización al activarse la fosfatasa alcalina y ATPasas dependientes de calcio; 4) inducción de la diferenciación celular; 5) despolimerización de endotoxinas; y 6) acción antibacteriana por medio de daño irreversible al ADN, proteínas, enzimas y lípidos bacterianos (25).

## TAPÓN APICAL

El  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  fue el material de elección para inducir la formación de una barrera apical de tejido duro. A pesar de su eficacia e incluso en presencia de una lesión, este material tiene varias desventajas, por lo que se han propuesto alternativas al  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  para la creación de un tapón apical (12). El material más prometedor es el MTA, este material es un agregado en polvo que contiene óxidos minerales. Sus ventajas son múltiples: reduce el tiempo de tratamiento, posibilita la restauración del OD con un retraso mínimo y evitar la fractura de la raíz, y también evita cambios en las propiedades mecánicas de dentina debido al uso prolongado de hidróxido de calcio. La apicoformación en un solo paso con un tapón apical de MTA puede considerarse un tratamiento predecible y puede ser una alternativa al uso de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (26).

## REVITALIZACIÓN

Los OD inmaduros con necrosis pulpar y periodontitis apical han sido un desafío para el tratamiento endodóntico debido a las delgadas paredes de la raíz y los ápices abiertos. En los últimos años, se ha informado que la endodoncia regenerativa es una alternativa de tratamiento prometedora para estos casos en comparación con el tapón apical (27).

La endodoncia regenerativa se ha definido como los procedimientos de base biológica diseñados para reemplazar las estructuras dañadas, incluidas las estructuras de dentina y raíz, así como las células del complejo dentino-pulpar. El concepto de revitalización del tejido pulpar fue promulgado por los estudios de Nygaard-Ostby, quien evaluó los efectos del sangrado provocados por la sobreinstrumentación de los conductos radiculares. Sus hallazgos establecieron un cambio fundamental en el enfoque de la investigación endodóntica a partir de la década '70 (28). Los principios de la medicina regenerativa se pueden aplicar a la ingeniería de tejidos periapicales. La endodoncia regenerativa comprende la investigación en células madre adultas, factores de crecimiento y materiales de ingeniería de tejidos (29).

Se pueden aplicar dos estrategias para la regeneración pulpar: el trasplante celular y el alojamiento celular. El primer enfoque está basado en células, lo que significa

trasplantar células madre exógenas cargadas en andamios incorporados con moléculas de señalización en el sistema del conducto radicular. Sin embargo, esta presenta obstáculos debido a los procedimientos complejos y los altos costos. El concepto de alojamiento celular es lograr la reparación / regeneración de tejidos mediante la quimiotaxis de las células endógenas del huésped al tejido lesionado a través de moléculas de señalización biológica. Actualmente, esta técnica representa la vía clínicamente más viable para la regeneración de la pulpa dental (27).

En esta estrategia de búsqueda de células, las células madre de la papila apical (SCAP) son una fuente celular potencial para la regeneración de la pulpa. La evidencia indica que los SCAP son una fuente natural para convertirse en odontoblastos primarios y juegan un papel clave para regular el desarrollo de OD inmaduros. Sin embargo, la regeneración pulpar está regulada por reacciones biológicas complejas asociadas con moléculas de señal intrincadas entre las células y la matriz extracelular. Los factores de crecimiento únicos o varios no son compatibles con el complicado proceso biológico. Por lo tanto, una combinación adecuada de andamios y factores de crecimiento es esencial en la estrategia de búsqueda de células (27).

## BIOCERÁMICOS

Los materiales cerámicos han sido utilizados para la reparación y reconstrucción de zonas dañadas del sistema musculoesquelético. Sus aplicaciones incluyen reemplazos para caderas, rodillas, OD, tendones y ligamentos y reparación de enfermedad periodontal, reconstrucción maxilofacial, aumento y estabilización del hueso de la mandíbula, fusión espinal y rellenos óseos después de una cirugía (30).

Los biocerámicos se refieren a biomateriales que se usan en contacto directo con tejidos vivos en el campo médico y dental. Varios tipos de biocerámicos que están disponibles en medicina y odontología, exhiben excelentes propiedades de biocompatibilidad debido a su similitud con la hidroxiapatita biológica y también al proporcionar propiedades antibacterianas. Durante el proceso de hidratación, producen diferentes compuestos como la hidroxiapatita, que posee la capacidad de inducir una respuesta regenerativa en el cuerpo humano. Cuando se pone en contacto con el hueso, la hidroxiapatita mineral tiene un efecto osteoconductor, que estimula la formación de hueso

en la interfaz. Posee una capacidad osteoinductora intrínseca, ya que permite absorber sustancias osteoinductoras si hay un proceso de curación óseo cercano. También forman polvos porosos que contienen nanocristales con diámetros de 1-3 nm, que evitan la adhesión bacteriana. En ocasiones, los iones fluoruro son constituyentes de los cristales de apatita, y el nanomaterial resultante tiene propiedades antibacterianas (31).

Durante los últimos 30 - 40 años ha habido un avance importante en el desarrollo de materiales médicos. Según el tipo de biocerámico utilizado y su interacción con el tejido huésped, se pueden clasificar como bioinerte (alúmina, zirconio), reabsorbibles (fosfato tricálcico), bioactivos (hidroxiapatita, vidrios bioactivos y vitrocerámicas), o poroso para el crecimiento de tejidos (metales recubiertos de hidroxiapatita, alúmina). Los cerámicos bioactivos pueden ser reabsorbibles o no reabsorbibles (32). La bioactividad de los materiales se refiere a su capacidad para crear una capa de hidroxiapatita cuando está en contacto con un fluido tisular rico en calcio y fosfato, esta propiedad permite que el material sea altamente biocompatible, osteoinductivo, osteoconductor y contribuye a su capacidad de sellado (33).

Los biocerámicos se clasifican como: bioinertes (no interactivo con sistemas biológicos); bioactivo (duradero en tejidos que pueden sufrir interacciones interfaciales con el tejido circundante); biodegradable soluble o reabsorbible (reemplaza o se incorpora en los tejidos) (34).

Un material de reparación endodóntico ideal que se coloca permanentemente en el conducto radicular debe ser: biocompatible, radiopaco, antibacteriano, dimensionalmente estable, fácil de manipular, no tóxico, no cancerígeno, no genotóxico e insoluble en fluidos tisulares (35). También es deseable que el material seleccionado induzca o conduzca la deposición ósea, proporcione un buen sellado contra bacterias y fluidos, se fije en un ambiente húmedo y tenga suficiente resistencia a la compresión y dureza. Los biocerámicos son biocompatibles, no tóxicos, no se encogen y generalmente son químicamente estables dentro del entorno biológico. Una ventaja adicional de estos materiales es su capacidad para formar hidroxiapatita y finalmente crear un enlace entre la dentina y el material (36).

El primer material biocerámico con silicato de calcio hidráulico utilizado con éxito en endodoncia fue el Agregado de Trióxido Mineral (MTA), una formulación a base de cemento Portland en la Universidad de Loma Linda, California, fue introducido por Torabinejad a principios de los años 90 y ha sido aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) para ser utilizado en los Estados Unidos en 1997. Fue desarrollado como material de relleno retrógrado y también para el cierre de perforaciones, pero su potencial para nuevas aplicaciones clínicas más tarde se hizo evidente gracias a sus innovadoras propiedades hidráulicas y su capacidad de sellado (31,37).

Varios estudios *in vitro* e *in vivo* han demostrado que el MTA previene la microfiltración, es biocompatible y promueve la regeneración de los tejidos originales cuando se pone en contacto con la pulpa dental o los tejidos periradiculares (38). Se han introducido en el mercado una serie de nuevos cementos endodónticos bioactivos (BEC), incluidos BioAggregate, Biodentine, BioRoot RCS, cemento enriquecido con calcio, Endo-CPM, Endocem, EndoSequence, EndoBinder, EndoSeal MTA, iRoot, MicroMega MTA, MTA Bio, MTA Fillapex, MTA Plus, NeoMTA Plus, OrthoMTA, Quick-Set, RetroMTA, Tech Biosealer y TheraCal LC (37).

Estos materiales tienen dos principales vías de uso: la primera es como selladores utilizados en la obturación del de conducto radicular, para lograr un sellado hermético a todo el conducto, incluidas las irregularidades del foramen y del conducto apical y pequeñas discrepancias entre la pared dentinaria del conducto radicular y el material de obturación (34). La segunda vía es como cementos biocerámicos, en este ámbito podrían utilizarse en las siguientes aplicaciones o situaciones clínicas: como material de obturación retrógrada, para reparar perforaciones laterales del conducto radicular y de furca, para reabsorciones radiculares inflamatorias internas tanto del conducto como de la cámara pulpar, en OD con foramen inmaduro, como recubrimiento pulpar y como cemento durante los procedimientos endodónticos regenerativos (35).

A continuación, se describirán las características, propiedades fisicoquímicas y biológicas más importantes de los materiales biocerámicos más utilizados, sus

aplicaciones clínicas, que se deben tener en consideración al momento de elegir el material biocerámico.

## 1. PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS

### 1.1 Tiempo de fraguado

Es el tiempo que tarda un material en pasar de un estado fluido a un estado endurecido. La presencia de humedad generalmente se requiere para que los materiales biocerámicos se fragüen. Un tiempo de fraguado corto puede ayudar a facilitar un sellado hermético entre el sistema de conducto radicular y el periodonto, mientras que un tiempo de fraguado prolongado puede resultar en dificultades para mantener la consistencia de la mezcla. Se han utilizado varios métodos para evaluar la configuración de los materiales dentales. El principio de ISO 9917, evalúa la resistencia de una aguja que penetra en la superficie del material como un reflejo del tiempo de fraguado (39).

### 1.2 Alta resistencia mecánica

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para resistir la presión dirigida axialmente que genera tensión de compresión como resultado de la fuerza de compresión. Es una propiedad importante, ya que puede afectar el rendimiento clínico del material (40). Se ha informado que la alta resistencia a la compresión de un material de reparación de raíces podría permitirle soportar cargas que causen deformación y contracción. La resistencia a la flexión es otro tipo de resistencia mecánica que se define como la capacidad de un material para resistir la deformación bajo una carga. Cuanto mayor es la resistencia a la flexión del material, menor es el riesgo de fractura en el uso clínico. Los valores de microdureza informados para la dentina natural están en el rango de 60-90 VHN (Número de Dureza Vickers). Sería óptimo si la dureza superficial de un material biocerámico pudiera alcanzar el mismo rango que la dentina (41).

### 1.3 pH alcalino alto y liberación de iones de calcio

En estudios *in vitro* como *in vivo*, el mecanismo de curación de la herida de la pulpa mediante la deposición de apatita mineralizada depende del pH y la capacidad de liberación de iones de calcio. La humedad facilita las reacciones de hidratación de los silicatos de calcio para producir hidrogel de silicato de calcio e hidróxido de calcio, que reaccionan parcialmente con el fosfato para formar hidroxiapatita y agua. Varios estudios

han informado que un pH alcalino alto puede inducir una necrosis limitada de células resorptivas en la superficie de la raíz, por lo tanto, se desea un pH alcalino y la liberación de iones de calcio durante la reacción de fraguado de cualquier material que esté sellado permanentemente en el conducto radicular (42).

#### 1.4 Alta radiopacidad, fluidez moderada, baja porosidad y solubilidad

La radiopacidad es una propiedad física esencial que permite la visualización de los materiales de relleno endodóntico mediante examen radiográfico, para verificar la calidad de la obturación. De acuerdo a recomendaciones ISO 6876/2001, un material ideal de obturación y sellado debe poseer un cierto grado de radiopacidad para ser visible en las radiografías (41).

De acuerdo con las especificaciones ISO 6876/2001, la fluidez se considera una propiedad física importante. Es la capacidad de un cemento para penetrar en las irregularidades y los conductos accesorios. Cuanto mayor es la fluidez, le permite penetrar con mayor facilidad en las irregularidades. La capacidad de fluidez está influenciada por el tamaño de las partículas: cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es el flujo. El flujo es excesivo, aumenta el riesgo de extravasación del material al área periapical, lo que podría dañar los tejidos periodontales y comprometer la cicatrización. Por lo tanto, se prefiere un flujo moderado para que el cemento acceda a las áreas que deben llenarse (43).

La resistencia mecánica de los materiales a base de silicato de calcio depende en parte de su bajo nivel de porosidad. La cantidad de porosidad en el cemento mixto está relacionada con la cantidad de agua agregada para hacer una pasta de cemento, el atrapamiento de burbujas de aire durante el procedimiento de mezcla y el valor de pH ácido ambiental. Cuanto menor es la porosidad, mayor es la resistencia mecánica (43).

La solubilidad es otro factor para evaluar la idoneidad de los materiales utilizados como materiales de restauración en odontología. La falta de solubilidad es una característica deseada para los materiales de relleno del extremo radicular y los materiales utilizados para la reparación de perforaciones (41).

## 2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

### 2.1 Biocompatibilidad

Los materiales utilizados en endodoncia se colocan con frecuencia en contacto íntimo con la pulpa o el periodonto, por lo tanto, deben ser biocompatibles y no causar toxicidad con los tejidos del huésped. Hay diferentes pruebas *in vitro* e *in vivo* para evaluar la biocompatibilidad de los materiales dentales. Pruebas *in vitro*: ensayo de bromuro de 5-difeniltetrazolilo (MTT), citometría de flujo utilizando tinción de viabilidad celular y pruebas de la capacidad de las células para crecer y poblar en la superficie de un material. Pruebas *in vivo*: pruebas de uso en animales experimentales, de acuerdo con protocolos clínicos aceptados, seguidos de un examen histológico (44).

## 2.2 Estimulación de la biomineralización

El recubrimiento de la pulpa, la reparación de perforaciones o el relleno del extremo de la raíz, no solo proporciona un sellado eficaz, sino que también induce la formación de enlaces químicos y la precipitación de apatita en la dentina con el tiempo (42).

La biomineralización facilita la curación en la interfaz material-tejido, lo que resulta en la elevación del pH local, la liberación de iones minerales y la formación de estructuras similares a apatita. Los cristales de apatita crecen dentro de las fibrillas de colágeno, promoviendo la nucleación mineral controlada en la dentina y desencadenando la formación de una capa en la interfaz material-dentina. Un biomaterial ideal utilizado en endodoncia debe estimular y modular el proceso de biomineralización para sellar adecuadamente el margen de un defecto dental, de modo que la barrera recién formada de tejido mineralizado pueda proteger el conducto radicular de bacterias y toxinas (36).

## 2.3 Inducción de la diferenciación de las células pulpares

El objetivo principal en el uso de un material bioactivo para este proceso reparador y curativo es formar una barrera de tejido mineralizado para proteger la pulpa de nuevas filtraciones. El objetivo de los tratamientos como el recubrimiento pulpar directo y la pulpotomía son sellar la herida de la pulpa, inducir la diferenciación de las células similares al odontoblastos y estimular la secreción de dentina para construir un puente de dentina (35). Por lo tanto, para mejorar el resultado clínico, se deben desarrollar nuevos biomateriales que puedan estimular de manera óptima y específica las vías de



diferenciación de odontoblastos. La diferenciación de los odontoblastos se puede identificar por la expresión genética relativa (45).

#### 2.4 Actividad antibacteriana

El tratamiento del conducto radicular reduce la cantidad de microorganismos. Estudios han informado de la persistencia de microorganismos en los túbulos dentinarios, conductos laterales y ramificaciones apicales después de la endodoncia. Por lo tanto, se considera beneficioso si los materiales endodónticos utilizados tengan una actividad antibacteriana duradera. Los ensayos de prueba de difusión en agar (ADT) se han utilizado como una técnica semicuantitativa para evaluar la actividad antibacteriana de diversos materiales dentales. Sin embargo, es problemático comparar los datos de inhibición bacteriana debido a la falta de control de un gran número de variables. El ADT se reemplazó por la prueba de contacto directo (DCT), que se basa en la medición del efecto del contacto directo y cercano entre los microorganismos y el material probado sobre el crecimiento microbiano. DCT refleja mejor el verdadero potencial antimicrobiano de los diversos selladores en entornos estandarizados. Aunque muchos estudios de DCT han encontrado que varios selladores endodónticos son efectivos contra las bacterias de cultivo planctónicas, hasta ahora hay poca evidencia de su efectividad contra los microorganismos en las biopelículas y la dentina infectada. Hasta ahora, hay poca evidencia disponible que demuestre que los materiales biocerámicos utilizados con fines endodónticos pueden matar bacterias en los conductos de dentina infectados. Sin embargo, el modelo estandarizado de infección de la dentina tiene un gran potencial para revelar la actividad antibacteriana de los biocerámicos endodónticos contra la infección dentinaria (36,43).

A continuación, se describen algunos de los cementos biocerámicos más conocidos y utilizados en endodoncia.

#### AGREGADO DE TRIÓXIDO MINERAL (MTA)

Está compuesto por cuatro óxidos principales: cal (CaO) 60–66%, sílice (SiO<sub>2</sub>) 19–25%, alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 3–8% y óxido férrico (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 1–5% y para aumentar la radiopacidad, se le añadió óxido de bismuto. El sulfato de calcio agregado generalmente

es de 3 a 6%. El clínker final es: 55% de silicato tricálcico, 20% de silicato dicálcico, 10% de aluminato tricálcico y 10% de aluminoferrita de tetracalcio (41).

Los usos recomendados: recubrimiento pulpar tanto para OD permanentes como para OD deciduos, pulpotomías, sellado de perforaciones y apicoformación en OD permanentes (35). Desde su introducción a la endodoncia, el MTA ha mostrado un gran éxito clínico debido a su buena capacidad de sellado y biocompatibilidad (35). Entre muchas ventajas de MTA, la principal es que no se ve afectado negativamente por la presencia de agua (46).

Sus ventajas son: menor citotoxicidad en comparación con otros materiales de relleno y su capacidad para inducir la formación de tejido mineralizado. Sin embargo, presentó inconvenientes como: un tiempo de fraguado prolongado de 4 horas, difícil manipulación y un potencial de decoloración dentinaria (47).

## 1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

La hidratación del polvo de MTA da como resultado un gel coloidal que se solidifica en una estructura dura. Las características de la mezcla pueden verse influenciadas por la relación polvo / líquido, el método de mezcla por la cantidad de aire atrapado, la presión utilizada para la condensación, humedad del ambiente, tipo de MTA, el tipo de medio de almacenamiento, el pH valor del medio ambiente, el tipo de vehículo, el período de tiempo entre la mezcla, el grosor del material y la temperatura (43).

El pH en función del MTA después de la mezcla es de 10.2 y aumenta a 12.5 a partir de las 3 horas; desde entonces se mantiene constante. La radiopacidad media del MTA es de 7.17 mm de espesor equivalente de aluminio. El tiempo medio de fraguado MTA es de 2 h 45 min (+/-5 min) (41).

Se prepara mezclando su polvo con agua estéril en una proporción de polvo a líquido de 3: 1 (48). Los autores informaron que la mayoría de las muestras se colocaron después del almacenamiento en solución salina normal, aunque durante un período de tiempo más largo (72 horas). El tiempo de fraguado de MTA y la filtración bacteriana se ven afectados negativamente cuando las muestras se mantienen en condiciones secas.

Varias investigaciones han reportado baja o nula solubilidad del MTA, así como la existencia de mayor solubilidad a largo plazo, señalando que la relación polvo-agua podría influir en la cantidad de solubilidad; por lo tanto, las relaciones más altas de agua a polvo aumentaron la porosidad y solubilidad del MTA. Usar más agua aumentaría la liberación de calcio de la MTA. La adición de óxido de bismuto a MTA, que es insoluble en agua, es otra causa de la insolubilidad de MTA (49).

Camilleri confirmó la reacción del óxido de bismuto con los contenidos de calcio y silicato de MTA (50). La liberación de iones de calcio del MTA es reportada por varias investigaciones revelando un aumento significativo durante las primeras 24 horas. Se ha confirmado que altas cantidades de calcio en un ambiente de cultivo celular podrían disminuir la proliferación celular (37).

Torabinejad y Chivian recomendaron colocar una torunda de algodón húmeda sobre el MTA. Se han demostrado un aumento a la resistencia a la flexión durante las primeras 24 horas. Los autores sugirieron que los gránulos de algodón deberían retirarse después de 24 horas porque la resistencia a la flexión disminuye 72 horas después (38).

La cantidad de porosidad del MTA está relacionada con la cantidad de agua agregada para hacer una pasta de cemento, el atrapamiento de burbujas de aire durante el procedimiento de mezcla o el valor de pH ácido ambiental. La microdureza puede verse influenciada por varios factores, como el valor de pH del medio ambiente, el grosor del material, la presión de condensación, la cantidad de aire atrapado en la mezcla, la humedad, el grabado ácido del material y la temperatura. Los datos actuales muestran que menos humedad, valores bajos de pH, la presencia de un agente quelante y más presión de condensación podrían afectar negativamente la microdureza de MTA (43).

## 2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El MTA es un material biocompatible sin efectos adversos en los tejidos dentales. Se ha reportado poca o ninguna inflamación con MTA cuando se usó como material de relleno del extremo radicular en perros y monos o como agente de pulpa en monos (51). Además, estos estudios identificaron células alineadas a lo largo de la superficie de MTA, lo que respalda que el MTA tiene poca o ninguna citotoxicidad. Balto demostró que los

fibroblastos del ligamento periodontal humano estaban bien unidos y crecían en MTA (52).

MTA tiene la capacidad de promover la formación de tejido duro. Se ha demostrado que el recubrimiento pulpar con MTA induce cambios citológicos y funcionales en las células pulpares, lo que resulta en la formación de fibrodentina y dentina reparadora en la superficie de la pulpa dental expuesta mecánicamente. Torabinejad también demostró que el MTA está cubierto con una capa de cemento cuando se usaba como material de relleno de la raíz (53). Pitt Ford *et al.* informaron la formación continua de tejido duro alrededor del exceso de material de MTA cuando se usó para reparar una perforación (54).

La proliferación celular es esencial para aumentar la formación de hueso, dentina y cemento durante la cicatrización de heridas. Bonson *et al.* informaron sobre la proliferación mejorada de fibroblastos del ligamento periodontal (PDL) en MTA en comparación con otros materiales de relleno del extremo de la raíz (55).

El MTA estimula la proliferación de células de pulpa humana, mientras que un cemento que contiene hidróxido de calcio no tuvo tal efecto. Ellos plantearon la hipótesis de que una de las principales razones de la proliferación celular inducida por MTA podría ser la liberación continua de iones de calcio de MTA. Se informó que elevar el nivel de calcio de 1.2 a 1.8 o 2.5 mM en un medio de cultivo aumenta la tasa de proliferación celular osteoblástica en 1.1 y 1.3 veces, respectivamente (51).

La competencia funcional de una célula se logra mediante la diferenciación, y el proceso de diferenciación celular se caracteriza por la expresión de genes específicos de tejido. Bonson *et al.* demostraron que el MTA aumenta la expresión de los genes de fosfatasa alcalina, osteonectina y osteopontina en fibroblastos PDL. Esto sugiere que la MTA induce la formación de hueso al estimular la diferenciación celular osteogénica (55).

Se ha reportado la existencia un mecanismo más complejo para el papel potencial de MTA en la formación ósea, el MTA aumenta el nivel de expresión de interleucina-6 (IL-6), IL-8 y osteocalcina. La osteocalcina es un marcador óseo específico que apoya el papel de la MTA en la proliferación celular osteogénica. Sin embargo, IL-6 estimula la

formación y el reclutamiento de osteoclastos. Por lo tanto, la MTA puede promover el recambio óseo al aumentar la actividad osteoclástica y osteoblástica (56).

## BIODENTINE

Es un cemento biocerámico que posee los beneficios sin los inconvenientes de otros cementos convencionales. El biodentine contiene silicato tricálcico, carbonato de calcio, óxido de circonio y un cloruro de calcio que contiene líquido a base de agua como acelerador de fraguado. El óxido de circonio es el agente radiopaco que permite la identificación en radiografías. De acuerdo con la norma ISO 6876/2001, Biodentine muestra una radiopacidad mayor de 3 mm de espesor de aluminio, lo que la hace adecuada en las indicaciones endodónticas de reparación de perforaciones. Es un material restaurador de fraguado rápido (alrededor de 10-12 minutos) y se recomienda su uso como un sustituto de dentina que puede usarse como material de restauración coronal, para reparación de perforaciones, y como material de recubrimiento pulpar en contacto directo con la pulpa (57).

Biodentine tuvo el tiempo de fraguado más corto entre los cementos de silicato tricálcico (ProRoot MTA, MTA Angelus, etc.) y se utiliza en endodoncia debido a su diferente cinética de fraguado, que es una mejora para los materiales convencionales de silicato de calcio (36). Se ha informado que el valor de pH del lixiviado de Biodentine es de 11.7 después de 1 día de inmersión en la solución salina equilibrada de Hank y no demuestra ningún cambio significativo durante los próximos 28 días. Como sustituto de la dentina, Biodentine exhibió altas propiedades mecánicas en términos de resistencia a la compresión, resistencia a la expulsión y microdureza (58).

## MTA ANGELUS

MTA Angelus de Brasil (Angelus, Londrina, PR, Brasil) es un cemento a base de MTA. Compuesto de 80% de cemento Portland y 20% de óxido de bismuto, sin adición de sulfato de calcio en un intento de reducir el tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado de MTA Angelus es de aproximadamente 14 minutos (36). Duarte y *et al.* mostraron que posee un valor de pH mayor y liberación de iones de calcio dentro de las 168 horas después

de la mezcla (59). Parirokh y Torabinejad concluyeron que el pH y la liberación de iones de calcio entre MTA y MTA Angelus no fue significativamente diferente (60).

Se ha reportado que la microdureza de MTA Angelus aumentaba con el tiempo de incubación y estaba influenciada por la técnica de mezcla. Éste proporciona el mejor sellado contra la dentina radicular entre todos los materiales probados (61).

En comparación con la MTA, el número de estudios sobre la capacidad antibacteriana de MTA Angelus es bajo. Sipert y *et al.* compararon las propiedades antimicrobianas de MTA Angelus, Sealapex, Fill Canal, cemento Portland y EndoRez en varias especies de microorganismos, incluidos *E. faecalis*, *E. coli*. Los resultados indicaron que tanto el cemento MTA Angelus como el cemento Portland fueron efectivos contra todos los microorganismos, excepto *E. coli* (62).

#### NEOMTA PLUS

NeoMTA Plus es un nuevo material de silicato tricálcico, silicato dicálcico, sulfato de calcio, sílice y óxido de tantalio como agente radiopacificante, en polvo más fino y que se mezcla con un gel a base de agua que imparte buenas propiedades de manejo. La proporción de mezcla de polvo a gel se puede variar y se puede usar una consistencia delgada como sellador ortógrado o una mezcla espesa para el relleno del extremo de la raíz. Sus indicaciones incluyen el uso de este material para terapias pulpares vitales como: recubrimiento pulpar, pulpotomía o revestimiento / base de la cavidad, apexificación, reparación radicular por resorción o perforación, llenado y sellado de los conductos radiculares (63).

A pesar de las ventajas y el éxito clínico que nos brinda el MTA, puede tener sus desafíos y desventajas. Una de las principales desventajas del MTA es la posible decoloración de los OD, difícil manipulación, tiempo de fraguado largo, dificultad de remoción una vez establecido y alto costo del material (47).

El NeoMTA Plus, de la casa comercial Avalon Biomed, que fue desarrollado originalmente para odontólogos pediatras utilizando el nombre de NeoMTA de la casa comercial NuSmile; sin embargo, el uso y comercialización está enfocado para especialistas en Endodoncia. El polvo está compuesto por silicato tricálcico, silicato dicálcico, sulfato de calcio, óxido de tantalio y sílica; y el líquido está compuesto por agua

y polímeros patentados (64). El óxido de tantalio, promueve propiedades fisicoquímicas deseables tales como buena radiopacidad, producción de hidróxido de calcio y no exhibe decoloración en el órgano dentario. Además, tiene aplicaciones en la regeneración tisular con baja citotoxicidad. Estas características lo convierten en un componente ideal para el proceso de reparación endodóntica (65).

El NeoMTA Plus es ideal para las pulpotomías pediátricas, el recubrimiento directo e indirecto de la pulpa, la apicogénesis y la apicoformación. La casa comercial, NuSmile, refiere que el material es fácil de mezclar y aplicar, además, ofrece características de manejo superiores (63).

1. Características fisicoquímicas (63):

1.1. Flujo de 25 a 29 mm cuando se mezcla en una proporción 1:1

1.2. Solubilidad menor al 3%

1.3. Radiopacidad de 5mm de aluminio

1.4. Resistencia a la compresión de 80mPa a partir de 7 días de su colocación

1.5. pH de 12 durante los primeros 3 días y baja a un PH de 7 el cual se mantiene durante 28 días.

1.6. Tiempo de fraguado menor a 10 minutos a una temperatura ambiente (37°C), sin embargo, este tiempo se pudiera extender al aplicar más gel durante la mezcla.

La mezcla debe ser en una losa de vidrio, con una espátula de metal flexible, que permite la rápida incorporación del polvo y el gel a una proporción de 1:1 para apicogénesis o pulpotomías y de 3:1 para tapones apicales. También su empaque es una ventaja, debido a que protege el polvo de la humedad, proporciona resellado eficaz después de la apertura y permite al clínico dispensar sólo lo que se necesita. Esto juega un papel importante en el costo bajo del medicamento por dosis (63,65).

## JUSTIFICACIÓN

Los OD permanentes jóvenes están expuestos a enfermedades bucodentales que pueden dañar el tejido pulpar, las cuales pueden provocar necrosis pulpar, tales como: caries, traumas, tratamientos dentales de restauración. Por lo cual el especialista en endodoncia deberá brindar un tratamiento dental alternativo para la restauración de los OD con ápices inmaduros.

Las dificultades del tratamiento en estas condiciones son elevadas para el operador al tratar de mantener el material de obturación dentro de los límites del conducto. Debido a esta circunstancia se deberá establecer una barrera a nivel apical con materiales biocompatibles o mediante la inducción de formación de un tejido similar al del OD natural; obteniendo mejores resultados en un menor número de citas, tiempo de trabajo para brindar al paciente calidad, innovación y comodidad.

Tradicionalmente estos casos eran tratados mediante la utilización del hidróxido de calcio para la creación de una barrera apical, sin embargo, esto requiere mucho tiempo para lograr la formación de tejido duro. Posteriormente se introdujo al mercado el MTA que permitió la creación de la barrera apical en dos o tres citas. Sin embargo, el MTA presentaba ciertas desventajas como: difícil manipulación, tiempo de espera de fraguado (4 horas) y pigmentación del OD.

Como consecuencia, se innovaron los procedimientos tradicionales en los casos de OD con ápices inmaduros. Se crearon mejoras en los materiales utilizados para estos casos, el tiempo de trabajo, manipulación, eficacia y biocompatibilidad. El NeoMTA Plus es un nuevo material que ofrece reforzar y mejorar las características de los otros MTA y materiales utilizados en los tratamientos de apicoformación y apicogénesis. Aunque existe poca información *in vitro* y pocas investigaciones *in vivo* que lo sustenten, por lo cual es necesario corroborar su éxito a corto y largo plazo.

Con base a lo mencionado anteriormente, se establece la necesidad de estudiar e investigar la eficacia del biocerámico NeoMTA Plus, con la finalidad de obtener mejores



resultados en un menor tiempo de trabajo y citas, brindando comodidad, estabilidad e innovación al paciente de acuerdo a su tiempo y necesidades.

## OBJETIVO

### OBJETIVO GENERAL

Demostrar la eficacia del NeoMTA Plus en órganos dentarios necróticos con foramen inmaduro.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar radiográficamente la evolución / remisión de la lesión perirradicular en órganos dentarios necróticos con foramen inmaduro con la colocación de NeoMTA Plus como tapón apical.
2. Evaluar radiográficamente la evolución / remisión de la lesión perirradicular en órganos dentarios necróticos con foramen inmaduro con la colocación de NeoMTA Plus como material para la revitalización.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### DISEÑO DEL ESTUDIO

Observacional, descriptivo, longitudinal y prospectivo

### VARIABLES

Variable	Tipo de variable	Indicador	Escala de medición	Objetivo a cumplir	Análisis estadístico
Etapa de formación radicular	Dependiente	Grado de desarrollo radicular según Patterson	Cualitativa Ordinal	1 y 2	Estadística descriptiva
Criterio clínico	Independiente	Éxito o fracaso clínico según Strindberg	Cualitativa Ordinal	1 y 2	Estadística descriptiva
Criterio radiográfico	Independiente	Éxito o fracaso radiográfico según Orstavik (PAI)	Cualitativa Ordinal	1 y 2	Estadística descriptiva

### POBLACIÓN DEL ESTUDIO

#### 1. Universo

Pacientes que acudieron a la Clínica de Posgrado de Endodoncia de la FOUADY en el periodo enero 2017 – febrero 2020.

2. Tamaño de la muestra.

Pacientes que presentaron un OD con NP y ápices con grado I, II, III y IV de Patterson en el periodo enero 2017 – febrero 2020.

3. Criterios de inclusión.

3.1 Pacientes que aceptaron participar en el estudio mediante la firma del consentimiento informado por el tutor.

3.2 Pacientes que aceptaron participar en el estudio mediante la firma del asentimiento informado.

3.3 Pacientes que presentaron un OD con NP y ápices con grado III y IV de Patterson para colocación de tapón apical con NeoMTA Plus.

3.4 Pacientes que presentaron un OD con NP y ápices con grado I, II, III de Patterson para revitalización con NeoMTA Plus.

4. Criterios de exclusión.

4.1 OD que no se pudieron reconstruir por caries.

4.2 OD que estuvieron periodontalmente comprometidos

4.3 Pacientes que estén sistémicamente comprometidos

5. Criterios de eliminación.

5.1 Pacientes que no acudieron a sus controles.

5.2 Pacientes que después de 3 meses no tuvieron un sellado coronal adecuado.

5.3 Pacientes cuya conducta complique la realización del tratamiento.

## METODOLOGÍA

Todos los pacientes que acudieron al posgrado de la Facultad de Odontología de la FOUADY fueron invitados a participar en la investigación, previa carta de consentimiento informado (Anexo 1) firmada, en caso que el participante fuera menor de edad debía ser firmado por el padre o tutor, explicándose el objetivo del tratamiento con base en el examen radiográfico y clínico. Previa anamnesis se detectaron los OD permanentes con foramen inmaduro que pertenecieron al grado I, II y III de Patterson para revitalización y los de grado III y IV para tapón apical. El registro de datos incluyó: nombre, edad, sexo, motivo de consulta, antecedentes médicos, diagnóstico pulpar y periapical y plan de tratamiento. Se tomaron radiografías periapicales preoperatorias, se estableció el diagnóstico y el plan de tratamiento con base en la clasificación de Patterson, de los cuales se registró su evolución con las escalas de medición correspondientes para el desarrollo de esta investigación (Anexo 2).

### PROTOCOLO PARA LA COLOCACIÓN DE TAPÓN APICAL CON NEOMTA PLUS:

En la primera cita se utilizó anestesia lidocaína al 2% y epinefrina 1:100:000, protocolo de aislamiento absoluto y se realizó la apertura cameral. Se localizaron los conductos, se estableció la cavometría. Se siguió el protocolo de irrigación con hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5.25%, ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 17% y solución salina. Se colocó hidróxido de calcio (Ca[OH]<sub>2</sub>) dentro de los conductos, se selló con óxido de zinc y eugenol.

Durante la segunda cita, a los 15 días, se repitió el protocolo de anestesia y aislamiento al paciente, se retiró el Ca[OH]<sub>2</sub>, se realizó protocolo de irrigación con hipoclorito de sodio al 5.25% activado con ultrasonido, EDTA 17% y solución salina, se rectificó cavometría, se secó el conducto con puntas de papel, se colocó una esponja de colágeno reabsorbible a partir de 1mm del foramen apical, compactándolo y se posteriormente se colocó mezcla de NeoMTA Plus de 3 a 5 mm a partir del tercio apical. Minutos después se verificó radiográficamente la longitud y completo fraguado del material. Finalmente, se procedió a obturar el conducto con gutapercha mediante condensación lateral o vertical y una restauración provisional de óxido de zinc y eugenol.

Se indicó al paciente el tiempo estimado para el sellado coronal, el cual no debe ser mayor a 30 días una vez finalizado el tratamiento endodóntico.

Se realizaron citas de control al primer, tercer, sexto, doceavo y más de veinticuatro meses para valoración clínica y radiográfica.

#### PROTOCOLO PARA LA REVITALIZACIÓN CON NEOMTA PLUS:

En la primera cita se utilizó anestesia lidocaína al 2% y epinefrina 1:100:000 y bajo protocolo de aislamiento absoluto se realizó apertura cameral, se localizaron los conductos y realizó cavometría. Se siguió el protocolo de irrigación con NaOCl al 5.25%, EDTA al 17% y solución salina. Posteriormente se colocó pasta triple antibiótica (metronidazol, ciprofloxacina y clindamicina) dentro de los conductos, se selló con óxido de zinc y eugenol.

Durante la segunda cita, a los 15 días, se utilizó anestesia mepivacaina al 3% sin vasoconstrictor repitiéndose el protocolo aislamiento al paciente, se retiró la pasta triple antibiótica, realizando nuevamente el protocolo de irrigación con NaOCl al 5.25% activado con ultrasonido, EDTA 17% y solución salina, se rectificó la cavometría, se secó el conducto con puntas de papel. Se indujo el sangrado con una lima precurvada y una vez formado el coágulo a nivel cervical se colocó mezcla de NeoMTA Plus en la entrada del conducto radicular. Finalmente, se procedió a colocar una restauración con ionómero de vidrio o resina. Se indicó al paciente el tiempo estimado para el sellado coronal, el cual no debe ser mayor a 30 días una vez finalizado el tratamiento endodóntico.

Se realizaron citas de control al primer, tercer, sexto, doceavo y más de veinticuatro meses para valoración clínica y radiográfica hasta obtener el cierre apical y poder finalizar el tratamiento endodóntico.

La evaluación de los hallazgos clínicos y radiográficos obtenidos se basaron en los criterios de Strindberg (Tabla 1) y el índice periapical de Orstavik (PAI) (Tabla 2).

Tabla 1. Criterios clínicos y radiográficos propuestos por Strindberg

RESULTADO	CLÍNICA	RADIOGRAFÍA
Éxito (normal)	Ausencia síntomas	Espacio periodontal con anchura y contorno normales, ensanchado principalmente alrededor de excesos de obturación del conducto (sobreobturación). Lámina dura intacta.
Fracaso (Patológico)	Presencia de síntomas clínicos	Lámina dura rota o pobremente definida. No se observa reducción de la rarefacción perirradicular o es muy pequeña. Existe reducción de la rarefacción perirradicular, pero no resolución. Aparición de una rarefacción nueva o un aumento del tamaño inicial de la misma.
Dudoso	Presencia de síntomas clínicos	Radiografía ambigua o técnicamente deficiente, que no permite evaluar con certeza. Los dientes se extrajeron antes de la evaluación por motivos ajenos al tratamiento endodóntico. Rarefacción perirradicular menor a 1mm.

(66)

Tabla 2. Índice periapical (PAI)

1	Estructuras periapicales normales
2	Leves cambios en la estructura ósea
3	Cambios en la estructura ósea y alguna pérdida mineral
4	Periodontitis apical con área radiolúcida bien definida
5	Periodontitis apical severa con signos de exacerbación.

(67)



Figura 2. Índice Periapical (PAI) propuesto por Orstavik

#### ASPECTO ÉTICO

El presente estudio garantizó la obtención de datos previo consentimiento informado del padre o tutor del paciente garantizándoles confidencialidad, así como trato respetuoso y tratamiento realizado mediante los lineamientos establecidos procurando y teniendo como objetivo primordial la salud del paciente de acuerdo las pautas éticas internacionales para la investigación biomédica en seres humanos propuesta por el Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS) desde 1982 y aplica la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial en su versión adoptada en la LII Asamblea General de Edimburgo del año 2000, Nota de aclaración en párrafo 29 añadido por la Asamblea Médica Mundial, Washington 2002, nota de aclaración del párrafo 30, añadido por la Asamblea Médica, Tokio 2004.



## RESULTADOS

Fueron un total de 1548 de pacientes que acudieron a la Clínica del Posgrado en Endodoncia en el periodo comprendido de enero de 2017 a febrero 2020. De los pacientes recibidos, 115 OD fueron diagnosticados con ápice abierto o foramen inmaduro; 46 presentaron pulpa vital y 69 pulpa necrótica (Figura 3). De los pacientes que presentaron pulpa vital y se les realizó apicogénesis no fueron considerados para el presente estudio. Los pacientes que presentaron pulpa necrótica de acuerdo a los criterios mencionados en la metodología, se dividieron en tapón apical y en revitalización; de los cuales a 44 se les realizó tratamiento de tapón apical y a 25 revitalización.

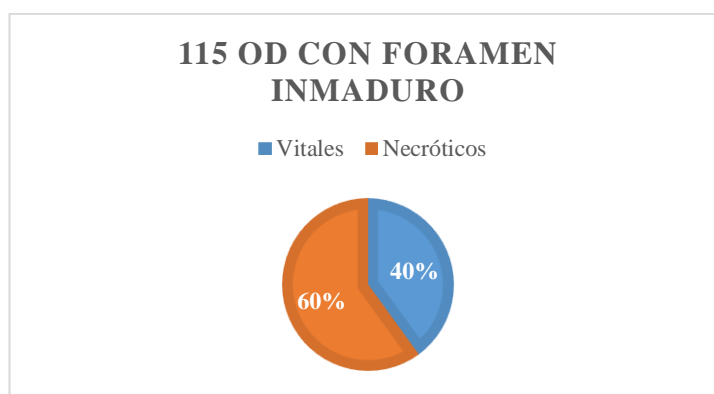


Figura 3. Prevalencia de OD con foramen inmaduro

Con relación a los casos que se les realizó tapón apical: a 2 se les colocó MTA, a 3 Biodentine y a 39 NeoMTA Plus (Figura 4).

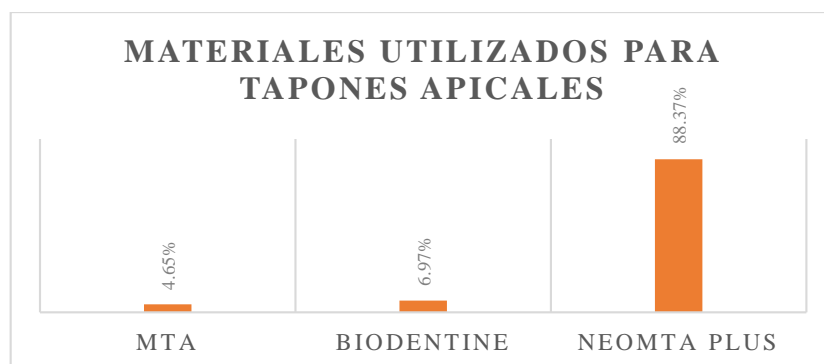


Figura 4. Prevalencia de materiales utilizados para tapones apicales

De los casos considerados para la colocación de tapón apical con NeoMTA Plus 17 casos fueron eliminados debido a que 4 de los casos no se rehabilitaron en el tiempo propuesto, 12 no acudieron a sus citas de control y 2 se extrajeron los OD por motivos desconocidos. Por lo cual únicamente 21 casos se encuentran dentro de los controles.

Tabla 3. Casos que recibieron tratamiento de tapón apical

# de paciente	Edad	Sexo	OD	Diagnóstico pulpar	Diagnóstico periapical	Clasificación de Patterson inicial	Índice periapical (PAI) inicial	Factor etiológico
1	13	F	1.2	NP	AAA	4	3	Trauma
2	8	M	2.1	NP	PAS	4	3	Caries
3	13	F	3.7	NP	PAA	4	5	Caries
4	9	F	4.6	NP	PAA	3	5	Caries
5	19	F	1.1	NP	PAA	4	5	Trauma
6	8	M	3.6	NP	PAA	3	4	Caries
7	8	M	4.6	NP	PAA	4	4	Caries
8	11	M	2.6	NP	PAA	3	3	Caries
9	10	M	2.1	NP	PAA	4	3	Trauma
10	16	M	2.1	NP	AAA	4	3	Trauma
11	7	F	1.6	NP	AAA	4	3	Caries
12	11	F	4.6	NP	AAA	3	3	Caries
13	35	M	2.1	NP	AAA	3	5	Trauma
14	10	M	2.6	NP	PAS	3	3	Caries
15	9	F	4.6	NP	PAS	3	4	Caries
16	10	F	4.6	NP	PAS	3	3	Caries
17	7	M	3.6	NP	PAS	3	3	Caries
18	9	M	3.6	NP	PAS	4	2	Caries
19	9	F	1.6	NP	PAA	4	3	Caries
20	9	F	2.6	NP	AAA	3	3	Caries
21	9	F	1.6	NP	AAA	3	3	Caries

Los 21 OD tratados se encontraban en los grados III y IV de Patterson. La causa principal para la colocación de tapones apicales de dichos OD fue necrosis pulpar, su diagnóstico periapical se toma en cuenta en esta investigación teniendo que 6 casos (28.57%) presentaban periodontitis apical sintomática, 8 casos (38.09%) presentaban periodontitis apical asintomática y 7 casos (33.33%) absceso apical agudo. Debido a que

la muestra es reducida, las edades de los pacientes varían: dos de 7 años (9.52%), tres de 8 años (38.09%), seis de 9 años (28.57%), tres de 10 años (14.28%), dos de 11 años (9.52%), dos de 13 años (9.52%), uno de 16 años (4.76%), uno de 19 años (4.76%) y uno de 35 años (4.76%). Once (52.38%) de los pacientes tratados fueron del sexo femenino y diez (57.61%) del sexo masculino. La caries fue el factor etiológico de 16 OD (76.19%) y en 5 OD (23.80%) fue por traumatismo (Tabla 3).

Tabla 4. Resultados de controles clínicos y radiográficos de tapones apicales

# de paciente	Inicial		Control 1 mes		Control 3 meses		Control 6 meses		Control +12 meses	
	PAI	PAI	Strindberg clínico	PAI	Strindberg clínico	PAI	Strindberg clínico	PAI	Strindberg clínico	
1	3	3	Éxito	3	Éxito	2	Éxito	1	Éxito	
2	3	3	Éxito	2	Éxito	2	Éxito	1	Éxito	
3	5	5	Éxito	4	Éxito	2	Éxito	2	Éxito	
4	5	5	Éxito	4	Éxito	3	Éxito	2	Éxito	
5	5	5	Éxito	4	Éxito	4	Éxito	3	Éxito	
6	4	4	Éxito	3	Éxito	2	Éxito	2	Éxito	
7	4	4	Éxito	3	Éxito	2	Éxito	2	Éxito	
8	3	3	Éxito	2	Éxito	2	Éxito			
9	3	3	Éxito	2	Éxito	2	Éxito			
10	3	3	Éxito	3	Éxito	2	Éxito			
11	3	3	Éxito	2	Éxito					
12	3	3	Éxito	2	Éxito					
13	5	5	Éxito	5	Éxito					
14	3	3	Éxito							
15	4	4	Éxito							
16	3	3	Éxito							
17	3	3	Éxito							
18	2	2	Éxito							
19	3	2	Éxito							
20	3	3	Éxito							
21	3	3	Éxito							

De los casos con tapón apical únicamente 2 tuvieron seguimiento de control a los 30 meses, considerando los criterios de Strindberg se clasificaron como éxito.

De los 21 controles, la cicatrización de la lesión se observó radiográficamente a partir del sexto mes en el 50% de estos casos (Tabla 4).

Con relación a los casos que se les realizó revitalización, a 14 se les colocó MTA Angelus y a 11 NeoMTA Plus (Figura 5).

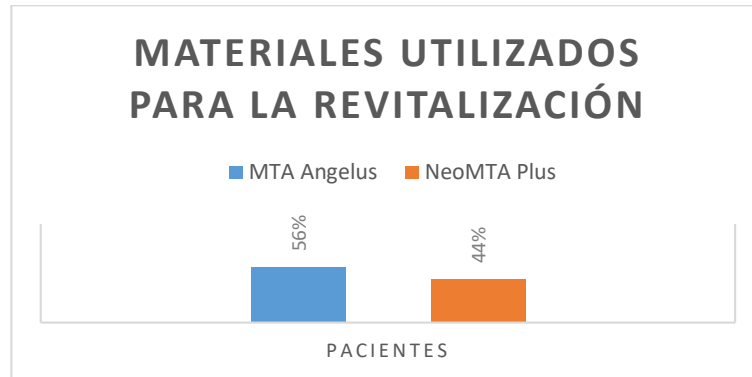


Figura 5. Prevalencia de materiales utilizados para las revitalizaciones

De los 25 casos planeados para la revitalización, 11 fueron realizados con biomaterial NeoMTA Plus, de los cuales 3 casos fueron eliminados debido a que uno no se rehabilitó en el tiempo propuesto y 2 no acudieron a sus citas de control. Por lo que se cuenta únicamente con el seguimiento de 6 casos.

Tabla 5. Casos que recibieron tratamiento de revitalización

# de paciente	Edad	Sexo	OD	Diagnóstico pulpar	Diagnóstico periapical	Clasificación de Patterson inicial	Índice periapical (PAI) inicial	Factor etiológico
1	8	F	3.6	NP	PAA	3	4	Caries
2	8	M	4.6	NP	PAA	3	4	Caries
3	9	F	2.6	NP	PAS	2	2	Caries
4	7	F	1.6	NP	AAA	2	2	Caries
5	9	F	1.6	NP	PAS	3	2	Caries
6	6	M	2.1	NP	PAS	1	3	Trauma

Los 6 OD tratados se encontraban en el grado I, II y III de Patterson. La causa principal para el tratamiento de revitalización de dichos OD fue necrosis pulpar, su diagnóstico periapical se toma en cuenta en esta investigación teniendo que tres

presentaron periodontitis apical sintomática (50%), 2 presentaron periodontitis apical asintomática (33.3%) y 1 absceso apical agudo (16.7%). Debido a que la muestra es reducida, las edades de los pacientes varían: uno de 6 años (16.7%), uno de 7 años (16.7%), dos de 8 años (33.3%) y dos de 9 años (33.3%). Cuatro de los pacientes tratados fueron del sexo femenino (66.7%) y dos del sexo masculino (33.3%). La caries fue el factor etiológico de 5 OD (83.3%) y en 1 por traumatismo (16.7%) (Tabla 5).

Tabla 6. Resultados de controles clínicos y radiográficos de revitalizaciones

# de paciente	Control 1 mes			Control 3 meses			Control 6 meses			Control +12 meses		
	P AI	Patters on	Strindb erg	P AI	Patters on	Strindb erg	P AI	Patters on	Strindb erg	P AI	Patters on	Strindb erg
<b>1</b>	4	2	Éxito	3	3	Éxito	2	4	Éxito	2	5	Éxito
<b>2</b>	4	2	Éxito	3	3	Éxito	2	4	Éxito	2	5	Éxito
<b>3</b>	2	3	Éxito	2	3	Éxito	1	4	Éxito	1	5	Éxito
<b>4</b>	2	2	Éxito	2	2	Éxito						
<b>5</b>	2	2	Éxito	2	2	Éxito						
<b>6</b>	2	2	Éxito									

De los órganos dentarios con tratamiento de revitalización, tres casos tuvieron 12 meses de seguimiento y con base en la clasificación de Patterson se observó el desarrollo y engrosamiento radicular, lo que permitió finalizar el tratamiento de endodoncia. Según los criterios de Strindberg, el total de esta muestra se considera como éxito y de acuerdo con el PAI, el 50% presentaron cicatrización de la lesión. Todos los casos continuarán en control (Tabla 6).

## DISCUSIÓN

El tratamiento endodóntico convencional siempre se ha indicado como la estrategia terapéutica recomendada para OD permanentes maduros con pulpa irreversiblemente dañada con una alta tasa de éxito. Sin embargo, ha sido difícil abordar a los OD inmaduros debido a que cesa el desarrollo de la raíz y a la ausencia de la constricción apical. Esto puede conducir a la extrusión de la gutapercha, y las paredes de la dentina pueden volverse aún más frágiles durante la conformación del conducto radicular (68).

El tratamiento de conductos presenta un desafío importante, debido al tamaño del conducto, las paredes de dentina delgadas y frágiles y el ápice abierto. Esto crea problemas clínicos relacionados con la desinfección y, en consecuencia, afectará el resultado del tratamiento a largo plazo. El abordaje adecuado para estos casos es mediante la apicoformación. El hidróxido de calcio se ha utilizado tradicionalmente como medicamento intraconducto en los procedimientos de apicoformación, con un éxito considerable en la preservación de los OD inmaduros dañados (18). Sin embargo, requiere recambios de hidróxido de calcio a lo largo del plazo (cada 3 meses) en el conducto radicular para inducir la formación de un tejido duro y la barrera apical, el seguimiento de los pacientes a lo largo del tiempo, las paredes dentinarias delgadas en la región cervical, cambios en la estructura de la dentina por periodos prolongados de exposición reducen su capacidad a la resistencia a fracturas en la región cervical (69).

Otro tratamiento alternativo para los OD necróticos con foramen inmaduro es la revascularización, se debe considerar como una opción de tratamiento valiosa, efectiva y reproducible en la clínica. Según estudios esta técnica demostró un notable aumento en la longitud de la raíz, el ancho, el cierre apical y con una menor vulnerabilidad a la fractura en los casos que se informaron. Esta técnica, independientemente de la metodología individual, puede aumentar el desarrollo de la raíz en casos seleccionados correctamente (7).

Existe poca literatura con respecto a estos tratamientos, y hay varios protocolos para la intervención a estos OD, a pesar de esto, se han informado buenos resultados clínicos

y radiográficos, y las conclusiones extraídas en los artículos revisados, los autores subrayan las ventajas de este tratamiento sobre la apicoformación. Sin embargo, para tener una mejor idea de la tasa de éxito real de este tratamiento, los especialistas en endodoncia requerirán más estudios controlados, la estandarización de los métodos para la producción y análisis de imágenes radiográficas durante las visitas de seguimiento y el establecimiento de la información mínima requerida para cada caso. Además, se requieren más casos a largo plazo para evaluar su efecto sobre la supervivencia del OD, si corresponde.

El odontólogo deberá tomar la decisión sobre cual régimen de tratamiento se ofrecerá a los pacientes, las cuestiones centrales que deben considerarse son cuál tratamiento hace más bien que mal, tiempo de duración y el costo de cada uno.

Los biocerámicos han evolucionado para convertirse en un segmento integral y vital en el área de salud. Su potencial apenas comienza a ser reconocido. Actualmente se siguen implementando la composición, la microestructura y la química de la superficie molecular de varios tipos de biocerámicos, con el fin de que se adapten a los requisitos biológicos y metabólicos específicos de los tejidos o estados patológicos. Sin embargo, en la actualidad existe una necesidad crítica de métodos de prueba estándar para determinar el rendimiento a largo plazo de los biocerámicos bajo cargas fisiológicas realistas (30).

Se han introducido demasiados biomateriales en el uso clínico sin pruebas clínicas *in vivo* o pruebas de predicción a largo plazo. También es importante establecer la estandarización de los métodos de uso, las implicaciones clínicas a corto y largo plazo. Sin embargo, es nuestra responsabilidad asegurar que se pruebe la confiabilidad a largo plazo de los biocerámicos antes de ampliar el uso clínico (30).

El primer biocerámico introducido en odontología fue el MTA, se han discutido las propiedades físicas, la capacidad de sellado, la biocompatibilidad y el rendimiento clínico. Éste material parece no solo demostrar un comportamiento biocompatible aceptable, sino que también exhiben un rendimiento biológico *in vivo* aceptable cuando se usan para la apexificación, reparaciones de perforación, recubrimiento pulpar y pulpotomía; y tratamiento de revitalización (70). Sin embargo, el largo tiempo de fraguado, la

decoloración de los OD, el alto costo y las características de manejo difíciles han surgido como posibles inconvenientes (60).

En 1999, Torabinejad recomendó el uso del MTA como barrera apical artificial. Desde entonces se ha convertido en el material de elección en los procedimientos de apicoformación. Sus ventajas son el tiempo de tratamiento más corto, es más predecible, el éxito clínico de este tratamiento ha sido reportado por muchos estudios, previene la microfiltración, menor citotoxicidad en comparación con otros materiales de relleno y su capacidad para inducir la formación de tejido mineralizado, es biocompatible y promueve la regeneración de los tejidos originales cuando se pone en contacto con la pulpa dental o los tejidos perradiculares (38).

Los resultados de varios estudios demuestran que los tapones de MTA son efectivos en el tratamiento de OD permanentes inmaduros necróticos. Las ventajas de la apicoformación que usa un tapón MTA son un tiempo de tratamiento reducido y una formación de barrera más predecible. La desventaja, similar a la terapia de hidróxido de calcio, es que la colocación de un tapón apical no explica el desarrollo continuo de la raíz a lo largo de toda la raíz (18).

Sin embargo, a pesar de las propiedades favorables de los productos de MTA que respaldan su uso clínico, estos tuvieron inconvenientes, como un tiempo de fraguado prolongado de 4 horas, difícil manipulación, presenta un potencial de decoloración dentinaria y su alto costo (47).

A pesar de que el MTA es el pionero de los biocerámicos que llegó a revolucionar y mejorar considerablemente la calidad y obtención de resultados, ciertas características deficientes lo han descartado como el material de elección y en su lugar, se ha visto sustituido por nuevos biocerámicos como el Biodentine. Es considerado un material biocerámico de segunda generación que tiene propiedades similares al del MTA y; por lo tanto, se puede utilizar para todas las aplicaciones mencionadas anteriormente para el MTA. Sus ventajas sobre el MTA son que tiene un tiempo de fraguado más corto (10-12 minutos) y tiene una resistencia a la compresión similar a la dentina. Sin embargo, presenta una desventaja importante, que se tritura durante 30 segundos en una cantidad



preestablecida (cápsula), lo que hace que el desperdicio sea inevitable en la gran mayoría de los casos, ya que sólo se requiere una pequeña cantidad (34).

Hay estudios donde se compararon el MTA con el Biodentine y se demostró que ambos materiales son excelentes selladores y osteoformadores. Daltoé *et al.* demostraron que no existen diferencias significativas en la viabilidad celular para estimular mineralización de la barrera dentinaria entre ambos materiales (57).

Para superar los inconvenientes del MTA, se han desarrollado una nueva gama de cementos endodónticos bioactivos; y los fabricantes afirman que tienen características similares al MTA, pero sin sus defectos. Con la salida del NeoMTA Plus que modifica estas propiedades, se decidió utilizarlo en este estudio comprobando dichas mejoras a largo plazo.

El NeoMTA Plus, presenta las ventajas de la bioactividad, la liberación de iones de calcio, la electroconductividad, la producción de hidróxido de calcio, la formación de una capa interfacial entre el cemento y la pared dentinaria y la formación de cristales de apatita sobre la superficie del material en un entorno de fluido tisular sintético, como solución salina tamponada con fosfato (70).

Su pH y la liberación de iones de los extractos también se han evaluado debido a la posible diferencia en la respuesta celular durante la interacción celular con extractos en comparación con el material de la superficie. Cuando los cementos a base de silicato tricálcico estaban en contacto con los fluidos de los tejidos, producían hidrato de silicato de calcio e hidróxido de calcio (64).

Los componentes principales del MTA son el silicato tricálcico, el aluminato tricálcico, el óxido tricálcico, el óxido de silicato y el óxido de bismuto. La principal diferencia con el NeoMTA Plus, es que no contienen bismuto y si contiene una cantidad significativa de pentóxido de tantalio en lugar de óxido de bismuto. El tantalio se ha utilizado en suturas, placas y membranas en ortopedia debido a su inercia y no afecta la biocompatibilidad de estos cementos. También promueve propiedades fisicoquímicas adecuadas, como la radiopacidad adecuada y la producción de hidróxido de calcio (64). Además, la presencia de óxido de tantalio en los cementos tricálcicos promovió la

producción de los minerales mineralizados necesarios en el proceso de reparación de la pulpa (65).

Se ha demostrado de la liberación continua de iones de calcio durante 28 días, esto es un factor clave para promover la regeneración del tejido endodóntico y periodontal que mejorará la bioactividad y la biocompatibilidad del material (71).

Se obtuvieron resultados favorables, considerando como éxito todos los casos con los que se trabajó con el NeoMTA Plus ya que se pudo valorar un proceso de cicatrización o la cicatrización completa, la formación radicular tanto en longitud como en grosor, así como ausencia de signos y síntomas de los OD tratados de acuerdo con los criterios de Strindberg y el índice periapical. Dicho resultado es similar con un estudio realizado en 2016 por Monsreal *et al.* en donde se utilizó el Biodentine para tratamiento de tapones apicales y los resultados fueron favorables (55). Con base en el estudio de Camilleri *et al.* en 2015 se concluye que el NeoMTA Plus y el Biodentine son alternativas adecuadas al MTA (64).

El éxito observado debido a la cicatrización y curación, se puede atribuir a lo que Tomás-Catala *et al.* reportan en su estudio, que dicho biocerámico promueve respuestas biológicas adecuadas de las células madre de la pulpa dental en términos de proliferación, migración y adherencia, así como también el NeoMTA Plus tiene la capacidad de formar una capa de fosfato de calcio lo que ayuda a incrementar su estabilidad dentro del conducto radicular (72).

La radiopacidad radiográfica observada fue buena, atribuyendo esta característica al tantalio, componente que mejora la radiopacidad y que provee resultados positivos, para una mejor valoración radiográfica Tanomaru-Filho *et al.* (65).

Este es el primer estudio *in vivo* con controles de hasta 3 años que utiliza el NeoMTA Plus para procedimientos clínicos de tapón apical y revitalización. En este estudio se confirma el rápido tiempo de fraguado ya que de acuerdo con la guía de uso del fabricante Avalon Biomed, es de un tiempo menor a los 10 minutos; y durante la aplicación clínica fue ese tiempo aproximado que se tuvo antes de obturar el resto del conducto radicular. Torabinejad *et al.* en 2018 hicieron referencia a que el tiempo de fraguado puede aumentar

si se aumenta la proporción del gel si lo que se quisiera fuera aumentar el tiempo de la mezcla (60). Con base en el estudio de Siboni *et al.* y las guías de uso del fabricante Avalon Biomed éste está compuesto de polvo y gel con una manipulación de la mezcla sencilla, fácil y rápida, lo cual se comprueba en este estudio ya que la consistencia obtenida similar a una masilla que permitió que su manipulación faciliten el uso y la colocación del tapón apical o como una base en la revitalización (71).

## CONCLUSIÓN

La viabilidad del estudio está relacionada con la disponibilidad de los recursos materiales, económicos, tiempo y de información. Las limitaciones que se presentaron en la investigación fueron: la escasa bibliografía con respecto al material utilizado, la falta de un protocolo para la realización de la revitalización, el manejo de conducta de los pacientes pediátricos, factores económicos y de tiempo de los padres o tutores para los controles y seguimientos de los pacientes.

El NeoMTA Plus es un nuevo cemento a base de silicato de calcio con diversos usos en la endodoncia. Uno de sus principales usos es el relleno de raíces con una radiopacidad adecuada y un tiempo de fraguado prolongado. La liberación de iones y la capacidad de formación de cristales de calcio podrían aumentar la estabilidad del relleno de la raíz y promover la regeneración del tejido similar al pulpar y periodontal, mejorando la bioactividad y la biocompatibilidad de otros materiales usados actualmente.

De acuerdo con los resultados de este estudio podemos concluir que el NeoMTA Plus es un biocerámico eficaz como tapón apical y para la revitalización, ya que se obtuvo 100% de éxito en órganos dentarios con formación radicular incompleta con buenos resultados clínicos y radiográficos. También, presenta las ventajas de un tiempo de fraguado menor, fácil manipulación y un costo-beneficio mayor. Por tanto, el NeoMTA Plus se puede considerar como un material de elección para la colocación de tapones apicales en OD necróticos con foramen inmaduro.

Este es el primer estudio *in vivo* con controles de hasta 3 años que utiliza el NeoMTA Plus para procedimientos clínicos de tapón apical y revitalización. Con base en los objetivos específicos se observó mediante una evaluación radiográfica la evolución / remisión de las lesiones perirradiculares en los tratamientos de tapón apical y en la revitalización; así como también se logró observar mediante una evaluación radiográfica el engrosamiento de las paredes y los cambios longitudinales radiculares de los OD.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gómez de Ferraris ME, Campos Muñoz A. Histología y embiología bucodental. 2nd ed. Madrid: Panamericana; 2002. 83–105 p.
2. Torabinejad M, Walton RE. Endodontics principles and practice. 5th ed. España: ELSEVIER; 2014. 1–6 p.
3. Hargreaves KM, Berman LH. Pathways of the pulp. 11th ed. Hargreaves KM, Berman LH, editors. St. Louis, Missouri: ELSEVIER; 2016. 1143 p.
4. Yu C, Abbott P V. An overview of the dental pulp: its functions and responses to injury. Aust Dent J. 2007;52(1):S4–16.
5. Ricucci D, Siqueira JF, Loghin S, Lin LM. Pulp and apical tissue response to deep caries in immature teeth: A histologic and histobacteriologic study. J Dent. 2017;56:19–32.
6. Moccelini BS, de Alencar NA, Bolan M, Magno MB, Maia L, Cardoso M. Pulp necrosis and crown discoloration: a systematic review and meta-analysis. Int J Paediatr Dent. 2018;28:432–42.
7. Chen Y-P, Jovani-Sancho M del M, Sheth CC. Is revascularization of immature permanent teeth an effective and reproducible technique? Dent Traumatol. 2015;31(6):429–36.
8. Shabahang S. Treatment Options: Apexogenesis and Apexification. J Endod. 2013;39(3):S26–9.
9. Flanagan TA. What can cause the pulps of immature , permanent teeth with open apices to become necrotic and what treatment options are available for these teeth. Aust Endod J. 2014;40(3):95–100.
10. Plascencia H, Díaz M, Gascón G, Garduño S, Guerrero-bobadilla C, Márquez S, et al. Management of permanent teeth with necrotic pulps and open apices according to the stage of root development. J Clin Exp Dent. 2017;9(11):1329–39.

11. Hoyos Pinzón R, Rodríguez Casanova B, Angulo Cortés H. Apicoformación con hidróxido de calcio en un órgano dental con necrosis pulpar y ápice abierto. Reporte de un caso. *Rev Odontológica Latinoam.* 2018;10(2):57–62.
12. Felipe WT, Felipe MCS, Rocha MJC. The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J.* 2006;39(1):2–9.
13. Lauridsen E, Hermann N V., Gerds TA, Ahrensburg SS, Kreiborg S, Andreasen JO. Combination injuries 3. The risk of pulp necrosis in permanent teeth with extrusion or lateral luxation and concomitant crown fractures without pulp exposure. *Dent Traumatol.* 2012;28(5):379–85.
14. Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L. *Textbook and Color Atlas of Traumatic Injuries to the Teeth.* 4th ed. Wiley-Blackwell, editor. Oxford, UK: Blackwell; 2007.
15. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Med Surg Branch Oral Med Surg Branch.* 1965;20(3):340–9.
16. Kim SG, Malek M, Sigurdsson A, Lin LM, Kahler B. Regenerative endodontics: a comprehensive review. *Int Endod J.* 2018;51(12):1367–88.
17. Patterson SS. Endodontic management of the young permanent tooth. *J Dent Child.* 1958;25:215.
18. Rafter M. Apexification: a review. *Dent Traumatol.* 2005;21(1):1–8.
19. Huang GTJ. Apexification: The beginning of its end. *Int Endod J.* 2009;42(10):855–66.
20. Abu-tahun I, Torabinejad M. Management of teeth with vital pulps and open apices. *Endod Top.* 2012;23(1):79–104.
21. Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical

- periodontitis. *Int Endod J*. 1997;30(5):297–306.
22. Trope M. Treatment of the Immature Tooth with a Non-Vital Pulp and Apical Periodontitis. *Dent Clin North Am*. 2010;54(2):313–24.
  23. Holden DT, Schwartz SA, Kirkpatrick TC, Schindler WG. Clinical Outcomes of Artificial Root-end Barriers with Mineral Trioxide Aggregate in Teeth with Immature Apices. *J Endod*. 2008;34(7):812–7.
  24. Yassen GH, Chin J, Mohammedsharif AG, Alsoufy SS, Othman SS, Eckert G. The effect of frequency of calcium hydroxide dressing change and various pre- and inter-operative factors on the endodontic treatment of traumatized immature permanent incisors. *Dent Traumatol*. 2012;28(4):296–301.
  25. Nahar R, Chowdhury F, Alam MK. Apexification with the use of calcium hydroxide. *Bangladesh J Med Sci*. 2012;11(2):143–7.
  26. Yassen GH. The orthograde application of mineral trioxide aggregate apical plug may be an effective treatment approach in teeth with open apices. *J Evid Based Dent Pract*. 2013;13(3):104–6.
  27. Hong S, Li L, Cai W, Jiang B. The potential application of concentrated growth factor in regenerative endodontics. *Int Endod J*. 2019;52(5):646–55.
  28. Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB. Treatment options: Biological basis of regenerative endodontic procedures. *J Endod*. 2013;39(3S):S30–43.
  29. Murray PE, Garcia-Godoy F, Hargreaves KM. Regenerative Endodontics: A Review of Current Status and a Call for Action. *J Endod*. 2007;33(4):377–90.
  30. Hench LL. Bioceramics: From Concept to Clinic. *J Am Ceram Soc*. 1991;74(7):1487–510.
  31. Jitaru S, Hodisan I, Timis L, Lucian A, Bud M. The use of bioceramics in endodontics - literature review. *Dent Med*. 2016;89(4):470–3.
  32. Best SM, Porter AE, Thian ES, Huang J. Bioceramics: Past, present and for the future. *J Eur Ceram Soc*. 2008;28(7):1319–27.

33. Chen I, Karabucak B, Wang C, Wang HG, Koyama E, Kohli MR, et al. Healing after root-end microsurgery by using mineral trioxide aggregate and a new calcium silicate-based bioceramic material as root-end filling materials in dogs. *J Endod.* 2015;41(3):389–99.
34. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endod Top.* 2015;32(1):86–96.
35. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate: A Comprehensive Literature Review-Part III: Clinical Applications, Drawbacks, and Mechanism of Action. *J Endod.* 2010;36(3):400–13.
36. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endod Top.* 2015;32(1):3–30.
37. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater.* 2015;31(4):351–70.
38. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999;25(3):197–205.
39. Persson C, Engqvist H. Premixed calcium silicate cement for endodontic applications. *Biomater.* 2011;1(1):76–80.
40. Shen Y, Peng B, Yang Y, Ma J, Haapasalo M. What do different tests tell about the mechanical and biological properties of bioceramic materials? *Endod Top.* 2015;32(1):47–85.
41. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 1995;21(7):349–53.
42. Yang Q, Troczynski T, Liu D. Influence of apatite seeds on the synthesis of calcium phosphate cement. *Biomaterials.* 2002;23(13):2751–60.
43. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral Trioxide Aggregate : A Comprehensive Literature Review-Part I: Chemical, Physical, and Antibacterial Properties. *J Endod.* 2010;36(1):16–27.
44. Zmener O, Martinez Lalis R, Pameijer CH, Chaves C, Kokubu G, Grana D.



- Reaction of rat subcutaneous connective tissue to a mineral trioxide aggregate-based and a zinc oxide and eugenol sealer. *J Endod.* 2012;38(9):1233–8.
45. Zanini M, Sautier JM, Berdal A, Simon S. Biodentine induces immortalized murine pulp cell differentiation into odontoblast-like cells and stimulates biomineralization. *J Endod.* 2012;38(9):1220–6.
  46. Camilleri J, Pitt Ford TR. Mineral trioxide aggregate: A review of the constituents and biological properties of the material. *Int Endod J.* 2006;39(10):747–54.
  47. Cintra LTA, Benetti F, Queiroz ÍO de A, Lopes JM de A, Penha de Oliveira SH, Sivieri Araújo G, et al. Cytotoxicity, Biocompatibility, and Biomineralization of the New High-plasticity MTA Material. *J Endod.* 2017;43(5):774–8.
  48. Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod.* 1993;19(11):541–4.
  49. Fridland M, Rosado R. MTA solubility: A long term study. *J Endod.* 2005;31(5):376–9.
  50. Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2007;40(6):462–70.
  51. Clauder T, Shin S-J. Repair of perforations with MTA: clinical applications and mechanisms of action. *Endod Top.* 2006;15(1):32–55.
  52. Balto HA. Attachment and morphological behavior of human periodontal ligament fibroblasts to mineral trioxide aggregate: A scanning electron microscope study. *J Endod.* 2004;30(1):25–9.
  53. Altaii M, Rossi-fedele LRG. Histological assessment of regenerative endodontic treatment in animal studies with different scaffolds : A systematic review. *Dent Traumatol.* 2017;33(4):235–44.
  54. Pitt Ford TR, Torabinejad M, McKendry DJ, Hong CU, Kariyawasam SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 1995;79(6):756–63.

55. S. Bonson, B.G. Jeansonne and TEL. Root-end Filling Materials. *Int Am Assoc Dent Res.* 2004;83(5):408–13.
56. Mitchell PJC, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F. Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials.* 1999;20(2):167–73.
57. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater.* 2013;29(2):e20–8.
58. Malkondu Ö, Kazandağ MK, Kazazoğlu E. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. *Biomed Res Int.* 2014;2014(June).
59. Vertuan GC, Antonio M, Duarte H, Moraes IG De, Piazza B, Vasconcelos BDC. Evaluation of Physicochemical Properties of a New Root Canal Sealer. *J Endod.* 2018;44(3):501–5.
60. 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;51(3):284–317.
61. Nekoofar MH, Aseeley Z, Dummer PMH. The effect of various mixing techniques on the surface microhardness of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 2010;43(4):312–20.
62. Tanomaru-filho M, Tanomaru JMG, Barros DB, Watanabe E, Ito IY, Mta R. In vitro antimicrobial activity of endodontic sealers , MTA-based cements and Portland cement. *J Oral Sci.* 2007;49(1):41–5.
63. Instructions for use NeoMTA Plus AVALON BIOMED® Y NeoMTA NuSmile®. 2016.
64. Camilleri J. Staining Potential of Neo MTA Plus, MTA Plus, and Biodentine Used for Pulpotomy Procedures. *J Endod.* 2015;41(7):1139–45.
65. Tanomaru-Filho M, Andrade AS, Rodrigues EM, Viola KS, Faria G, Camilleri J,

- et al. Biocompatibility and mineralized nodule formation of Neo MTA Plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *Int Endod J.* 2017;50(2):e31–9.
66. Strindberg LZ. The dependence of results of pulp therapy on certain factors. *Acta Odontol Scand.* 1956;14:1–175.
  67. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Dent Traumatol.* 1986;2(1):20–34.
  68. Chala S, Abouqal R, Rida S. Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: Systematic review and meta-analysis. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2011;112(4):e36–42.
  69. Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC. Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol.* 2002;18(11):134–7.
  70. Parirokh M, Torabinejad M, Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview – part I: vital pulp therapy. *Int Endod J.* 2018;51(2):177–205.
  71. Siboni F, Taddei P, Prati C, Gandolfi MG. Properties of NeoMTA plus and MTA plus cements for endodontics. *Int Endod J.* 2017;50(2):e83–94.
  72. Tomás-Catalá CJ, Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Forner L, Llena C, et al. Comparative analysis of the biological effects of the endodontic bioactive cements MTA-Angelus, MTA Repair HP and NeoMTA Plus on human dental pulp stem cells. *Int Endod J.* 2017;50(2):e63–72.

ANEXO 1

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y VOLUNTARIO

Mérida, Yucatán \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Odontología.

Responsable: C.D. Ana Karen Basulto Cruz

“EFICACIA DEL NEOMTA PLUS EN ÓRGANOS DENTARIOS CON ÁPICE INMADURO”

El objetivo de este estudio es determinar la eficacia del NeoMTA Plus como tapón apical en órganos dentarios necróticos con ápices inmaduros, el cual se basa en colocar una barrera que evite que el material de obturación quede fuera de los límites del conducto radicular debido al ápice abierto que presenta debido a una muerte de la pulpa dental. Es un tratamiento complejo en el cual posteriormente para la evaluación del OD tratado y observar resultados, es necesario acudir a citas posteriores, una vez concluido el tratamiento, al primer, tercer y sexto mes, sin ningún costo. Los dientes tratados, pueden responder positiva o negativamente al tratamiento efectuado, en caso de fracasar será necesario realizar alguna posible alternativa de tratamiento contando con su compromiso y cooperación. Asimismo, toda la información que proporcione, todo lo que se realice y difusión científica que se desprenda de este estudio se mantiene de forma confidencial; así como si en algún momento lo decide, puede retirarse del estudio, sin sufrir disminución en el cuidado de su salud y atención en esta institución.

Yo \_\_\_\_\_ doy mi consentimiento para que me efectúen el tratamiento que se me ha explicado, así como los procedimientos complementarios que sean necesarios o convenientes durante la realización de éste tratamiento a juicio de los profesionales que lo lleven a cabo.

\_\_\_\_\_

Firma o huella del paciente

## ANEXO 2

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y VOLUNTARIO

Mérida, Yucatán \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_.

Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Odontología.

Responsable: C.D. Ana Karen Basulto Cruz

“EFICACIA DEL NEOMTA PLUS EN ÓRGANOS DENTARIOS CON ÁPICE INMADURO”

El objetivo de este estudio es determinar la eficacia del NeoMTA Plus en órganos dentarios con ápices inmaduros, el cual se basa en colocar una base en el conducto radicular para inducir la formación radicular en longitud y grosor debido al ápice abierto que presenta a causa de la muerte de la pulpa dental. Es un tratamiento complejo en el cual posteriormente para la evaluación del OD tratado y observar resultados, es necesario acudir a citas posteriores, una vez concluido el tratamiento, al primer, tercer y sexto mes, sin ningún costo. Los dientes tratados, pueden responder positiva o negativamente al tratamiento efectuado, en caso de fracasar será necesario realizar alguna posible alternativa de tratamiento contando con su compromiso y cooperación. Asimismo, toda la información que proporcione, todo lo que se realice y difusión científica que se desprenda de este estudio se mantiene de forma confidencial; así como si en algún momento lo decidiera, puede retirarse del estudio, sin sufrir disminución en el cuidado de su salud y atención en esta institución.

Yo \_\_\_\_\_ doy mi consentimiento para que me efectúen el tratamiento que se me ha explicado, así como los procedimientos complementarios que sean necesarios o convenientes durante la realización de éste tratamiento a juicio de los profesionales que lo lleven a cabo.

\_\_\_\_\_  
Firma o huella del paciente

## ANEXO 3

### INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Tratado por: \_\_\_\_\_ O.D. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Folio: \_\_\_\_\_  
 Nombre del paciente: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_ Sexo: (M) (F)  
 Expediente: \_\_\_\_\_ Nombre del padre o tutor: \_\_\_\_\_  
 Teléfonos: \_\_\_\_\_

Antecedentes médicos patológicos:

Diabetes	SI	No	Presión Sanguínea	SI	No	Tiene Medicación?	SI	No	Gastritis	SI	No
Fiebre Reumática	SI	No	Prob. Coagulación	SI	No	Prob. Hepático	SI	No	Embarazo	SI	No
Prob. Cardíaco	SI	No	Alergia	SI	No	Prob Renal	SI	No	Otros	SI	No

Diagnóstico:

Pulpar		Periapical			
Pulpitis irreversible	Necrosis pulpar	Periodontitis apical asintomática	Periodontitis apical sintomática	Absceso apical agudo	Absceso apical crónico

Plan de tratamiento: \_\_\_\_\_

Procedimiento: \_\_\_\_\_

Dolor: Pacientes sin enfermedades sistémicas, molares con contacto oclusal con su antagonista sin tratamiento endodóntico previo, sin movilidad, sin enfermedad periodontal, sin bruxismo, sin prótesis removible en zona posterior, sin tratamiento ortodóntico: (CUMPLE) (NO CUMPLE)

Dolor preoperatorio: (SI) (NO) Reducción oclusal: (SI) (NO) ¿Por qué?: \_\_\_\_\_

Clasificación de Patterson:



1 y 2: Revascularización 3 y 4: Tapón apical

Índice periapical (PAI)

CONTROL CRITERIOS STRINDBERG	ÉXITO (NORMAL)	FRACASO (PATOLÓGICO)	DUDOSO
CONTROL A 1 MES			
CONTROL A 3 MESES			
CONTROL A 6 MESES			
CONTROL A 1 AÑO			

CONTROL (ÍNDICE PERIAPICAL (PAI))	1	2	3	4	5
CONTROL A 1 MES					
CONTROL A 3 MESES					
CONTROL A 6 MESES					
CONTROL A 1 AÑO					

Observaciones: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_