



UADY

CIENCIAS DE LA SALUD

FACULTAD DE
ODONTOLOGÍA

**EFICACIA DEL NEOMTA PLUS COMO TAPÓN APICAL EN
ÓRGANOS DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORMACIÓN
RADICULAR INCOMPLETA**

Tesis presentada por:

KAREN ESTEFANÍA MÉNDEZ BASTARRACHEA

En opción al Diploma de Especialización en:

ENDODONCIA

Directores:

M. EN O. GABRIEL ALVARADO CÁRDENAS

C. D. ANTONIO HERRERA DE LUNA

Mérida, Yucatán, Julio 2018



UADY
CIENCIAS DE LA SALUD
FACULTAD DE
ODONTOLOGÍA

EFICACIA DEL NEOMTA PLUS COMO TAPÓN APICAL EN
ÓRGANOS DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORMACIÓN
RADICULAR INCOMPLETA

Tesis presentada por:

KAREN ESTEFANÍA MÉNDEZ BASTARRACHEA

En opción al Diploma de Especialización en:

ENDODONCIA

Directores:

M. EN O. GABRIEL ALVARADO CÁRDENAS

C. D. ANTONIO HERRERA DE LUNA

Mérida, Yucatán, Julio 2018



UADY

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
YUCATÁN

UNIDAD DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Mérida, Yucatán, 1 de Julio de 2018

C. KAREN ESTEFANÍA MÉNDEZ BASTARRACHEA

Con base en el dictamen emitido por sus Directores y revisores, le informo que la Tesis titulada **"EFICACIA DEL NEOMTA PLUS COMO TAPÓN APICAL EN ÓRGANOS DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORMACIÓN RADICULAR INCOMPLETA"**, 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.



M. C. O. José Rubén Herrera Atoche
Jefe de la Unidad de Posgrado e Investigación

M. en O. Gabriel Alvarado Cárdenas
Director de Tesis

C. D. Antonio Herrera De Luna
Director de Tesis

Dr. Marco Antonio Ramírez Salomón
Revisor

M. en Inv. en S. David Alejandro Aguilar Pérez
Revisor

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 se realizó en la Clínica del Posgrado de Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán, bajo la dirección del M. en O. Gabriel Alvarado Cárdenas. Los resultados presentados, son parte del proyecto de investigación “Terapia endodóntica en dientes permanentes en diferentes estadios de formación radicular” con registro en el SISTPROY con clave FODO-2017-0002.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis M. en O. Gabriel Alvarado Cárdenas, por todo el apoyo recibido no solo durante el posgrado, sino desde la licenciatura; por haber confiado en mí desde el principio, por haberme guiado y por todos los conocimientos aprendidos.

A mi coordinador el Dr. Marco Antonio Ramírez Salomón, por creer en mí y haberme dado la oportunidad de pertenecer al posgrado, por haberme compartido todos sus conocimientos y pulir mi potencial hasta límites que no conocía, haciendo de ésta una grata experiencia.

A mis profesores la Dra. Elma María Vega Lizama y la Dra. María Eugenia López Villanueva, por la disposición que siempre mostraron hacia mí, por estos dos años de experiencia y por toda su ayuda en clínica y en la redacción de la tesis ya que sin ellas no sería posible el resultado obtenido.

A mi revisor el M. en Inv. en S. David Aguilar Pérez, por la disponibilidad de tiempo que destinó para las revisiones y modificaciones que culminaron con una elaboración exitosa de la misma y por compartir sus conocimientos.

A la marca comercial NuSmile y Avalon Biomed por el apoyo y las facilidades brindadas para la obtención del material biocerámico con el cual se llevó a cabo este estudio, así como a la Dra. Carolyn Primus, creadora del NeoMTA Plus, quien estuvo dispuesta a resolver todas las preguntas que llevaron a la elaboración exitosa de la tesis.

Y finalmente, le agradezco al CONACYT por el apoyo mediante el financiamiento otorgado durante estos dos años de duración del posgrado, el cual fue imprescindible para poder llevar a cabo la culminación del mismo.

DEDICATORIAS

A Dios por regalarme la vida, las fuerzas y la salud para seguir adelante en todos mis proyectos siempre a tu lado. Gracias por la familia y el amor con las que me bendijiste.

A mis padres, Francisco y Mercedes, a quienes dedico toda mi vida y mis éxitos. No soy nada sin ustedes. Gracias por siempre tratar de darme todo y más. Ahora me toca a mí regresarles un poco de lo mucho que me han regalado. Los amo.

A Mario, mi amor, gracias por todo lo que has apostado por mí y por creer que yo puedo todo. Gracias por acompañarme en cada nueva etapa de la vida y por apoyarme ciegamente. Ahora empieza lo mejor. Te amo.

A mami Jesús, quien desde que nací no has hecho más que cuidarme y darme amor sin esperar recibir nada a cambio. Ahora me toca a mí cuidar y velar por ti. Te amo.

A mi abuelo Jorge, quien desde el cielo sigue cuidándome y protegiéndome. Gracias por darme lecciones de vida como nadie. Te extraño y te amo.

A mis abuelos, Javier y Lupita, por estar pendientes y siempre demostrar su amor. Los amo.

A mis hermanos, Daniel y Oscar, quienes siempre están ahí para compartir y alegrarse de mis triunfos. Yo también me siento muy orgullosa de ustedes. Los amo.

ÍNDICE

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
JUSTIFICACIÓN	29
OBJETIVOS	31
MATERIAL Y MÉTODOS	32
RESULTADOS	38
DISCUSIÓN	42
CONCLUSIÓN	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Criterios clínicos y radiográficos propuestos por strindberg	35
TABLA 2. Índice periapical (PAI)	36
TABLA 3. Prevalencia de sexo, patología periapical y factor etiológico	40
TABLA 4. Resultados de controles clínicos y radiográficos	41

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Clasificación de Patterson	5
FIGURA 2. Índice periapical (PAI)	36
FIGURA 3. Prevalencia de órganos dentarios necróticos con formación radicular incompleta	38
FIGURA 4. Prevalencia de tratamientos de órganos dentarios necróticos con formación radicular incompleta	39
FIGURA 5. Prevalencia de materiales utilizados para tapones apicales	39

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Instrumento de medición y recolección de datos	52
ANEXO 2. Carta de consentimiento informado	55

RESUMEN

El desarrollo fisiológico radicular de los órganos dentarios (OD) permanentes jóvenes puede detenerse por afectación pulpar dificultando el tratamiento endodóntico convencional. Es indispensable contar con un material que permita satisfacer las necesidades del tratamiento. El NeoMTA Plus es un nuevo material biocerámico, modificación del agregado de trióxido mineral (MTA) y con características mejoradas como alternativa para tratamientos de apicoformación que no cuenta con investigaciones clínicas que corroboren la información del fabricante y su eficacia clínica. El objetivo de este estudio fue determinar la eficacia del NeoMTA Plus como tapón apical en OD permanentes necróticos con formación radicular incompleta (FRI). Fue un estudio observacional, prospectivo, longitudinal y descriptivo el cual se encuentra en proceso del periodo de enero 2017 a enero 2018. Se incluyeron a todos los pacientes con OD con necrosis pulpar y FRI con grado III y IV de Patterson a los que se colocó tapón apical de NeoMTA Plus en la Clínica de Posgrado de Endodoncia de la FOUADY, previa carta firmada de consentimiento informado. El protocolo para el tratamiento fue en dos citas donde el tapón apical es colocado a 5mm de apical a coronal. Se citó a los pacientes para citas de control al mes, a los 3 y 6 meses evaluándolos según los criterios clínicos de Strindberg y los criterios radiográficos del índice periapical (PAI).

Del total de casos estudiados (n=1642), 36 (2.19%) fueron con FRI. Doce (100%) de éstos requirieron la colocación de tapones apicales: 2 (16.67%) con MTA, 3 (25%) con Biodentine y 7 con NeoMTA Plus (58.33%). Según con los criterios de Strindberg, el tratamiento de los 7 OD se considera como éxito y de acuerdo con el PAI, 3 se encuentran en el criterio 1 de Orstavik, 3 en el criterio 2 de Orstavik y uno de los OD se encuentra en el criterio 4 de Orstavik. De acuerdo con los resultados de este estudio podemos concluir que el NeoMTA Plus es un nuevo biocerámico eficaz ya que se obtuvo el 100% de éxito, así como la corroboración del fabricante de un tiempo de fraguado menor, fácil manipulación y un costo-beneficio mayor.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los OD permanentes con FRI o ápice abierto son aquellos que no han podido completar su desarrollo debido a diversos factores etiológicos; entre los principales se encuentran la caries y los traumatismos, los cuales podrían afectar el tejido pulpar comprometiendo así su vitalidad.

Para la elección del tratamiento en OD con ápice abierto, debemos establecer un diagnóstico certero con base en la sintomatología, signos y examen clínico. De primera instancia, esto se convierte en un verdadero reto para el endodoncista, debido a que se requiere de un manejo rápido y oportuno.

El tratamiento endodóntico se vuelve complejo por la falta de desarrollo radicular como consecuencia de paredes radiculares delgadas y propensas a fracturas y un foramen apical de diámetro mayor que no proporciona una barrera anatómica de la raíz dificultando la obturación tridimensional para mantener el tratamiento endodóntico dentro de los límites del conducto.

Es indispensable contar con un material de obturación que nos permita satisfacer todas las necesidades para el tratamiento de los dientes con ápice abierto; entre las principales características deseables están que sea biocompatible, bioactivo, no tóxico, no carcinogénico, alta resistencia mecánica a la compresión y flexión, baja solubilidad, fácil manipulación, corto tiempo de fraguado y accesible económicamente.

El MTA es un material de obturación que ha sido ampliamente utilizado en la aplicación clínica, aprobado por diversos estudios e investigaciones que sustentan su eficacia, específicamente para tratamientos de apicoformación, apicogénesis, como recubrimiento pulpar directo y para la reparación de perforaciones radiculares. En la actualidad, existen diferentes productos en el mercado con características similares. Sin

embargo, el uso de MTA ha sido deficiente debido a su alto tiempo de fraguado, propiedad que afecta su aplicación clínica.

Recientemente, salió al mercado una modificación de MTA con características mejoradas tales como tiempo de fraguado menor a otros MTA, fácil manipulación y aplicación, menor costo y sin composición de resina.

A pesar de poseer estas propiedades, no existen investigaciones que las sustenten o que afirmen su eficacia y éxito clínico a corto y largo plazo. Es por esta razón que se ve la necesidad de comprobar su aplicación clínica y registrar los resultados, por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Será eficaz el NeoMTA Plus como tapón apical en OD permanentes necróticos con FRI?

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El proceso de desarrollo dental que conduce a la formación de los OD en el seno de los huesos maxilares recibe la denominación de odontogénesis. Los dientes se desarrollan a partir de brotes epiteliales que empiezan a formarse en la porción anterior de los maxilares y luego avanzan en dirección posterior. En la formación de los dientes participan dos capas germinativas: el epitelio ectodérmico que origina el esmalte y el ectomesénquima que forma el complejo dentinopulpar, cemento, ligamento periodontal y hueso alveolar. El ciclo vital de los OD comienza en la sexta semana de vida intrauterina y continúan a lo largo de toda la vida del diente (1).

La formación radicular comienza después de completarse la formación del esmalte. Las células de los epitelios interno y externo del esmalte, que comprenden el asa cervical, comienzan a proliferar y a formar una estructura conocida como vaina epitelial radicular de Hertwig (2).

Esta vaina, delimitará la futura pulpa del diente y será la responsable de la formación, número, tamaño y forma de las raíces. Cuando la vaina ha alcanzado su longitud máxima, se dobla hacia adentro circunferencialmente, construyendo el diafragma epitelial, estructura que establece la longitud del diente y delimita el foramen apical (3). Posteriormente, toma la forma de uno o más tubos epiteliales (según el número de raíces). Durante la formación de la raíz, el orificio apical de cada una de ellas tiene una abertura amplia limitada por un diafragma epitelial. Las paredes dentinarias divergen en dirección apical y la forma del conducto pulpar se asemeja a un tubo ancho y abierto. En esta fase, cada raíz contiene un conducto y el número de conductos es el mismo que el de las raíces (4).

A medida que ocurre el crecimiento, el depósito continuo de dentina ocasiona un estrechamiento del conducto radicular y el tejido pulpar se comprime lo que genera el cierre y convergencia apical de los conductos radiculares que puede observarse en los dientes completamente formados (4, 5).

Cuando un diente erupciona, presenta una raíz con un desarrollo de unos $2/3$ de su longitud final. Así, la raíz alcanza su longitud completa hasta transcurridos de 1 a 4 años después de este proceso para poder considerar que su ápice está maduro. Al mismo tiempo que se desarrolla en longitud, las paredes del diente se van engrosando por aposición de dentina. Hasta que un diente erupcionado no ha terminado su desarrollo, se le denomina OD permanente joven, con FRI, inmaduro, incompleto o con el ápice abierto (5).

ÁPICE ABIERTO

Un ápice abierto está presente durante el desarrollo radicular de un diente inmaduro hasta que ocurre el cierre apical, por lo que en dicha etapa es normal. Sin embargo, si la pulpa se ve afectada antes de que dicho crecimiento se complete, la formación de la dentina y, por tanto, su desarrollo, cesa. La raíz resultante es corta, con ausencia de constricción apical y con paredes dentinarias delgadas y débiles, probablemente paralelas o ligeramente convergentes, dependiendo de la etapa de desarrollo radicular en la que se encuentre el diente. Esto representa un reto para el tratamiento pulpar ya que los procedimientos convencionales no se pueden llevar a cabo y los resultados y pronósticos son impredecibles (6).

CLASIFICACIÓN DEL DESARROLLO RADICULAR Y APICAL

En 1958, Patterson (7) publicó una clasificación de los dientes permanentes según su desarrollo radicular y apical, dividiéndolos en cinco grados:

1. Grado I. Desarrollo parcial de la raíz con lumen apical mayor que el diámetro del conducto. Desarrollo radicular hasta la mitad de su longitud total. Ápice abierto en forma de embudo.
2. Grado II. Desarrollo casi completo de la raíz con lumen apical mayor que el conducto. Desarrollo radicular de $2/3$ de su longitud y ápice de paredes divergentes. El conducto radicular tiene la forma de trombón.

3. Grado III. Desarrollo completo de la raíz con lumen apical de igual diámetro que el conducto. Desarrollo radicular de $\frac{3}{4}$ de su longitud. Ápice de paredes paralelas.
4. Grado IV. Desarrollo completo de la raíz con diámetro apical más pequeño que el del conducto. El conducto tiene la forma cilíndrica.
5. Grado V. Desarrollo completo de la raíz con tamaño apical microscópico. El conducto presenta la forma cónica de la pieza adulta (7).

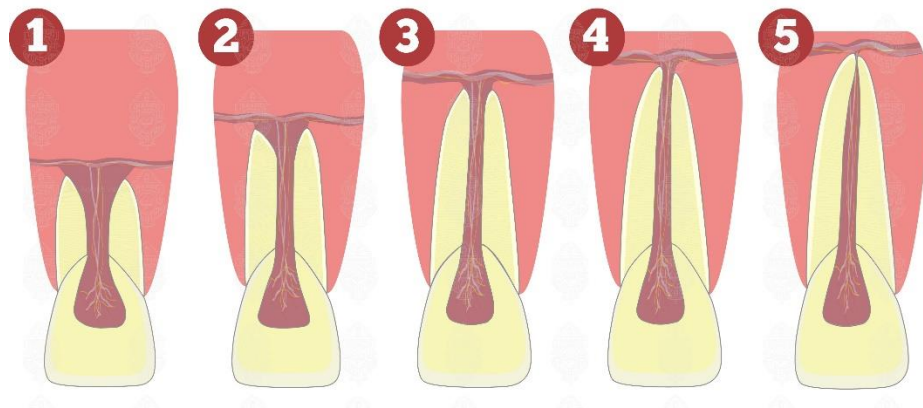


Figura 1. Clasificación de Patterson

FACTORES ETIOLÓGICOS DEL ÁPICE ABIERTO

Cuando la pulpa sufre cambios patológicos antes de completar su desarrollo radicular, la formación de la dentina y el desarrollo radicular cesan (8).

Los irritantes más dañinos para el tejido pulpar incluyen a las bacterias, así como también sus diversos intentos de tratamientos o iatrogenias que pueden dejarla con mayor daño como las preparaciones de cavidad excesiva, el 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. Todo esto originado

de la lesión cariosa original (5). Las irritaciones del tejido en cuestión pueden causar cambios en la microcirculación pulpar que llevaría a una posible necrosis (9).

La caries dental es la enfermedad microbiana más prevalente que inicialmente afecta tejidos duros y posteriormente a la pulpa y tejidos periapicales, dicho rol de las bacterias en la patogenidad de la enfermedad pulpar y periapical fue concluyentemente demostrado por Kakehashi *et al.* (10, 11).

Otros factores son posibles movimientos ortodónticos y primordialmente los traumatismos dentales ocasionados generalmente por accidentes, aunque no todos son causantes del daño pulpar irreversible. Estudios epidemiológicos de dichos traumatismos arrojan que hay una incidencia del 25 al 58% en los grupos de edades de 8 a 12 años, en los cuales los pacientes se encuentran en la dentición mixta y presentan OD permanentes en formación (5, 12). Entre los principales se mencionan los siguientes:

1. Fractura no complicada de la corona: es una fractura del esmalte y la dentina que no está asociada a la exposición de la pulpa. Los túbulos dentinarios han sido expuestos, la invasión bacteriana y la inflamación pulpar es inminente. Si la fractura es diagonal afectando el ángulo incisivo proximal, a menudo ocurren micro-exposiciones pulpares, las cuales escapan a la inspección ocular. En caso de que la pulpa no sea expuesta no indica que no haya sido afectada ya que, debido al tipo de accidente, esta pudo haber quedado necrosada.
2. Fractura complicada de la corona: es aquella que involucra afección del esmalte, dentina y el tejido pulpar. La terapéutica a efectuar dependerá de: el tamaño de la exposición, el tiempo transcurrido, del desarrollo del foramen apical, la vitalidad y el tipo de dentición.
3. Fractura de la corona y de la raíz: afecta el esmalte, la dentina y el cemento, la pulpa puede o no estar afectada.

4. Fractura de la raíz: es la que afecta el cemento y la dentina, con alteración de la pulpa dental.
5. Luxación: existen cinco clases de luxaciones:
 - 5.1. Concusión. Se producen cuando el tejido periodontal es afectado por un trauma. No implica desplazamiento, movilidad, no se presenta fractura dentaria, existe reacción a la percusión.
 - 5.2. Subluxación. Implica sensibilidad a la percusión, aumento de la movilidad, pero ausencia de desplazamiento.
 - 5.3. Luxación lateral. Implica desplazamiento en sentido labial, lingual, distal o incisal.
 - 5.4. Extrusión. Cualquier lesión que implique desplazamiento en sentido coronal.
 - 5.5. Intrusión. Cualquier lesión que implique desplazamiento en dirección apical hacia el interior del alvéolo (5).

La interacción de cualquiera de estos irritantes con el tejido pulpar puede resultar en la liberación de mediadores no específicos de inflamación y reacciones inmunes en los tejidos periapicales (13).

NECROSIS PULPAR

De acuerdo con la clasificación de enfermedades pulpares de la American Association of Endodontists, la categoría de diagnóstico clínico que establece la muerte de la pulpa dental se conoce como necrosis pulpar y se da posteriormente a una pulpitis irreversible no tratada. En dicho estado, la pulpa no responde positivamente a pruebas de vitalidad ya que la vascularización pulpar es inexistente y debido a que el espacio de la pulpa necrótica es relativamente inaccesible, el diente se convierte en un reservorio de

infección. La sintomatología es nula hasta que por extensión de la enfermedad a los tejidos perirradiculares, puede presentar signos y síntomas clínicos y radiográficos (4, 5).

Si la necrosis pulpar se produce en los dientes inmaduros, un enfoque de tratamiento alternativo debe ser utilizado debido a la presencia de un ápice abierto (6).

APICOFORMACIÓN

La apicoformación y la revascularización se han considerado procedimientos de tratamiento eficaces para dientes inmaduros no vitales. La apicoformación implica la desinfección del conducto radicular, promoviendo una barrera de tejido duro apical y obturando el espacio del canal vacío con material de relleno de la raíz. Por otro lado, la revascularización tiene como objetivo promover el desarrollo continuo de las raíces, la sustitución del tejido perdido y su función con el crecimiento mediado por células madre del tejido reparador (14).

Varios estudios han comparado la efectividad entre la apicoformación y la revascularización en términos de éxito y posterior desarrollo de raíces (14).

La apicoformación se define como un método para inducir una barrera calcificada en un conducto radicular con ápice abierto en dientes que han perdido la vitalidad y, por tanto, se consideran necróticos (17). Esta barrera forma una matriz contra la que puede compactarse el material de obturación del conducto radicular con el control de su longitud (5).

Una evaluación apropiada del diente afectado es de suma importancia para determinar un diagnóstico preciso y prescribir el plan de tratamiento adecuado. Si la pulpa se necrosa en un diente inmaduro, se deben evaluar las alternativas de tratamiento (6). A continuación, se mencionan los principales retos para este tipo de tratamientos:

1. El espacio del conducto radicular no puede ser desinfectado con el protocolo estándar.

2. La obturación del conducto se dificulta ya que el ápice abierto no proporciona una barrera que impida que el material sea extruido hacia tejidos periodontales.
3. Las paredes radiculares son débiles y frágiles, susceptibles a fracturas (15).

Los dientes con estas características, en el pasado, frecuentemente eran extraídos. Por lo que se vio la necesidad de realizar procedimientos específicos para este tipo de OD que permitieran su conservación en la cavidad bucal (16).

Granath fue el primero en describir el uso del hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) material tradicional utilizado por años para este procedimiento, el cual se considera como satisfactorio por el éxito clínico obtenido de aproximadamente un 90% (18, 19). Sin embargo, presenta algunas desventajas como lo son la variabilidad en el tiempo del tratamiento, la falta de predictibilidad de la formación de la barrera y la dificultad del seguimiento a los pacientes (6). Dependiendo del estudio, se reporta que la barrera es formada de 3 a 24 meses (16).

El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ha sido ampliamente utilizado en endodoncia en diversas situaciones clínicas como un medicamento intraconducto, un agente que cubre la pulpa, un componente de algunos selladores del conducto radicular, perforaciones radiculares, fracturas radiculares y reabsorción radicular. Usando $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el operador tiene como objetivo matar bacterias, reducir la inflamación, controlar la reabsorción inflamatoria de las raíces, y prevenir la contaminación entre citas (20).

Una de las cualidades más importantes de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es su capacidad para matar las bacterias en el conducto radicular desnaturalizando las proteínas y causando daño al ADN bacteriano y a las membranas citoplasmáticas. El $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se clasifica como una base fuerte por tener un pH de 12.4 que se disocia en iones de calcio e hidróxido en una solución acuosa. La alta concentración de iones hidroxilo en un ambiente acuoso altera el gradiente de pH de la membrana citoplasmática bacteriana, causando daño a la membrana y

ayudando a la eliminación de células bacterianas (21). Además, los iones calcio e hidróxido promueven la reparación y mineralización activa dentro de los conductos radiculares, que juegan un papel importante en la formación de los tejidos duros. El Ca(OH)_2 también tiene una baja solubilidad en agua, lo cual es una ventaja en un entorno clínico porque puede usarse durante un periodo de tiempo prolongado (22).

La técnica de Frank es usada para el tratamiento de apicoformación que requiere la recolocación de la pasta de hidróxido de calcio cada 3 meses hasta que la barrera se complete, lo que puede tomar un tiempo de hasta 24 meses (23). Los pasos para seguir son los siguientes:

1. Se lleva a cabo la preparación de la cavidad de acceso adecuada que permita la correcta instrumentación y manipulación del conducto radicular.
2. Se toma la cavometría con una lima autolimitante.
3. Se instrumenta de acuerdo con la longitud tomada y se irriga frecuente y generosamente con hipoclorito de sodio hasta eliminar la mayor cantidad de tejido necrótico.
4. Se seca el conducto.
5. Se introduce la pasta de hidróxido de calcio y se recubre con un algodón, óxido de zinc y eugenol como material restaurador provisional (23).

A pesar del éxito clínico de la técnica de apicoformación del hidróxido de calcio, existen algunas desventajas. El tratamiento requiere un alto compromiso del paciente y múltiples citas que se extienden durante un largo período de tiempo. Además de la impredecibilidad del cierre apical, otros factores negativos incluyen los conflictos en el seguimiento del paciente, las preocupaciones financieras, las demandas estéticas y la susceptibilidad a la microfiltración coronal o a la fractura (24).

TAPÓN APICAL

Una alternativa a la apicoformación con hidróxido de calcio es sellar el agujero apical abierto con un tapón apical. Este procedimiento puede ser llevado a cabo mediante el uso de materiales biocerámicos tales como el MTA que es mencionado como el pionero en este tipo de tratamientos que pudieran ser completados en una o dos sesiones de tratamiento, lo que permite restaurar el diente en un corto plazo evitando la dependencia del paciente y la exposición prolongada de la dentina radicular al hidróxido de calcio. La apicoformación inducida por MTA también puede resultar en una mejor consistencia de la barrera de tejido duro apical que se alcanza con el hidróxido de calcio como se sugiere en un estudio en animales (25).

BIOCERÁMICOS

En la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías e innovaciones específicamente hablando sobre el área endodóntica, se han podido resolver casos clínicos en los que en la antigüedad tenían un mal pronóstico y los OD afectados eran extraídos. Esto ha sido debido a diversos factores entre los que destacan los nuevos materiales utilizados; entre estos existen un grupo de materiales que han tenido su auge a partir de los años 90's y que con el paso del tiempo han experimentado modificaciones con la finalidad de mejorar la calidad del tratamiento endodóntico y tienen por nombre materiales biocerámicos. Los materiales biocerámicos se definen como productos o componentes cerámicos empleados en aplicaciones médicas y dentales biocompatibles para el uso humano, principalmente como implantes y/o sustitutos de tejidos orgánicos que cuentan con propiedades osteoinductivas (26).

Los biocerámicos poseen tres propiedades biológicas principales:

1. Bioinerte: no interactivo con sistemas biológicos.
2. Bioactivo: duradero en tejidos que pueden experimentar interacciones interfaciales con el tejido circundante.

3. Biodegradable, soluble o reabsorbible: eventualmente se reemplaza o incorpora en los tejidos (27).

Los materiales endodónticos que se colocan permanentemente en el conducto radicular deben bloquear las vías de comunicación entre el sistema del conducto radicular y los tejidos circundantes para garantizar el éxito endodóntico a largo plazo. Por lo tanto, los criterios para el material ideal para su uso en endodoncia se han vuelto exhaustivos e incluyen las siguientes características: no tóxico, insoluble en fluidos tisulares, dimensionalmente estable, antibacteriano, conductor de tejido duro, biocompatible, radiopaco y fácil de manejar. Sin embargo, los materiales existentes de restauración de raíces y restauradores o reparativos utilizados actualmente en endodoncia no poseen todas estas características deseadas (28).

El uso de materiales biocerámicos son varios, primero se utilizaron solamente como materiales de relleno retrógrado y luego como cementos de reparación de raíces, selladores de conductos radiculares y recubrimientos para conos de gutapercha. Las ventajas potenciales de los materiales biocerámicos en endodoncia están relacionadas con sus propiedades fisicoquímicas y biológicas. Entre las ventajas están que son biocompatibles, no tóxicas, no se contraen y generalmente son químicamente estables dentro del entorno biológico. Además, tienen capacidad de formar hidroxiapatita y, en última instancia, crear una unión entre la dentina y el material (29).

El primer cemento biocerámico de silicato de calcio hidráulico patentado para aplicaciones de endodoncia fue el MTA que es esencialmente un derivado del cemento Portland (30). Desde la introducción de MTA, los materiales biocerámicos han comenzado a llenar cada vez más la brecha que ha existido en situaciones de endodoncia, exigentes con respecto a los materiales adecuados (31). Recientemente, se han introducido una clase de nuevos materiales biocerámicos, que poseen muchas características similares *in vitro* e *in vivo*, en un esfuerzo por desarrollar los materiales ideales para su uso en aplicaciones de endodoncia (29).

Estos materiales tienen dos principales vías de uso; la primera es como selladores endodónticos, utilizados en la obturación de los sistemas de conductos radiculares 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 relleno (26). 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 ápice abierto o FRI, como recubrimiento pulpar y como cemento durante los procedimientos endodónticos regenerativos (31).

A continuación, se describirán las características o propiedades fisicoquímicas y biológicas más importantes que se deben tener en consideración al momento de elegir el material biocerámico.

1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

1.1. Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es el período de tiempo para que un material pase de un estado fluido a uno endurecido. La presencia de humedad generalmente se requiere para que se fijen los materiales biocerámicos. Un tiempo de fraguado breve puede ayudar a facilitar un sellado hermético entre el sistema de conductos radiculares y el periodonto, mientras que un tiempo de fraguado prolongado puede ocasionar dificultades para mantener la consistencia de la mezcla. Se han usado varios métodos para evaluar la configuración de los materiales dentales. Uno de ellos se basa en la norma ISO 9917 (29).

1.2. Alta resistencia mecánica

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para soportar la presión dirigida axialmente, que genera esfuerzo de compresión como resultado de la carga. La resistencia a la compresión de los cementos biocerámicos es una medida de

múltiples propiedades del material, incluida la reacción de hidratación, que es fundamental para el fraguado de los cementos de silicatos hidráulicos (26).

Aunque la estabilidad dimensional y el sellado adecuado son de gran importancia para el clínico al elegir un material de relleno del extremo de la raíz, la resistencia a la compresión también es una propiedad importante que puede afectar el rendimiento clínico del material. Se ha informado que una alta resistencia a la compresión en un material de reparación de raíz podría permitirle soportar cargas que causan deformación y contracción (32).

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. La resistencia al empuje es un atributo importante para los materiales utilizados en la reparación de perforaciones, porque el movimiento de los dientes en la función puede desalojar el material después de la reparación de la perforación (33). Otra característica es la dureza la cual se puede definir como la resistencia a la deformación plástica de la superficie de un material después de la penetración. Los valores de microdureza informados para 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 (26).

1.3. pH alcalino alto y liberación de iones de calcio

Se ha sugerido que el mecanismo de cicatrización pulpar y de los tejidos periapicales mediante la deposición de la apatita mineralizada depende del pH y de la capacidad de la liberación de iones de calcio. Varios estudios han informado que un pH alcalino alto puede inducir una necrosis limitada de las células de resorción en la superficie de la raíz y anular la actividad biológica de los lipopolisacáridos. Por lo tanto, es deseable un pH alcalino y una liberación de ion calcio durante la reacción de fraguado de cualquier material que esté permanentemente sellado en el conducto radicular (29).

1.4. Alta radiopacidad y flujo moderado

La radiopacidad es una propiedad física esencial que permite ver el material de relleno endodóntico a través del examen radiográfico para verificar la calidad de la obturación (34). Un material de sellado del conducto radicular ideal debe tener un cierto grado de radiopacidad para ser claramente visible en las radiografías. La medición de la radiopacidad se realiza de acuerdo con las recomendaciones de ISO 6876/2001. El aluminio se utiliza como material de control para evaluar la radiopacidad de un material probado, aunque en la actualidad existen otros materiales con menor toxicidad. Las normas internacionales requieren una radiopacidad mínima equivalente a 3 mm de espesor (35).

El flujo es la capacidad de un cemento sellador para penetrar en las irregularidades y dentro de los conductos accesorios del sistema de conductos radiculares, y se considera una propiedad muy importante: cuanto mayor es el flujo, mayor es la capacidad de penetrar en las irregularidades. Por el contrario, si el flujo es excesivo, aumenta el riesgo de extravasación de material para el periápice, lo que podría dañar los tejidos periapicales (35). Por lo tanto, se prefiere un flujo moderado para que el cemento acceda a las áreas que deben llenarse. La prueba de flujo se realiza de acuerdo con las especificaciones ISO 6876/2001, que establecen que el flujo mínimo requerido para los cementos es de 20 mm (29).

1.5. Baja porosidad y solubilidad

La porosidad es una característica común de los cementos y se manifiesta como espacios microscópicos entre los granos de cemento no hidratados (26). La resistencia mecánica de los materiales basados en silicato de calcio es parcialmente dependiente de su bajo nivel de porosidad. La cantidad de porosidad en el cemento mezclado se relaciona con la cantidad de agua añadida para hacer una pasta de cemento, el atrapamiento de burbujas de aire durante el procedimiento de mezclado y el valor de pH ácido ambiental. Cuanto menor es la porosidad, mayor es la resistencia mecánica (29).

La solubilidad es otro factor en la evaluación de la idoneidad de los materiales utilizados para la restauración en odontología. La falta de solubilidad es una característica

deseada para los materiales de relleno del extremo de la raíz y los materiales utilizados para la reparación de perforaciones. La solubilidad es menor para los silicatos de calcio después de un tiempo de fraguado más largo (36). Todavía no está claro si la solubilidad de los selladores puede influir en las propiedades de su sellado. La liberación de iones está interrelacionada con su polvo fino, porosidad, reabsorción de agua y solubilidad y la formación de minerales de fosfato de calcio (29).

2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

2.1. Biocompatibilidad

Los materiales utilizados en endodoncia se colocan con frecuencia en contacto íntimo con la pulpa dental o los tejidos periodontales y, por lo tanto, deben ser biocompatibles con los tejidos del huésped y no causar toxicidad. Para evaluar la biocompatibilidad de los materiales dentales se utilizan diferentes pruebas *in vitro* e *in vivo*; las primeras incluyen la evaluación del perfil de citotoxicidad de materiales potenciales utilizando diferentes líneas celulares, ensayo de bromuro de difeniltetrazolio (MTT), citometría de flujo utilizando tinción de viabilidad celular y prueba de la capacidad de las células para crecer y poblarse en la superficie de un material. Las segundas comprenden pruebas de uso en animales de experimentación, de acuerdo con protocolos clínicos aceptados, seguidas de un examen histológico (26, 29).

2.2. Estimulación de la biomineralización

El material óptimo utilizado para fines endodónticos, como recubrimiento pulpar, reparación de una perforación u obturación del conducto radicular, no solo debe proporcionar un sellado eficaz, sino que también inducir o estimular la formación de enlaces químicos y la precipitación de apatita en la dentina a lo largo del tiempo. La biomineralización es probable que facilite la cicatrización en el espacio entre el material y el tejido dental, lo que resulta en la elevación del pH local, la liberación de iones minerales y la formación de estructuras parecidas a la apatita. Los cristales de apatita crecen dentro de las fibras de colágeno, promoviendo la nucleación mineral controlada en

la dentina y desencadenando la formación de una capa en la interfaz del material y la dentina. Un biomaterial ideal utilizado en endodoncia debería 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 las bacterias y toxinas. El fenómeno de la biomineralización puede identificarse mediante diversas técnicas microscópicas, que incluyen microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) unida con análisis de rayos X de energía dispersiva (EDX), microscopía electrónica de transmisión (TEM), con difracción de electrones de área seleccionada (SAED), técnicas espectroscópicas que incluyen la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), microscopía Raman, difracción de rayos X (DRX) y métodos histoquímicos que incluyen la tinción con rojo de alizarina (26, 29).

2.3. Inducción de diferenciación de células pulpares

La exposición severa de la pulpa y la destrucción de la capa de odontoblastos subyacente pueden, bajo condiciones específicas, iniciar la regeneración del complejo dentinopulpar a través del reclutamiento de células progenitoras y la diferenciación en células secretoras y la estimulación de la dentinogénesis reparadora. El objetivo principal en el uso de un material bioactivo para este proceso reparador y de curación es formar una barrera de tejido mineralizado para proteger la pulpa de nuevas filtraciones. Clínicamente, los objetivos de los tratamientos como la pulpotomía y el recubrimiento pulpar directo son sellar la herida de la pulpa, inducir la diferenciación de las células odontoblásticas y estimular la secreción de dentina para construir un puente de dentina. Por lo tanto, para mejorar el resultado clínico, se deben desarrollar nuevos biomateriales que puedan estimular de forma óptima y específica las vías de diferenciación de los odontoblastos, esta diferenciación puede identificarse por la expresión génica relativa (26, 29).

2.4. Actividad antibacteriana

El tratamiento del conducto radicular reduce, pero generalmente no elimina todos los microorganismos, debido a que se ha evidenciado la persistencia de microorganismos

en los túbulos dentinarios, conductos laterales y en las deltas apicales después del tratamiento del conducto radicular. Por lo tanto, se considera beneficioso si los materiales de endodoncia que están permanentemente sellados en el conducto radicular tienen una actividad antibacteriana duradera. Los ensayos de prueba de difusión de agar (ADT, por sus siglas en inglés) se han utilizado en estudios anteriores como una técnica semicuantitativa para evaluar la actividad antibacteriana de diversos materiales dentales; sin embargo, es difícil comparar los datos de inhibición bacteriana debido a la falta de control de un gran número de variables. Los resultados de ADT también están altamente influenciados por la solubilidad y la difusión del agente de prueba a través del agar, pero estas interacciones no se comprenden bien. Por lo tanto, el valor de ADT en la predicción de la eficacia antimicrobiana de varios materiales *in vivo* es deficiente, y ADT ya no se recomienda para este fin. Desde entonces, el ADT ha sido reemplazado por la prueba de contacto directo (DCT), que se basa en medir el efecto del contacto directo y cercano entre los microorganismos y el material sometido a prueba sobre el crecimiento microbiano. DCT refleja mejor el verdadero potencial antimicrobiano de los diversos selladores en entornos estandarizados, aunque muchos estudios DCT han encontrado que varios cementos endodónticos son efectivos contra las bacterias de cultivo planctónico, hasta ahora hay poca evidencia de su efectividad contra los microorganismos en biopelículas y en dentina infectada. Recientemente, se introdujo un nuevo modelo de infección dentinaria para establecer una presencia estandarizada y densa de bacterias en los túbulos dentinarios. Este modelo se ha utilizado para medir la efectividad de las soluciones desinfectantes contra las biopelículas de *E. faecalis* en la dentina, y ha producido resultados reproducibles en un entorno estandarizado utilizando tinción de viabilidad y microscopía de escaneo láser confocal (CLSM). Hasta el momento, hay poca evidencia disponible que demuestre que los materiales biocerámicos utilizados con fines endodónticos pueden matar bacterias en los conductos radiculares con dentina infectada; sin embargo, el modelo estandarizado de infección dentinaria tiene un gran potencial para revelar la actividad antibacteriana de los biocerámicos endodónticos contra la infección dentinaria (26, 29).

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

AGREGADO DE TRIÓXIDO MINERAL (MTA)

En 1993, Torabinejad *et al.* de la Universidad de Loma Linda, introdujeron un material a base de silicato, el MTA, para la reparación de perforaciones y como material de relleno de raíz. El MTA se fabricó por primera vez en color gris (ProRoot MTA, Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, OK), pero debido a las preocupaciones estéticas, en 2002 la compañía introdujo MTA blanco en el mercado dental (37).

El uso de MTA se ha recomendado para recubrimiento pulpar tanto para dientes permanentes como para dientes deciduos, pulpotomías, sellado de perforaciones y apicoformación en dientes permanentes (38). Desde su introducción a la endodoncia, el MTA ha mostrado un gran éxito clínico debido a su buena capacidad de sellado y biocompatibilidad (5,6). Entre muchas ventajas de MTA, la principal y única es que el establecimiento del MTA no se ve afectado negativamente por la presencia de agua (39).

Los principales constituyentes del MTA son silicato tricálcico y silicato dicálcico. Además, el MTA contiene una cantidad relativamente pequeña de aluminato tricálcico y aluminoferrita tetracálcica y para aumentar la radiopacidad, se le añadió óxido de bismuto. Es bien conocido en la química del cemento, que el silicato tricálcico y el silicato dicálcico están hechos de cal (CaO) y sílice (SiO₂). Estos y algunas otras materias primas como el óxido de aluminio (Al₂O₃) y el óxido férrico (Fe₂O₃) se calientan para formar cuatro fases de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminoferrita tetracálcica (40).

El gran interés en este material se debe a su menor citotoxicidad en comparación con otros materiales de relleno y su capacidad para inducir la formación de tejido mineralizado (41). 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, una manipulación complicada y un potencial de decoloración dentinaria (41).

1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

Respecto al valor del pH del MTA, este es 10.2 después de la mezcla y aumenta hasta 12.5 después de 3 horas, mientras que el MTA blanco (WMTA) muestra un valor de pH significativamente más alto, 60 minutos después de la mezcla en comparación con el MTA gris (GMTA). El alto valor de pH se atribuye a la liberación constante de iones de calcio presentes en el MTA y la formación de hidróxido de calcio. Los resultados del grado de solubilidad del MTA han sido contradictorios entre diferentes estudios, pero la mayoría de estos informaron baja o nula solubilidad para el MTA; sin embargo, se informó un aumento de la solubilidad en un estudio a largo plazo (42).

La porosidad del MTA está relacionada con el atrapamiento de burbujas de aire durante el procedimiento de mezcla y el pH ácido ambiental. Existe una tendencia a que cuanto más ácido es el ambiente, más extensa será la porosidad. Así mismo al presentarse una baja humedad, los bajos valores de pH, la presencia de un agente quelante y las altas fuerzas de condensación pueden afectar negativamente la microdureza del MTA (29, 42).

La radiopacidad media para el MTA ha sido reportada en 7.17 mm de espesor equivalente de aluminio, el WMTA es más radiopaco que el GMTA, de acuerdo con dos estudios repostados. Debido a que se usa una cantidad similar de óxido de bismuto para producir radiopacidad para ambos materiales, la presencia de otras sustancias incluidas en el WMTA explica la diferencia entre los dos (42).

De acuerdo con la resistencia a la compresión del MTA, varios son los factores que influyen en ella: el tipo de MTA, el líquido que se mezcla con el material, la presión de condensación sobre el material, el valor del pH del líquido utilizado para mezclar y las condiciones de almacenamiento del MTA. La resistencia a la compresión es menor en el WMTA cuando el material es grabado con ácido fosfórico, y la resistencia a la compresión del MTA es menor que el de la amalgama, IRM y Super EBA después de 24 horas; sin embargo, después de 3 semanas, no hay diferencia entre los materiales mencionados (42).

2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Estudios sobre la biocompatibilidad, han demostrado que el MTA es un material biocompatible, dado que estudios sobre la citotoxicidad y la unión celular con varios cultivos revelaron mejores resultados con MTA que con amalgama, súper EBA, IRM, varios tipos de ionómeros de vidrio y gutapercha. El MTA muestra una biocompatibilidad similar a la nueva generación de materiales endodónticos biocerámicos, que incluyen al biodentine, el endosequence, y el BC Sealer o iRoot SP; sin embargo, hay algunos desacuerdos con respecto a la citotoxicidad relativa del WMTA y GMTA (29).

La biomineralización y la estimulación de la diferenciación celular son otras dos características biológicas de MTA, dado a que puede inducir el fenotipo osteogénico que refleja la regulación positiva de la expresión de fosfatasa alcalina, osteonidógeno, osteonectina y osteopontina, dado a que existe una proliferación de células pulpares indiferenciadas similares a odontoblastos inducidos por el MTA. En un estudio las células cultivadas con WMTA revelaron la proteína de choque térmico 25 como un marcador para la diferenciación de odontoblastos durante la curación de la pulpa, otras investigaciones más recientes informaron que el MTA, con o sin derivado de la matriz del esmalte, mejora la diferenciación y mineralización de las células de la pulpa dental humana (27, 29).

Las propiedades antibacterianas del MTA se han evaluado ampliamente con informes algo conflictivos, pues varios estudios informan que el MTA tiene un efecto antimicrobiano limitado contra algunos microorganismos. El efecto antibacteriano del MTA se detectó en algunas bacterias facultativas, pero no hubo efecto en las especies estrictamente anaerobias. Recientemente se informó que la dentina mejora la actividad antibacteriana del MTA, y que el comportamiento antibacteriano del MTA solo podía detectarse cuando estaba recién mezclado. Los resultados contradictorios sobre las actividades antibacterianas de MTA se pueden atribuir a la especie de los microorganismos y a la cantidad y el tipo de MTA utilizado (29).

BIODENTINE

Las deficiencias del MTA, como las difíciles características de manejo, el largo tiempo de fraguado, el alto costo y el potencial de decoloración, llevaron al desarrollo de nuevo cemento de silicato de calcio en el año 2009, el Biodentine, descrito como un sustituto bioactivo de la dentina, por la casa comercial Septodont de Saint-Maur-des-Fossés, Francia. Entre sus componentes se encuentra una fase en polvo de silicato tricálcico con adición de carbonato de calcio como relleno y óxido de zirconio como elemento de radiopacidad. Tiene también una fase líquida de cloruro de calcio, agua y un agente reductor. Se caracteriza por ser inorgánico y no metálico. Las principales propiedades del material se relacionan con mejores propiedades físicas y biológicas como mejor manipulación, tiempo de fraguado rápido, radiopacidad, resistencia a la compresión mayor, densidad incrementada, porosidad disminuida y síntesis temprana de dentina reparativa, cuando se ha comparado con el MTA (43). El tiempo de fraguado del material es de 9 a 12 minutos, siendo más corto que el MTA (44). En el estudio de Grech *et al.* el Biodentine mostró una alta fuerza a la compresión comparado con otros materiales probados (45). Su uso se ha aplicado clínicamente como recubrimiento pulpar, para pulpotomías, sellado de perforaciones y apicoformación en dientes con ápice abierto (44).

El Biodentine no contiene aluminato, lo que acorta su tiempo de fraguado y evita riesgos potenciales para la salud, así mismo, mantiene la interfaz hueso-biomaterial, tiene buena capacidad para sellar, no es genotóxico, tiene baja citotoxicidad y promueve una menor decoloración dental coronal que el MTA. Con respecto a los aspectos biológicos, se ha demostrado que el Biodentine induce la diferenciación de las células de la pulpa dental en células de tipo odontoblastos y estimula la biomineralización (35). Los casos clínicos humanos que utilizaron Biodentine para tratamientos endodónticos conservadores y radicales mostraron resultados satisfactorios con respecto a la inducción de la mineralización (46).

MTA ANGELUS

El agregado trióxido mineral Angelus es un cemento basado en MTA; se encuentra compuesto de 80% de cemento Portland y 20% de óxido de bismuto, sin adición de sulfato de calcio, en un intento por reducir el tiempo de fraguado (26, 29, 47).

1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

El tiempo de fraguado del MTA Angelus es de aproximadamente 14 minutos, que es considerablemente menor que el WMTA y GMTA. El análisis de un estudio previo comparó la forma de composición en polvo del GMTA y MTA Angelus, y encontró que el GMTA contiene una mayor cantidad de óxido de bismuto y fosfato de magnesio. Por el contrario, la cantidad de carbonato de calcio, silicato de calcio y fosfato de bario de zinc en el MTA Angelus fue mayor que en el GMTA; otro estudio demostró que la cantidad de calcio en el MTA Angelus es más alta que en el GMTA, mientras que las cantidades de carbono, oxígeno, bismuto y sílice son más altas en el GMTA. Además, un estudio sobre el tamaño de la partícula de cementos basados en MTA concluyó que el MTA Angelus tiene una variación más alta en el tamaño de la partícula que en el MTA (26, 29).

Referente al pH y la liberación de ion calcio del MTA Angelus, diversos estudios han informado que éste produce un mayor valor de pH y liberación de iones de calcio que el GMTA dentro de las 168 horas posteriores a la mezcla, sin embargo, en otro estudio se registró que la liberación de pH y calcio fue menor en el MTA Angelus que en el MTA; asimismo otro estudio informó que el pH y la liberación de iones de calcio entre el MTA y el MTA Angelus no es significativamente diferente. Las diferencias entre estos estudios se pueden atribuir a la duración del tiempo de medición después de mezclar el material y el efecto inducido por el cambio de la solución para la incubación del material. Además, la microdureza del MTA Angelus aumenta con el tiempo de incubación y por la influencia de la técnica de mezcla (26, 29).

La calidad del sellado del MTA Angelus en comparación con la amalgama libre de zinc, el Vitremer (un cemento de ionómero de vidrio modificado con resina) y el súper

EBA, presenta el mejor sellado contra la dentina radicular entre todos los materiales. Un estudio encontró más filtración en el MTA Angelus y el Vitremer en comparación con el súper EBA en secciones apicales; sin embargo, no se pudo encontrar ninguna diferencia significativa entre MTA Angelus y Super EBA en otras secciones dentales. Existe controversia entre el MTA Angelus y el MTA, un estudio no mostró diferencias entre la filtración, mientras que el GMTA mostró menos filtración cuando fue utilizado como material de reparación de perforaciones. Cuando se utiliza una matriz interna en el MTA Angelus se obtiene un mejor sellado, así mismo, presenta una radiopacidad menor que el WMTA y el GMTA (26, 29).

2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

El MTA Angelus blanco y gris no son citotóxicos ni genotóxicos en concentraciones de 1 a 1000 lg/mL. En tres estudios se comparó el uso de materiales en el recubrimiento pulpar directo y la pulpotomía, se encontró que el MTA y el MTA Angelus son menos citotóxicos en fibroblastos y líneas celulares de celulosa que el formocresol, el hidróxido de calcio, el Vitrebond, el súper EBA y el sulfato férrico. En estudios de citometría de flujo se comparó la citotoxicidad y la genotoxicidad del MTA Angelus y un nuevo material biocerámico que contiene aceite de ricino y ninguno de los materiales mostró efectos citotóxicos en células de pulpas humanas (29, 47).

La reducción en la viabilidad celular también ha sido reportada por varios estudios cuando se utiliza el MTA Angelus. Un primer estudio demostró que el MTA Angelus redujo significativamente la viabilidad de las células endoteliales en las primeras 24 horas, sin encontrarse diferencias significativas en la viabilidad celular entre los grupos control y experimental a las 48 y 72 horas. Otros dos estudios informaron que el MTA Angelus y el MTA tienen efectos citotóxicos sobre los fibroblastos V79 y los fibroblastos gingivales humanos. Las secciones histológicas se han utilizado para evaluar las reacciones tisulares en varios estudios de cobertura de la pulpa. Al realizar un recubrimiento pulpar con MTA Angelus o hidróxido de calcio en OD, que fueron extraídos después de 30 o 60 días, se encontró como resultados histológicos de seguimiento a los 60 días, una respuesta

histológica similar, con la formación de un puente de tejido duro en casi todos los casos con bajo infiltrado inflamatorio (29).

El MTA Angelus curado con luz y sin luz proporciona una respuesta inflamatoria similar, así como curación ósea. Así mismo, se observa mineralización distrófica al utilizar el MTA Angelus (29).

La capacidad antibacteriana del MTA Angelus es baja comparada con la del MTA, pues un estudio comparó la capacidad antimicrobiana del MTA Angelus, del Sealapex, del fill canal, del cemento Portland y del EndoRez en varias especies de microorganismos, incluyendo el *Enterococcus faecalis* y *Escherichia coli*, los resultados mostraron que tanto el MTA Angelus como el cemento Portland fueron efectivos solo contra *E. faecalis*. Otro estudio que comparó los cementos GMTA, MTA Angelus y Portland mostró que todos estos materiales tenían actividad antimicrobiana contra los microorganismos probados, incluida *E. coli*; otros estudios informaron una actividad antibacteriana similar del MTA Angelus y el MTA contra especies de *Streptococcus*, *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* (29).

MTA PLUS

El MTA Plus es un polvo fino, producto de menor costo que tiene una composición similar al ProRoot MTA de color del diente y se puede mezclar con un líquido o gel. Este material basado en silicato tricálcico y dicálcico puede usarse como un sellador de conductos radiculares cuando se mezcla con gel, lo que también mejora las propiedades de manejo y la resistencia al lavado. Al usar un gel y variar la relación de polvo a gel, se pueden obtener diferentes tiempos de fraguado y propiedades fisicoquímicas (29, 42).

1. PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

El MTA Plus presenta una reactividad mejorada y capacidad prolongada para liberar calcio y aumentar el pH local a valores alcalinos en comparación con el ProRoot MTA. La propiedad de iones de liberación está interrelacionada con su polvo fino, la porosidad, la absorción de agua, así como la solubilidad y la formación de minerales de fosfato de calcio. De acuerdo con la resistencia de la unión de expulsión del MTA Plus comparado con el EndoSequence, cuando se utilizan en una técnica termoplástica, se demuestra que la resistencia de unión es favorable cuando se usa en una técnica de un solo cono, mientras que cuando se utiliza la técnica de onda continua el MTA Plus presenta significativamente una resistencia de unión más baja que usando la técnica de un solo cono. Sin embargo, esta diferencia no se observó con el sellador BC Sealer, lo que probablemente indica que el rendimiento de los selladores se ve afectado por su diferente composición. En un estudio *in vitro* se encontró cambios químicos mínimos en el MTA Plus cuando se sometió a compactación vertical caliente. En cuanto a su resistencia a la compresión el MTA Plus tienen valores similares al del Endosequence Root Repair Material (ERRM) y el MTA, pero los valores son más altos que el QuickSet (29, 42).

2. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Tanto en el tipo de MTA Plus blanco como en el gris, los riesgos citotóxicos son insignificantes para las células de tipo odontoblastos cuando se usa el ensayo XTT y la citometría de flujo. Los efectos citotóxicos impuestos por el MTA Plus en las células MDPC-23 dependen del tiempo y de la concentración. Además, el MTA Plus gris favorece un mayor crecimiento y viabilidad celular en comparación con el MTA Plus blanco. Cuando se utiliza como agente de recubrimiento pulpar después de la pulpotomía, es posible detectar el puente dentinario a los 30 y 60 días, y las pulpas aún eran vitales 60 días después del tratamiento. El MTA Plus presenta propiedades equivalentes al ProRoot MTA que se utiliza para procedimientos endodónticos para el recubrimiento de la pulpa (29).

NEOMTA PLUS

El MTA, es un medicamento bioactivo, no citotóxico, que no contiene resinas. Originalmente se introdujo como un medicamento para la reparación de las perforaciones radiculares, se ha demostrado que se utiliza con éxito en muchos procedimientos endodónticos, incluyendo pulpotomías, recubrimientos directos, apicogénesis y apicoformación. A pesar de que goza de gran éxito clínico, el MTA puede tener sus desafíos y desventajas. En primer lugar, una de las principales desventajas del MTA es la posible decoloración de los dientes, que puede comenzar poco después del tratamiento. En segundo lugar, los MTA pueden ser difíciles de manipular, así como, tener un tiempo de fraguado largo, dificultad de remoción una vez establecido y alto costo del material (48).

Recientemente, salió al mercado 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, ambas son elaboración y patenticidad de la Dra Carolyn Primus siendo éstas dos marcas totalmente iguales en composición, pero la venta del NeoMTA Plus de Avalon ésta enfocada 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 (49). El óxido de tantalio ha sido introducido recientemente en algunos cementos endodónticos como iRoot y Endosequence. Dicho componente promueve propiedades fisicoquímicas deseables tales como buena radiopacidad, producción de hidróxido de calcio y no exhibe decoloración en el órgano dentario; tiene aplicaciones en la regeneración tisular con baja citotoxicidad. Estas características lo convierten en un componente ideal para el proceso de reparación endodóntica (50). El NeoMTA Plus es ideal para las pulpotomías pediátricas, el recubrimiento directo e indirecto de la pulpa, la apicogénesis y la apicoformación. NuSmile dice que el material es fácil de mezclar y aplicar, y ofrece características de manejo superiores. Entre las principales características fisicoquímicas, se puede mencionar un flujo de 25 a 29 mm cuando se mezcla en una proporción 1:1, cuenta con una solubilidad menor al 3%, una radiopacidad de 5mm de

aluminio, una resistencia a la compresión de 80mPa a partir de 7 días de su colocación y un PH de 12 durante los primeros 3 días y baja a un PH de 7 el cual se mantiene durante 28 días. La fórmula radiopaca, no decolorante es rápidamente resistente al lavado y se establece mucho más rápido que otros MTA, teniendo un 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. Se recomienda utilizar una losa de vidrio junto 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 (48, 50).

JUSTIFICACIÓN

A pesar del interés de la profesión odontológica en la prevención de enfermedades de la cavidad oral como la caries, el tratamiento dental restaurador y las lesiones traumáticas, no se han podido eliminar. Situación preocupante para el área de endodoncia ya que éstas se convierten en amenazas para la supervivencia del tejido pulpar.

Los casos de pacientes con OD necróticos con FRI o ápices abiertos se presentan en la clínica de endodoncia principalmente en población joven. Las dificultades del tratamiento en estas condiciones se elevan por las dificultades del operador de mantener el material de obturación dentro de los límites del conducto.

Para resolver este problema, se ha pretendido establecer una barrera a nivel apical con materiales biocompatibles. Inicialmente se utilizó el hidróxido de calcio para este fin, pero se requerían meses y aún años para completarla. Posteriormente se introdujo el MTA que permitió la creación de esta barrera en dos o tres citas acompañada con las cualidades curativas del Ca(OH)_2 . Sin embargo, el MTA aún presenta algunas dificultades como difícil manipulación, pigmentación del órgano dentario y necesidad de varias citas.

En consecuencia, se ha visto la necesidad de planear e innovar procedimientos dirigidos al tratamiento de dichas enfermedades, los cuales se han convertido en parte integral de la odontología actual. Como parte de esta innovación, se han elaborado materiales que ayuden a llevar a cabo dichos tratamientos y mejorarlos en tiempo, manipulación y eficacia, por lo que se requiere un conocimiento y actualización sobre los mismos.

El NeoMTA Plus es un nuevo material que ofrece reforzar y mejorar las características comparado con otros MTA y materiales utilizados en el tratamiento de tapones apicales. Sin embargo, ya que existe poca información *in vitro* y nulas investigaciones *in vivo* que lo sustenten, es indispensable corroborar la información del fabricante y su aplicación clínica.

A partir de este razonamiento, se establece la necesidad de estudiar e investigar la eficacia del NeoMTA Plus con la finalidad de obtener mejores resultados en un menor número de citas disminuyendo el tiempo de trabajo y así, poder contribuir al bienestar y estabilidad del paciente brindándole comodidad, calidad e innovación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficacia del NeoMTA Plus como tapón apical en OD permanentes necróticos con FRI.

MATERIAL Y MÉTODOS

DISEÑO DEL ESTUDIO

Observacional, prospectivo, longitudinal y descriptivo.

VARIABLES Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Cuadro de variables

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

POBLACIÓN DE ESTUDIO

1. Universo

Fueron 1642 pacientes que acudieron a la Clínica de Posgrado de Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán en el período comprendido entre enero de 2017 a enero de 2018.

2. Tamaño de la muestra

Se tomó una muestra de 7 pacientes que asistieron a consulta en el Posgrado de Endodoncia de la Facultad de Odontología de la Universidad Autónoma de Yucatán y que recibieron tratamiento de tapón apical con NeoMTA Plus, durante el periodo entre enero de 2017 a enero de 2018.

3. Criterios de inclusión

Pacientes con OD con necrosis pulpar y FRI con grado III y IV de Patterson a los que se colocó tapón apical de NeoMTA Plus y que aceptaron participar en el estudio.

4. Criterios de exclusión

Pacientes con alguna enfermedad sistémica

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 a los que se les diagnosticó alguna enfermedad sistémica durante el proceso.

METODOLOGÍA

Todos los pacientes que acudieron al posgrado de la Facultad de Odontología de la UADY fueron invitados a participar en la investigación, previa carta de consentimiento informado (Anexo 2) firmada y en caso de que fuera menor de edad, firmada por el padre o tutor, explicándoles el objetivo del tratamiento y que, al examen clínico y radiográfico, previa anamnesis, se detectaron OD permanentes con FRI que pertenecieron al grado III y IV de Patterson y necrosis pulpar. El registro de anamnesis incluyó datos como nombre, edad, sexo, motivo de consulta, antecedentes médicos, exploración clínica extraoral e intraoral. Se tomaron radiografías periapicales y se estableció el diagnóstico y plan de tratamiento, los cuales fueron anotados en el instrumento generado para el desarrollo de esta investigación (Anexo 1).

El protocolo para la colocación de tapón apical con NeoMTA Plus fue el siguiente:

1. En la primera cita, se anestesió con lidocaína al 2% y epinefrina 1:100:000, se colocó aislamiento absoluto y se realizó la apertura cameral. Se localizaron los conductos, se estableció la cavometría y se irrigó con hipoclorito de sodio al 5.25%, EDTA al 17% y solución salina. Se colocó hidróxido de calcio dentro de los conductos, se selló con óxido de zinc y eugenol y se dio cita a los 15 días.
2. En la segunda cita, se anestesió de la misma manera al paciente y se colocó aislamiento absoluto, se retiró el hidróxido de calcio irrigando con hipoclorito de sodio al 5.25% y solución salina, se rectificó la 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 preparó la mezcla de NeoMTA Plus colocándose de 3 a 5 mm del tercio apical. Después de unos minutos se verificó mediante una radiografía esta longitud y que el material haya fraguado completamente. Finalmente, se procedió a obturar el conducto con gutapercha mediante condensación lateral y se colocó una restauración provisional de óxido de zinc y eugenol. Se dieron indicaciones al paciente sobre el tiempo estimado para que se le realice el sellado coronal, el cual no debe ser mayor a 30 días una vez finalizado el tratamiento endodóntico.
3. Se citó a los pacientes para citas de control al mes, a los 3 y 6 meses para valoración clínica y radiográfica. Las radiografías se tomaron con técnica de paralelismo con el aditamento radiográfico XCP con la finalidad de estandarizar las angulaciones para evitar variaciones en posicionamiento de los controles radiográficos.

La evaluación de los hallazgos clínicos y radiográficos que se obtuvieron se basaron en los criterios de Strindberg (Tabla 1) y el PAI (Índice Periapical) (Tabla 2).

Tabla 1. Criterios clínicos y radiográficos propuestos por Strindberg

RESULTADO	CLÍNICA	RADIOGRAFÍA
Éxito (normal)	No aparecieron 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.

(51)

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.

(52)



Figura 2. Índice Periapical (PAI)

Los datos y resultados obtenidos fueron registrados en las múltiples fases del proyecto y los resultados fueron evidenciados mediante tablas y gráficas de análisis, por medio de porcentajes y frecuencias.

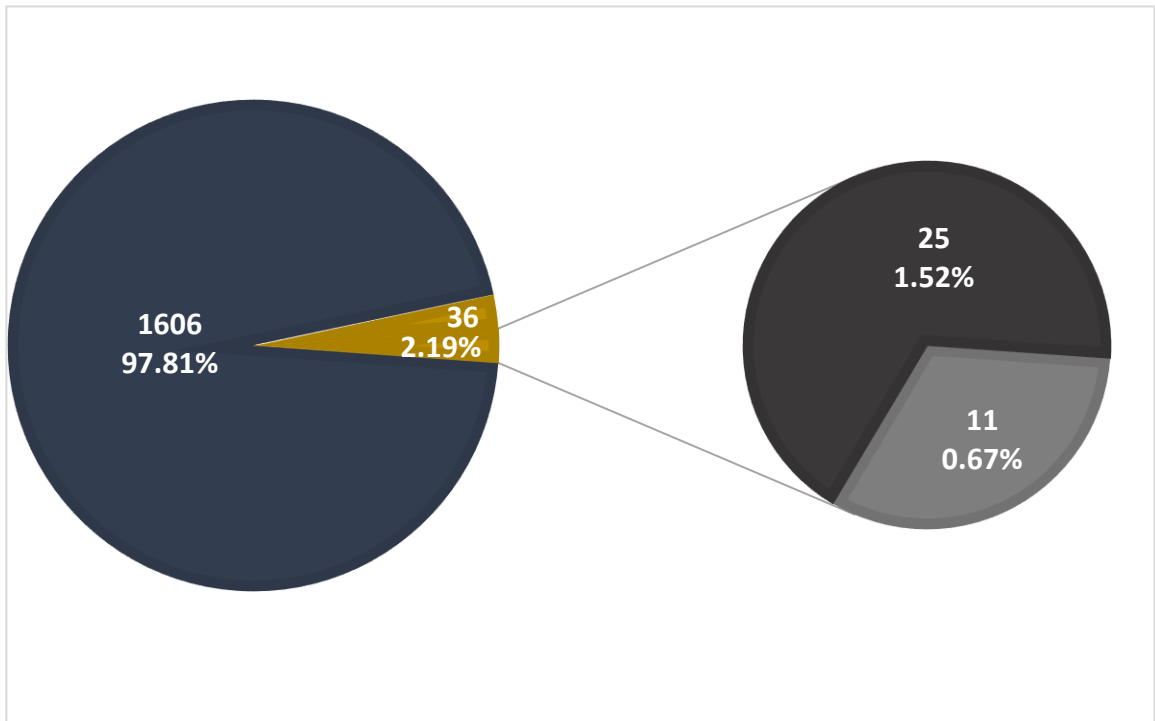
ASPECTOS ÉTICOS

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 con 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

Del total de OD que recibieron tratamiento endodóntico (n=1642) en la Clínica del Posgrado en Endodoncia en el periodo comprendido de enero de 2017 a enero de 2018, 36 (2.19%) fueron diagnosticados con ápice abierto o con FRI. De esos 36 (100%), 11 (0.67%) tenían pulpa vital recibiendo tratamiento de apicogénesis y los otros 25 (1.52%) OD con ápice abierto estaban necróticos (Figura 3).



FORMACIÓN RADICULAR COMPLETA	NECRÓTICOS
ÁPICE ABIERTO	PULPA VITAL

Figura 3. Prevalencia de OD necróticos con FRI

De los 25 OD necróticos: 1 (4%) recibió tratamiento de apicoformación con hidróxido de calcio, a 12 (48%) se les realizó revitalización y en 12 (48%) se colocaron tapones apicales (Figura 4).

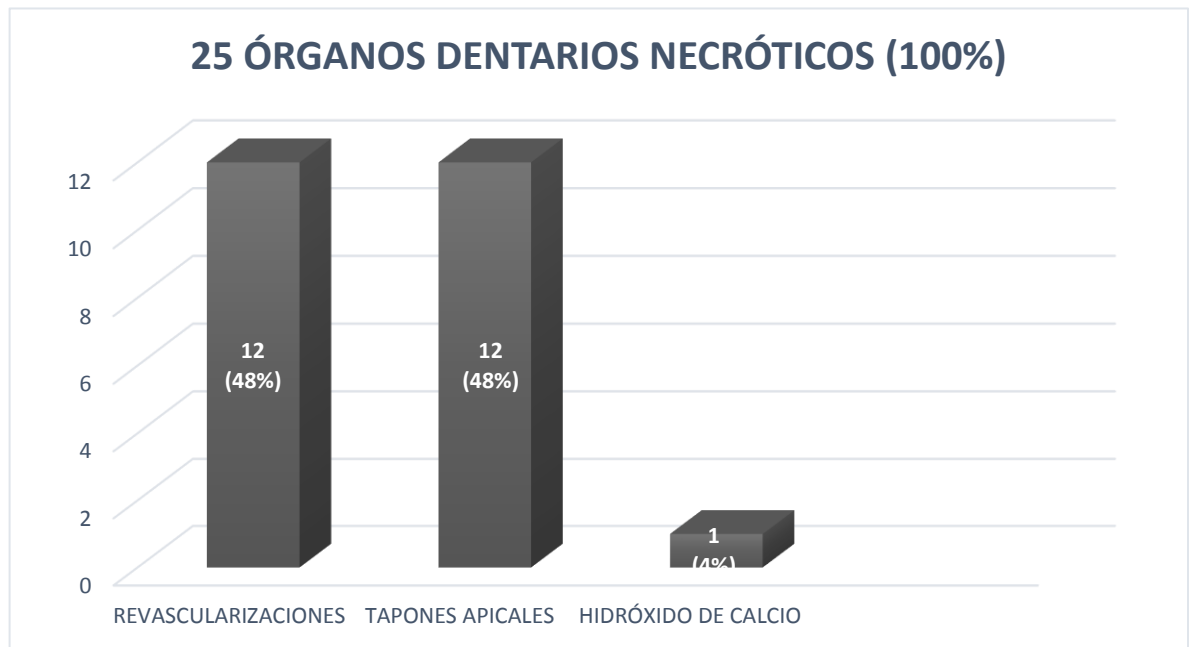


Figura 4. Prevalencia de tratamientos de OD necróticos con FRI

Basándonos en el objetivo de esta investigación con los 12 (100%) tapones realizados: a 1 (8.33%) se le colocó con MTA, a 3 (25%) se les colocó Biodentine y 8 fueron planeados para tratamiento con NeoMTA Plus siendo el 66.67% (Figura 5).

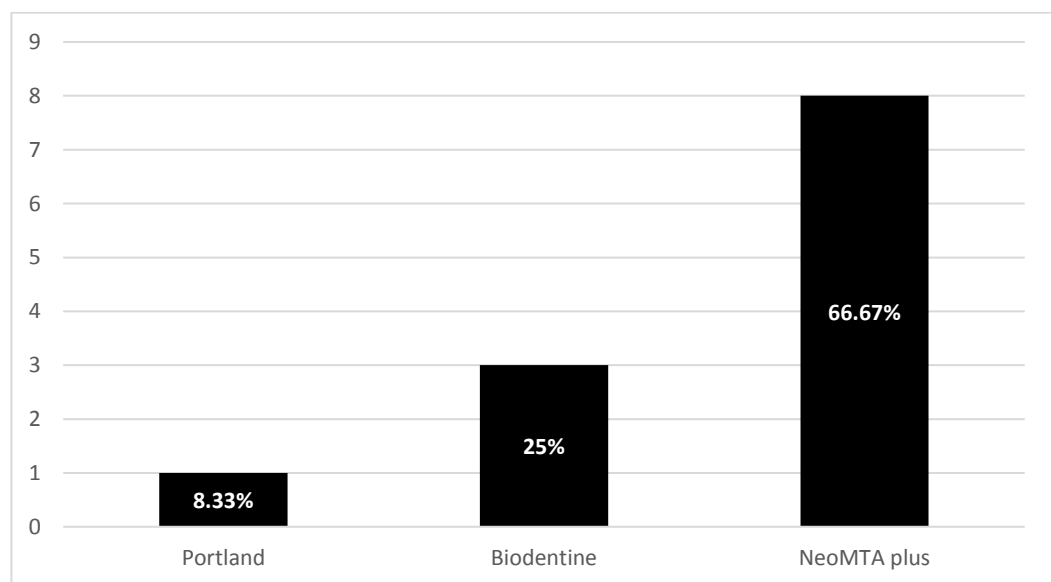


Figura 5. Prevalencia de materiales utilizados para tapones apicales

De los casos que se planearon para la colocación de tapón con NeomTA Plus 1 fue eliminado según los criterios de eliminación debido a presencia de fractura radicular no vinculada con el proceso del tratamiento por lo que son 7 casos en total los que se encuentran en controles.

Los 7 OD tratados se encontraban en el grado IV de Patterson. Siendo que la razón de la colocación de tapones apicales fue que dichos OD presentaban necrosis pulpar, su diagnóstico periapical se toma en cuenta en esta investigación teniendo que 4 (57.14%) presentaban periodontitis apical asintomática y 3 (42.86%) absceso apical crónico. Debido a que la muestra es reducida, las edades de los tres pacientes varían: uno de 8 años (14.28%), dos de 11 años (28.58%), dos de 12 años (28.58%), uno de 17 años (14.28%) y uno de 23 años (14.28%). Dos (28.57%) de los pacientes tratados fueron del sexo femenino y 5 (71.43%) del sexo masculino. La caries fue el factor etiológico de 3 (42.86%) OD y en 4 (57.14%) fue por traumatismo (Tabla 3).

Tabla 3. Prevalencia de sexo, patología periapical y factor etiológico

	Edad	Femenino (2/28.57%)	Masculino (5/71.43%)	Patología periapical	Factor etiológico
Tapón apical 1	8 años	-	1	Ninguna	Traumatismo
Tapón apical 2	11 años	1	-	AAC	Caries
Tapón apical 3	23 años	-	1	PAA	Traumatismo
Tapón apical 4	11 años	1	-	AAC	Traumatismo
Tapón apical 5	12 años	-	1	PAA	Caries
Tapón apical 6	12 años	-	1	PAA	Traumatismo
Tapón apical 7	17 años	-	1	PAA	Caries

Uno de los tapones ya terminados con NeOMTA Plus tienen control a un año, tres a 6 meses y tres a 3 meses. Según los criterios de Strindberg, el tratamiento de los 7 OD se considera como éxito y de acuerdo con el PAI, 4 se encuentran en el criterio 1 de Orstavik, 2 en el criterio 2 de Orstavik y uno de los OD se encuentra en el criterio 3 de Orstavik (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de controles clínicos y radiográficos

Criterios	INICIAL	Control 1 mes		Control 3 meses		Control 6 meses		Control 1 año	
	PAI	Strindberg Clínico	PAI	Strindberg Clínico	PAI	Strindberg Clínico	PAI	Strindberg Clínico	PAI
Tapón apical 1	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1
Tapón apical 2	4	ÉXITO	4	ÉXITO	4	ÉXITO	3		
Tapón apical 3	4	ÉXITO	4	ÉXITO	3	ÉXITO	2		
Tapón apical 4	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1		
Tapón apical 5	1	ÉXITO	1	ÉXITO	1				
Tapón apical 6	2	ÉXITO	2	ÉXITO	1				
Tapón apical 7	2	ÉXITO	2	ÉXITO	2				

DISCUSIÓN

El tratamiento no quirúrgico de OD necróticos inmaduros permanentes es difícil para el clínico debido a la falta de resistencia y retención asociado al ápice abierto. Existen diversos estudios que reportan éxito a largo plazo utilizando el MTA como tapón apical en lugar de recurrir a la apicoformación con hidróxido de calcio como era comúnmente utilizado, ya que Shabahang en 2013 concluye que el uso prolongado del hidróxido de calcio produce un debilitamiento en las paredes dentinarias, lo que en muchas ocasiones conduciría a la fractura (6).

De acuerdo con Torabinejad, desde su introducción de MTA en los años 90's, así como durante sus extensas evaluaciones a lo largo de los años, lo reporta como un material bioactivo con una excelente biocompatibilidad y sellado obteniendo resultados clínicos deseables cuando es usado como tapón apical en OD necróticos con FRI (53). Esta es la razón por la cual en este estudio se realizó la colocación de tapones apicales. Aunque Silujjai en 2017 afirma que no hay una simple respuesta sobre que procedimiento debería ser el tratamiento de elección para los OD permanentes inmaduros no vitales debido a que ambos tratamientos, el tapón apical de MTA y la revascularización o revitalización, proporcionan un resultado satisfactorio en cuanto a la resolución de la enfermedad periapical y la retención funcional del diente, en este estudio se tomó como criterio la maduración radicular y apical, por lo que cuando los OD se encontraban en un grado III y IV de Patterson se colocaba tapón apical y si se encontraban en un grado menor, el tratamiento de elección utilizado en la Clínica del Posgrado de Endodoncia fue la revitalización (14).

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, que en la actualidad es el material

ideal para muchos autores como Vidal *et al.* quien demostró que disminuye el número de citas del tratamiento (19).

Sin embargo, en un estudio de Nowicka *et al.* donde se compararon el MTA con el Biodentine se demostró que ambos materiales son excelentes selladores y osteoformadores así como Daltoé *et al.* demostraron que no hay diferencias significativas en la viabilidad celular para estimular mineralización de la barrera dentinaria entre ambos materiales (46, 54).

Si el problema del MTA radica básicamente en su manipulación y su alto tiempo de fraguado, con la salida del NeoMTA Plus que modifica estas propiedades, se decidió utilizarlo en este estudio comprobando dichas mejorías.

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 cicatrización completa, así como ausencia de signos y síntomas de los OD tratados de acuerdo con los criterios de Strindberg y el índice periapical (51, 52). Dicho resultado es similar con un estudio realizado en 2016 por Monsreal *et al.* en donde se utilizó el Biodentine para tratamiento de taponos apicales y los resultados fueron favorables (55). Concordando con Camilleri *et al.* en 2015 donde concluye que el NeoMTA Plus y el Biodentine son alternativas adecuadas al MTA (56).

Dicha eficacia obtenida en este estudio se puede atribuir a las conclusiones de Turker *et al.* donde afirman que el NeoMTA Plus muestra adherencia a la dentina radicular mayor que el Biodentine y el ProRoot blanco (57). También se puede decir que el éxito de estos casos con NeoMTA Plus debido a la cicatrización y curación observada, podemos atribuirlo 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 (49).

Este estudio es el primero *in vivo* que utiliza el NeoMTA Plus para procedimientos clínicos de tapón apical, de manera que no existen otros estudios para comparar los resultados obtenidos. Es posible compararlo con estudios *in vitro* como el de Abu-Zeid *et al.* en 2017 donde afirman que debido a su rápido tiempo de fraguado y excelente bioactividad el NeoMTA Plus es el material de elección para tratamientos de tapones apicales (58). En este estudio se confirma el rápido tiempo de fraguado ya que de acuerdo con la guía de uso del fabricante Avalon, 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. No se puede tener el tiempo exacto ya que eso solo se mide mediante pruebas en estudios *in vitro*. Torabinejad *et al.* en 2018 mencionan 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 (59).

Con base en el estudio de Siboni *et al.* y las guías de uso del fabricante el NeoMTA Plus éste está compuesto de polvo y gel con una manipulación de la mezcla sencilla, fácil y rápida, lo cual es comprobable en este estudio ya que la consistencia obtenida similar a una masilla permitió que tanto la mezcla como la manipulación faciliten el uso y la colocación del tapón apical (48, 60).

La radiopacidad radiográfica observada durante este estudio fue buena, pudiéndose atribuir esta característica al tantalio, componente que mejora la radiopacidad y que provee resultados positivos, así como proporciona una mejor valoración radiográfica del tratamiento según Tanomaru-Filho *et al.* en su estudio en 2017 (50).

Durante los controles postoperatorios no se observó decoloración de la corona de los OD concordando con el estudio de Camilleri *et al.* donde indican que el NeoMTA Plus no exhibe cambios de coloración (56).

Como dato adicional, en los 2 casos con absceso apical crónico, el protocolo de colocación de hidróxido de calcio de 15 días se tuvo que aumentar a 1 mes ya que fue el tiempo en el cual se observó la ausencia del estoma, a diferencia del reporte de casos

clínicos de Hiremath *et al.* en 2016 donde su protocolo indica la colocación del hidróxido de calcio durante 15 días (61).

CONCLUSIÓN

De acuerdo con los resultados de este estudio podemos concluir que el NeoMTA Plus es un nuevo biocerámico eficaz como tapón apical ya que se obtuvo 100% de éxito en órganos dentarios con formación radicular incompleta con buenos resultados clínicos, así como 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 FRI.

Sin embargo, son necesarios más estudios *in vivo* con controles a largo plazo que proporcionen más información sobre el comportamiento y los resultados de éste nuevo biocerámico endodóntico que permitan comparar estos resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gómez ME, Campos A. Histología y embriología bucodental. 2a.ed. Madrid: Med Panam; 2007.
2. Gartnher, leslie p. James I. Hiatt. Texto y atlas de histología. 3a. ed. Madrid: Med Panam; 2002.
3. Orban B. Development and growth of teeth. Oral histology and embriology. 10th ed. St. Louis, cv: Mosby; 1985.
4. Hargreaves K, Berman I. Cohen's pathways of the pulp. 11ed. España: Elsevier; 2016.
5. Torabinejad M, Walton RE, Fouad AF. Endodontics: principles and practice. 15^a ed. Elsevier; 2015.
6. Shabahang S. Treatment options: apexogenesis and apexification. J endod. 2013; 39(3 suppl.):26–9.
7. Patterson SS. Endodontic management of the young permanent tooth. J. Den. Children. 1958; 25:215.
8. Abu-tahun I, Torabinejad M. Management of teeth with vital pulps and open apices. Endod top. 2012; 23:79–104.
9. Brannstrom M. Reducing the risk of sensitivity and pulpal complications after the placement of crowns and fixed partial dentures. Quintessence Int. 1996; 27: 673–678.
10. Hahn C, Liewehr FR. Innate immune responses of the dental pulp to caries. J endod. 2007; 33: 643–651.
11. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. Oral surg oral med oral pathol. 1965; 20: 340–349.
12. Hecova H, Tzigkounakis V, Merglova V. A retrospective study of 889 injured permanent teeth. Dent traumatol. 2010; 26:466-475.
13. Genco CA, Cutler ON, Kapczynski D, Maloney K, Arnold RR. A novel mouse model to study the virulence of and host response to porphyromonas (bacteroides) gingivalis. Infect immune. 1991; 59: 1255–1263.

14. Silujjai J, Linsuwanont P. Treatment outcomes of apexification or revascularization in nonvital immature permanent teeth : a retrospective study. *J endod.* 2017;43(2):238–45.
15. Trope M. Treatment of the immature tooth with a non-vital pulp and apical periodontitis. *Dent clin north am.* 2010;54(2):313–24.
16. Witherspoon DE, Small JC, Regan JD, Nunn M. Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. *J endod.* 2008; 34(10):1171–6.
17. Sheely EC, Roberts GJ. Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *Br dent J.* 1997; 183:241–6.
18. 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.
19. Vidal K, Martin G, Lozano O, Salas M, Trigueros J, Aguilar G. Apical closure in apexification: a review and case report of apexification treatment of an immature permanent tooth with biodentine. *J endod.* 2016;42(5):730–4.
20. Mohammadi Z, Dummer PM. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int endod j.* 2011; 44:697–730.
21. Jr JFS, Lopes HP. Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. 1999;361–9.
22. Ma J, Shen Y, Yang Y, Gao Y, Khakpour M, Haapasalo M. *In vitro* study of calcium hydroxide removal from mandibular molar root canals. *J endod.* 2015; 41(4):553–8.
23. Frank AL. Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *J am dent assoc.* 1966; 72(1):87–93.
24. Hachmeister DR, Schindler WG, Walker WA, Thomas DD. The sealing ability and retention characteristics of mineral trioxide aggregate in a model of apexification. 2002.

25. Mente J, Hage N, Pfefferle T, Koch MJ, Dreyhaupt J, Staehle HJ. Mineral trioxide aggregate apical plugs in teeth with open apical foramina : a retrospective analysis of treatment outcome. *J endodontics*. 2009; 35(10):1354–8.
26. 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; 32:47–85.
27. Trope M, Bunes A, Debelian G. Root filling materials and techniques: bioceramics a new hope? *Endod Top*. 2015; 32: 86-96.
28. Koubi G, Colon P, Franquin JC. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, biodentine, in the restoration of posterior teeth-a prospective study. *Clin Oral Investig*. 2013;17(1):243–49.
29. Wang Z. Bioceramic materials in endodontics. *Endod Top*. 2015; 32: 3-30).
30. Niu L, Jiao K, Wang T, Zhang W, Camilleri J, Bergeron B, Feng H, Mao J, Chen J, Pashley D, Tay F. A review of the bioactivity of hydraulic calcium silicate cements. *J Dent*. 2014; 42 (5):517-533.
31. Haapasalo M, Parhar M, Huang X, Wei X, Lin J, Shen Y. Clinical use of bioceramic materials. *Endod Top*. 2015; 32: 97-117.
32. Walsh RM, Woodmansey KF, Glickman GN, He J. Evaluation of compressive strength of hydraulic silicate-based root-end filling materials. *J Endod*. 2014;40(7):969-72.
33. Guneser MB, Akbulut MB, Eldeniz AU. Effect of various endodontic irrigants on the push-out bond strength of biodentine and conventional root perforation repair materials. *J Endod*. 2013;39(3):380–4
34. Candeiro GT, Correia FC, Duarte MA, Ribeiro-Siqueira DC, Gavini G. Evaluation of radiopacity, pH, release of calcium ions, and flow of a bioceramic root canal sealer. *J Endod* 2012; 3:842-45.
35. Silva E, Rosa T, Herrera D, Jacinto R, Gomes B, Zaia A. Evaluation of cytotoxicity and physicochemical properties of calcium silicate based endodontic sealer MTA Fillapex. *J Endod*. 2013; 39(2): 274-277.
36. Gandolfi MG, Silboni F, Primus CM, Prati C. Ion release, porosity, solubility and bioactivity of MTA Plus tricalcium silicate. *J Endod*. 2014; 40(10): 1632-1637.

37. Kohout GD, He J, Primus CM, Opperman LA, Woodmansey KF. Comparison of quick-set and mineral trioxide aggregate root-end fillings for the regeneration of apical tissues in dogs. *J endod.* 2015; 41(2):248–52.
38. Shayegan A, Petein M. The use of beta-tricalcium phosphate, white mta, white portland cement and calcium hydroxide for direct pulp capping of primary pig teeth. 2009;413–9.
39. Chang S. Chemical characteristics of mineral trioxide aggregate and its hydration reaction. 2012; 7658:188–93.
40. Camilleri J. Hydration mechanisms of mineral trioxide aggregate. 2007; 20:462–70.
41. Tavares L, Cintra A, Benetti F, Olinta I, Queiroz DA, Maria J. Of the new high-plasticity mta material. 2017;1–5.
42. Camilleri J. Mineral trioxide aggregate: present and future developments. *Endod Top.* 2015; 32: 31-46.
43. Hincapié S, Valerio AL. Biodentine: Una nueva propuesta en terapia pulpar. *Univ Odontol.* 2015; 34(73).
44. Malkondu O. A review on biodentine, a contemporary dentine replacement and repair material. 2014.
45. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dental materials.* 2013; 29 (2): 20-28.
46. Daltoé MO, Paula-Silva FW, Faccioli H. Expression of mineralization markers during pulp response to biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2016;42(4).
47. Sisli SN, Ozbas H. Comparative microcomputed tomographic evaluation of the sealing quality of ProRoot MTA and MTA Angelus apical plugs placed with various techniques. *J Endod.* 2017; 43(1):147-151.
48. Instructions for use NeoMTA Plus AVALON BIOMED® Y NeoMTA NuSmile®, 2016.
49. Tomás-Catalá C, Collado-González M, García-Bernal D. Biocompatibility of new pulp capping materials neomta plus, mta repair hp and biodentine on human dental

- pulp stem cells. *J Endod.* 2017; ?: 1-7.
50. Tanomahru-Filho M, Andrade AS, Rodrigues EM, Viola KS, Faria G., Camilleri J, Guerreiro-Tanomaru JM. Biocompatibility and mineralized nodule formation of NeoMTA plus and an experimental tricalcium silicate cement containing tantalum oxide. *Int Endod J.* 2017; 50 (2): 31-39.
 51. Strindberg LZ. The dependence of results of pulp therapy on certain factors. *Acta odontol scand.* 1956;14:1-175
 52. 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.
 53. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999; 25 (3): 197-205.
 54. Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M. Response of human dental pulp capped with bioceramics and mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 2013; 39: 743-747
 55. Monsreal-Peniche MB. Éxito clínico y radiográfico de tapones apical utilizando dos materiales [Tesis]. Mérida, Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán; 2016.
 56. Camilleri J. Staining potential of neomta plus, mta plus and biodentine used for pulpotomy procedures. *J Endod.* 2015; ?: 1-7.
 57. Türker S, Uzunoğlu E, Bilgin B. Comparative evaluation of push-out bond strength of NeoMTA Plus with Biodentine and white ProRoot MTA. *J Adh Sci and Tech.* 2017;31 (5):502-508.
 58. Abu Zeid ST, Alamoudi NM, Khafagi MG, Abou Neel EA. Chemistry and bioactivity of NeoMTA plus versus MTA Angelus root repair materials. *J Spectr.* 2017; ?: 1-9.
 59. Torabinejad M, Parirokh M., Dummer PMH. Mineral trioxide aggregate and other bioactive endodontic cements: an updated overview-part II: other clinical applications and complications. *Int Endod J.* 2018; 51: 284-317.
 60. Siboni F, Taddei P, Prati C, Gandolfi MG. Properties of NeoMTA Plus and MTA Plus cements for endodontics. *Int Endod J.* 2017; 50: 83–94.
 61. Hiremath G, Naik B, Shetty S. Apexification using mta plus as an plug-2 case reports. *J Dent Sci.* 2016; 4 (2): 83-85.

ANEXO 1

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Tratado por: _____ Órgano dentario: _____ Fecha: _____ Folio: _____
 Nombre del paciente: _____ Edad: 5 años Sexo: (M) (F)
 Expediente: _____ Nombre del padre o tutor: _____
 Teléfonos: _____
 Antecedentes médicos patológicos:
 Alergia: _____ Hipertensión: (Si) (No) Hipotensión: (Si) (No) Prob. Hepático: _____ Prob. Renal: _____
 Coagulación: _____ Prob. Cardíaco: _____ Respiratorios: _____ Otro: _____
 Alcohol o tabaco: _____ ¿Cuál? _____ Etc. y cont.: _____ Diabetes: (Si) (No), controlado: (Si) (No),
 glicemia actual: _____, Medicación: _____ Etc. y cont.: _____

- Señala con una "X" el diagnóstico:

PULPAR		PERIAPICAL				PREV TRAT	PREV INIC
PI	N	PAA	PAC	AAA	AAC		

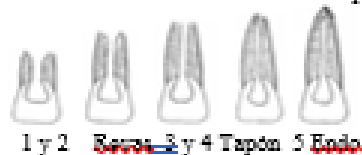
Plan de tratamiento: _____ Procedimiento: _____

DOLOR: Pacientes sin enfermedades sistémicas, mayores de 18 años, 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?: _____

- Molar en "C": (Si) (No) Ubicación de la fusión "C": (Bucal) (Lingual)

- Clasificación 
- Señala con una "X" la clasificación de Patterson en la que se encuentre:



- Señala con una "X" según el caso

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:

ANEXO 2

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO Y VOLUNTARIO

Mérida, Yucatán ____ de _____ de 2017.

Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Odontología.

Responsable: C.D. Karen Estefanía Méndez Bastarrachea

“EFICACIA DEL NEOMTA PLUS COMO TAPÓN APICAL EN ÓRGANOS DENTARIOS NECRÓTICOS CON FORMACIÓN RADICULAR INCOMPLETA”

El objetivo de este estudio es determinar la eficacia del NeoMTA Plus como tapón apical en órganos dentarios necróticos con formación radicular incompleta, 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 diente 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 decidiere, 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