



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

FO
FACULTAD DE
ODONTOLOGÍA



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
ENDODONCIA

**RETRATAMIENTO ENDODÓNTICO DE UN DIENTE CON
RIZOGÉNESIS INCOMPLETA**

ALUMNA: Od. María Candelaria Bellavia

DIRECTORA: Esp. Od. Ana Julieta González

MENDOZA, JULIO 2026

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer enormemente y de igual medida:

A todos los docentes que integran la carrera de Especialización en Endodoncia de la Universidad Nacional de Cuyo, bajo la dirección de la Prof. Dra. Graciela Peña, por guiarme en el aprendizaje de esta disciplina, así como por su generosidad y paciencia.

A mi directora de tesis Esp. Od. Ana Julieta González, por su gran ayuda y disposición constante.

A mi familia, por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida y, sobre todo, en este camino de formación académica.

A los amigos que me dio esta especialidad, con los que compartí mucho tiempo, tanto dentro como fuera de la facultad.

A la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Cuyo, por ser la institución que nos brinda la posibilidad de formación y crecimiento profesional.

ÍNDICE

Resumen	Pág. 4
Introducción	Pág. 5
Desarrollo del caso clínico	Pág. 21
Discusión	Pág. 27
Conclusión	Pág. 33
Referencias bibliográficas	Pág. 34

RESUMEN

Los dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar representan uno de los desafíos más complejos en la práctica endodóntica. La presencia de ápice abierto, paredes dentinarias delgadas y la ausencia de constricción apical dificultan la desinfección, la conformación y la obturación convencional del sistema de conductos. Los traumatismos dentales constituyen la causa más frecuente de necrosis pulpar en esta categoría de dientes y pueden interrumpir el proceso de apexogénesis.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la evidencia científica disponible sobre el abordaje endodóntico de dientes permanentes inmaduros con diagnóstico de periodontitis apical localizada con tracto sinusal, para determinar la evolución cronológica de las diferentes modalidades terapéuticas, con énfasis en las barreras apicales artificiales a base de biocerámicos y su éxito a largo plazo.

Se reporta el caso clínico de un paciente de sexo masculino de 28 años de edad que concurrió a la consulta con dolor, edema vestibular y tracto sinuoso en el incisivo central superior izquierdo (elemento 21), con antecedente de traumatismo dentoalveolar a los 7 años. El análisis radiográfico evidenció un tratamiento endodóntico previo deficiente, sin barrera apical, en un ápice abierto por detención del desarrollo radicular y presencia de lesión periapical.

Se realizó el retratamiento endodóntico mediante la confección de un tapón apical con cemento a base de silicato de calcio Bio-C Repair (Angelus, Brasil), previa colocación de una matriz de colágeno reabsorbible, y la posterior obturación del conducto con gutapercha termoplastificada y cemento sellador Bio-C Sealer. Se realizaron controles clínicos y radiográficos a los 10 y 18 meses, pudiendo observar la remisión del tracto sinuoso, ausencia de sintomatología y la progresiva reparación ósea de la lesión periapical.

Los cementos biocerámicos a base de silicato de calcio, y en particular el Bio-C Repair, representan una evolución significativa en el tratamiento endodóntico de dientes con ápice inmaduro. Su presentación lista para usar, su capacidad de fraguado en ambiente húmedo y sus propiedades bioactivas constituyen ventajas clínicas relevantes, permitiendo obtener resultados clínicamente favorables en el tratamiento de apexificación.

INTRODUCCIÓN

Los dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar representan uno de los desafíos más complejos en la práctica endodóntica contemporánea. La combinación de un ápice radicular abierto, paredes dentinarias delgadas y frágiles, y la ausencia de una constricción apical definitiva impone limitaciones significativas a las técnicas convencionales de preparación y obturación del conducto radicular. Esta situación clínica se presenta con mayor frecuencia como consecuencia de traumatismos dentales ocurridos durante la infancia, cuando las piezas dentarias aún no han completado su proceso de formación radicular, interrumpiendo el desarrollo normal y condicionando irreversiblemente la vitalidad pulpar del diente afectado. El manejo adecuado de estas situaciones requiere un conocimiento profundo de la biología del desarrollo dental, los principios de la desinfección del sistema de conductos radiculares y las propiedades de los materiales bioactivos disponibles en la actualidad, así como una visión integradora que articule los aspectos diagnósticos, terapéuticos y pronósticos del caso (Gill *et al.*, 2024; Plascencia *et al.*, 2017).

El desarrollo de los elementos dentarios constituye un proceso biológico extenso y complejo que comienza durante la vida intrauterina y se extiende hasta la adolescencia. Este proceso involucra una secuencia de etapas sucesivas que incluyen la iniciación, proliferación, histodiferenciación, morfodiferenciación, aposición y maduración de los tejidos dentarios. Los dientes temporales inician su formación alrededor de la sexta semana de vida intrauterina, mientras que los dientes permanentes comienzan su desarrollo en el período perinatal y continúan hasta aproximadamente los catorce años, con la formación de los segundos molares permanentes (Beltri, 2002). Este prolongado período de formación expone a los elementos dentarios a un amplio espectro de agentes etiológicos capaces de alterar su desarrollo normal, siendo el conocimiento de la cronología dental una herramienta fundamental para la valoración de las anomalías dentarias, el establecimiento del agente etiológico responsable y la identificación del momento en el que actuó dicho agente, datos que orientan tanto el diagnóstico como la planificación terapéutica (Beltri, 2002).

Las diversas etapas del desarrollo de los dientes permanentes fueron sistematizadas por la Dra. Carmen Nolla en 1960, quien describió diez estadios progresivos desde la fase 0, caracterizada por la ausencia de cripta en el examen radiográfico, hasta la fase 10, que corresponde al cierre apical completo. Este sistema de estadificación permite determinar la edad dentaria del paciente mediante la comparación con tablas de referencia individualizadas

según el sexo, constituyendo una herramienta diagnóstica de reconocido valor en la evaluación de dientes en desarrollo (Poletto & Giménez, 2012). La importancia de conocer el estadio de maduración radicular radica en que cada fase implica características morfológicas específicas del sistema de conductos radiculares que condicionan directamente el abordaje terapéutico y el pronóstico del tratamiento. En los estadios más tempranos de desarrollo, el conducto radicular es amplio, las paredes dentinarias son delgadas y el foramen apical permanece abierto, características que se mantienen hasta que se alcanza la fase 10 y se consolida la anatomía radicular definitiva (Poletto & Giménez, 2012). (Figura 1)

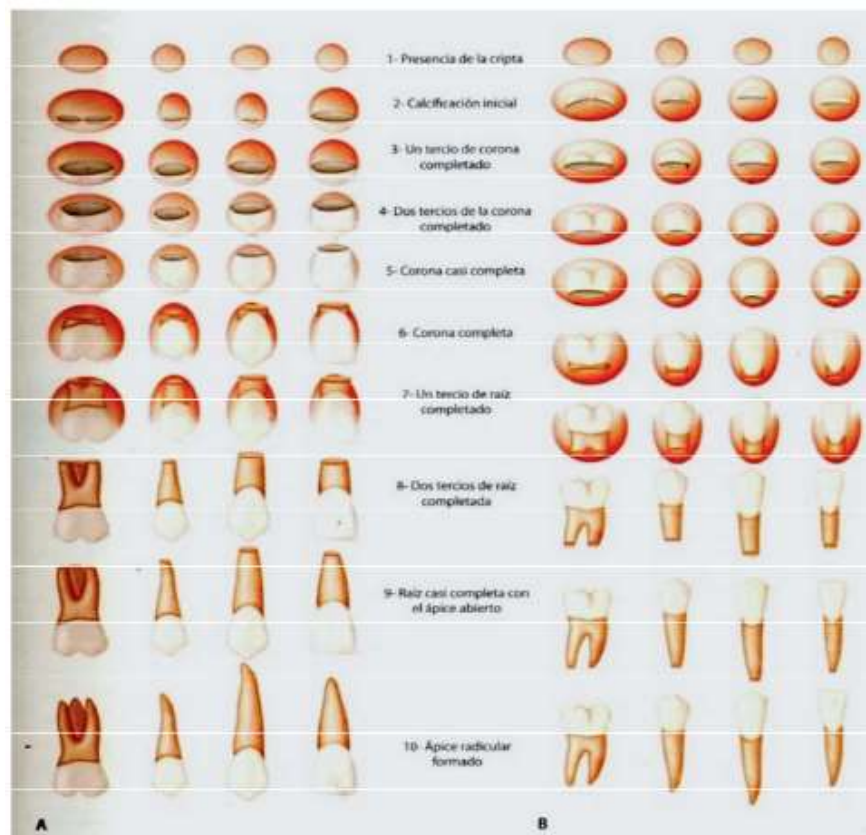


Fig. 1: Diferentes estadios del desarrollo dental de acuerdo al esquema de Nolla (Hernández & Acosta, 2010).

En condiciones de normalidad, un diente permanente completa su desarrollo radicular y el cierre del foramen apical dentro de los tres años posteriores a su erupción en boca. Durante este período de maduración, el diente se encuentra en una situación de vulnerabilidad particular frente a traumatismos, procesos infecciosos y otras noxas capaces de interrumpir el proceso de apexogénesis. Cuando la pulpa de un diente inmaduro sufre necrosis antes de que se complete la formación radicular, el proceso de maduración biológica se detiene de forma irreversible, resultando en un conducto radicular con paredes dentinarias delgadas y

una apertura apical de gran diámetro, situación que la literatura especializada denomina indistintamente “ápice abierto”, “ápice inmaduro” o “apexogénesis incompleta” (Flanagan, 2014). Esta condición representa un desafío terapéutico de magnitud considerable, ya que impide la aplicación de técnicas convencionales de obturación y exige la implementación de procedimientos específicos orientados a recrear las condiciones que permitan un sellado adecuado del sistema de conductos (Sharma *et al.*, 2016).

Los traumatismos dentales constituyen la causa más frecuente de necrosis pulpar en dientes permanentes inmaduros. Según Andreasen & Kahler (2015), el 30% de los casos de necrosis pulpar en esta categoría de dientes son consecuencia directa de un traumatismo dental previo. Las lesiones traumáticas son particularmente frecuentes en los dientes anteriores del maxilar superior, especialmente en los incisivos centrales, debido a su posición prominente y a la escasa protección que ofrecen los tejidos blandos circundantes ante impactos frontales. Estudios epidemiológicos han reportado que las lesiones traumáticas dentales afectan al 13,8% al 15,1% de la población general, con una mayor incidencia en la primera y segunda décadas de vida (Sharma *et al.*, 2016). Este período de mayor prevalencia de traumatismos coincide precisamente con la fase de maduración radicular de los dientes permanentes, lo que explica por qué las consecuencias de estas lesiones sobre la pulpa y el periodonto de soporte resultan especialmente adversas para el desarrollo dentario (Nagarajappa *et al.*, 2020).

Los traumatismos dentales se clasifican en función de la estructura afectada y el grado de lesión en tres grandes categorías: lesiones en los tejidos duros dentales y la pulpa, lesiones en los tejidos de soporte periodontal, y lesiones en el hueso alveolar. Dentro de las lesiones que afectan los tejidos de soporte periodontal, las luxaciones, particularmente las intrusivas, y las avulsiones presentan el mayor riesgo de generar necrosis pulpar y detención del desarrollo radicular en dientes inmaduros, debido a la interrupción del aporte vascular al paquete neurovascular apical. La necrosis pulpar puede producirse de forma inmediata tras el traumatismo, como consecuencia de la sección directa de los vasos del paquete pulpar, o de manera diferida, en un período de semanas o meses, como resultado de fenómenos vasculares, inflamatorios o infecciosos secundarios. En cualquier caso, cuando el trauma sobreviene durante la etapa de desarrollo radicular, la interrupción del proceso de apexogénesis resulta en la conformación de un sistema de conductos de morfología atípica que dificulta de forma considerable el tratamiento endodóntico convencional (Andreasen & Kahler, 2015).

Un historial clínico detallado y la documentación exhaustiva de cualquier lesión previa son de suma importancia tanto desde el punto de vista diagnóstico como terapéutico (Uppal *et al.*, 2013). El diagnóstico preciso del estado pulpar en dientes permanentes inmaduros reviste importancia fundamental para la planificación del tratamiento. La evaluación debe incluir una anamnesis completa orientada a los síntomas subjetivos, con especial atención a las características del dolor: su duración, naturaleza, irradiación y los factores que lo exacerbaban o alivian. Es imprescindible obtener antecedentes del traumatismo previo, incluyendo la fecha de ocurrencia, la edad del paciente al momento del trauma y el tratamiento recibido oportunamente, ya que estos datos orientan la comprensión del grado de maduración radicular presente en el momento de la lesión y su potencial impacto en el desarrollo posterior (Rafter *et al.*, 2005).

El examen clínico debe contemplar la evaluación minuciosa de los tejidos blandos circundantes, la presencia de fistulas o tractos sinuosos indicativos de infección periapical crónica, la respuesta a las pruebas de palpación apical y percusión tanto horizontal como vertical, y el grado de movilidad dental. Las pruebas de sensibilidad pulpar, como las pruebas térmicas con frío y calor y las pruebas eléctricas con pulpómetro, son de utilidad limitada en dientes inmaduros, ya que la inmadurez de las fibras nerviosas de la pulpa puede producir respuestas falsas negativas que conduzcan a diagnósticos erróneos de vitalidad pulpar. Por lo tanto, el diagnóstico pulpar en estas situaciones debe integrarse con el cuadro clínico completo y el estudio radiográfico, utilizando las pruebas de sensibilidad como información complementaria y no como dato determinante del diagnóstico (Rafter *et al.*, 2005).

El estudio radiográfico periapical es una herramienta diagnóstica indispensable en el abordaje de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar. A través de la radiografía periapical es posible evaluar el estadio de desarrollo radicular, la presencia y extensión de lesiones periapicales, el estado del espacio del ligamento periodontal y de la lámina dura circundante, la morfología del conducto radicular y la existencia de tratamientos previos. Sin embargo, los métodos radiográficos convencionales presentan dificultades inherentes de interpretación en el contexto de ápices abiertos, donde las paredes dentinarias suelen terminar a distintos niveles y presentan márgenes irregulares, lo que dificulta la determinación precisa de la longitud de trabajo. En estos casos, la longitud de trabajo radiográfica tiende a sobreestimarse, ya que el extremo apical del conducto, no circundado en toda su circunferencia por dentina, se encuentra habitualmente a varios milímetros del ápice radiográfico (Kim & Chandler, 2013).

Los localizadores electrónicos de ápice han demostrado alta efectividad para localizar el foramen apical y la constricción en dientes con foramen formado; sin embargo, presentan limitaciones importantes en el contexto de ápices abiertos. Los conductos radiculares de gran calibre, superiores al tamaño 60, influyen negativamente en el funcionamiento de estos dispositivos, resultando en mediciones electrónicas inferiores a la longitud real del conducto. Esta circunstancia impone la necesidad de determinar la longitud de trabajo mediante la correlación entre los hallazgos electrónicos y radiográficos, recurriendo a instrumentos de gran calibre que permitan tomar contacto con las paredes del conducto y establecer una referencia táctil confiable. La combinación de ambos métodos, junto con la evaluación clínica integral del caso, proporciona la mayor certeza posible en la determinación de la longitud de trabajo (Kim & Chandler, 2013).

Morfológicamente, los ápices abiertos se clasifican en dos tipos principales de acuerdo con la conformación de las paredes radiculares en la zona apical. El primer tipo corresponde al ápice en forma de trábuculo, en el cual las paredes del conducto son divergentes en sentido apical y el ensanchamiento adopta una forma de embudo invertido, con una apertura apical de mayor diámetro que el conducto en su porción coronal. El segundo tipo agrupa a los ápices que no presentan la morfología de trábuculo, en los cuales las paredes del conducto pueden ser paralelas o ligeramente convergentes hacia el ápice, con un foramen de gran calibre, pero sin la conicidad invertida característica del primer tipo (Gill *et al.*, 2024). Esta clasificación morfológica tiene implicaciones directas sobre la técnica terapéutica a emplear, ya que determina las posibilidades de confinamiento del material de obturación, el riesgo de extrusión periapical y la estrategia de condensación a utilizar. Uno de los factores clave en la selección del tratamiento es el diámetro del ápice: la apexificación es el tratamiento preferido cuando el diámetro del ápice supera 1,1 mm (Nagaraj *et al.*, 2022).

Los desafíos clínicos que plantea el tratamiento endodóntico de dientes permanentes inmaduros son múltiples y de naturaleza diversa. La preparación mecánica del conducto radicular resulta sumamente dificultosa o directamente impracticable con los sistemas de instrumentación convencionales, debido a la ausencia de un diámetro apical que permita el uso eficaz de limas rotatorias o reciprocantes. La desinfección del sistema de conductos se ve comprometida por la imposibilidad de generar la hidrodinámica necesaria para una irrigación efectiva en conductos de gran calibre. La ausencia de un stop apical natural impide la obturación convencional con gutapercha y cemento sellador, ya que el material obturador puede ser extruido hacia los tejidos periapicales durante la compactación. Finalmente, las

paredes dentinarias delgadas que caracterizan a estos dientes los hacen especialmente susceptibles a fracturas radiculares tanto durante el procedimiento endodóntico como en el período posterior al tratamiento, representando una de las principales causas de fracaso a largo plazo (Sharma *et al.*, 2016).

La apexificación es el procedimiento de referencia para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros no vitales con ápice abierto. Se define como el proceso destinado a inducir el cierre del ápice radicular o la formación de una barrera de tejido duro en un diente permanente inmaduro con necrosis pulpar, mediante la eliminación del tejido infectado, la desinfección del sistema de conductos y la colocación de un agente biocompatible adecuado (Paulindraraj *et al.*, 2015). El objetivo de este procedimiento es crear una barrera que sirva como soporte para la obturación tridimensional del conducto radicular, previniendo la filtración microbiana y favoreciendo la reparación de los tejidos periapicales. La evaluación del resultado se sustenta en criterios clínicos y radiográficos: ausencia de signos y síntomas adversos posteriores al tratamiento, evidencia de reparación ósea periapical, y ausencia de reabsorción radicular externa o patología lateral (Paulindraraj *et al.*, 2015).

Un aspecto crítico en el tratamiento de ápices de gran apertura es el riesgo de extrusión del material de obturación hacia los tejidos periodontales. La utilización de una barrera o matriz apical previa a la colocación del material definitivo permite limitar la extensión del material, evitando la extrusión de grandes cantidades hacia el tejido periodontal adyacente, reduciendo la posibilidad de microfiltración en el seno del material sellador y favoreciendo una respuesta favorable de los tejidos periapicales (Khetarpal *et al.*, 2014). Diversas matrices han sido propuestas en la literatura, incluyendo la esponja de colágeno reabsorbible, el sulfato de calcio y la membrana de fibrina rica en plaquetas (Pawar *et al.*, 2015). La elección de la matriz más adecuada depende de las características del caso clínico, la disponibilidad del material y la experiencia del operador (Khetarpal *et al.*, 2014).

Históricamente, la apexificación con hidróxido de calcio constituyó el tratamiento de elección para los dientes permanentes inmaduros no vitales durante gran parte del siglo XX. Esta técnica consiste en la colocación de pasta de hidróxido de calcio en el sistema de conductos radiculares, renovándola periódicamente cada tres a seis meses hasta observar la formación radiográfica de una barrera de tejido calcificado en el extremo apical o la evidencia de cierre apical. El hidróxido de calcio ejerce su acción terapéutica a través de un mecanismo dual: por un lado, genera un ambiente de pH altamente alcalino, superior a 12, que resulta bactericida para la mayoría de los microorganismos presentes en el sistema de

conductos radiculares; por otro lado, promueve la diferenciación de células progenitoras hacia linajes osteoblásticos y cementoblásticos, estimulando la formación de tejido calcificado en la zona periapical (Mohammadi & Dummer, 2011).

No obstante, su efectividad clínica, la apexificación con hidróxido de calcio presenta limitaciones que han motivado el desarrollo de alternativas terapéuticas más eficientes. El proceso de tratamiento es prolongado, requiriendo múltiples citas de seguimiento durante un período que puede extenderse entre seis meses y dos años, con riesgo de incumplimiento por parte del paciente y de fracaso del sellado coronal por degradación de las restauraciones temporales (Metzger *et al.*, 2001). Adicionalmente, se ha reportado que la exposición prolongada de las paredes dentinarias al hidróxido de calcio puede debilitar estructuralmente la raíz, aumentando la susceptibilidad a fracturas radiculares cervicales. La barrera calcificada formada no siempre presenta una consistencia homogénea ni una hermeticidad completa, y pueden existir zonas de menor densidad que comprometan el sellado apical y favorezcan la reinfección del sistema de conductos (Pawar *et al.*, 2015). Estas limitaciones condujeron al desarrollo de la técnica de creación de barreras apicales artificiales con materiales de fraguado rápido, técnica propuesta originalmente por Torabinejad & Chivian (1999), que representó un cambio de paradigma en el manejo de dientes permanentes inmaduros.

El Agregado de Trióxido Mineral (MTA) es un material a base de cemento Portland enriquecido con óxido de bismuto como agente radiopacificador, cuyas propiedades de biocompatibilidad, capacidad de inducción de formación de tejido duro y sellado hermético lo posicionaron como material de referencia en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros. En 1993, el MTA fue introducido en odontología como material de obturación retrógrada y fue aprobado por la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos en 1997. ProRoot MTA fue la primera presentación comercial disponible, introducida en 1999, y ha sido objeto de extensas investigaciones que avalan sus propiedades biológicas y clínicas (Torabinejad & Parirokh, 2010). La técnica de tapón apical con MTA implica la creación de una barrera artificial mediante la condensación del material en la porción apical del conducto radicular, formando un tapón de entre 3 y 4 mm de espesor que actúa como sustituto funcional del foramen apical cerrado. Este procedimiento reduce drásticamente el número de citas requeridas, pudiendo completarse en dos sesiones, lo que mejora significativamente la adherencia del paciente al plan terapéutico (Flanagan, 2014).

El MTA presenta, sin embargo, limitaciones intrínsecas que han motivado el desarrollo de formulaciones alternativas. Entre sus inconvenientes más significativos se encuentran su prolongado tiempo de fraguado, que puede superar las tres horas en condiciones estándar; su elevado costo en relación con otros materiales endodónticos; la posibilidad de generar decoloración dental, especialmente con las presentaciones de color gris; y la dificultad de manipulación derivada de su consistencia granular que requiere una correcta hidratación y técnica depurada para asegurar un adecuado manejo clínico (Parirokh & Torabinejad, 2010). Estas limitaciones impulsaron el desarrollo de nuevas generaciones de cementos de silicato de calcio con propiedades fisicoquímicas y biológicas mejoradas que mantuviesen las virtudes clínicas del MTA original superando sus desventajas prácticas (Pushpalatha *et al.*, 2022).

Los materiales biocerámicos han experimentado un desarrollo notable en las últimas décadas como alternativa y complemento del MTA en el tratamiento endodóntico. A principios de la década de 1990, los biocerámicos comenzaron a surgir como componentes emergentes en el ámbito dental y fueron identificados como un área prioritaria de investigación entre los años 2007 y 2019 (Iftikhar *et al.*, 2021). Los biocerámicos son compuestos biomiméticos y biocompatibles que incluyen vidrios bioactivos, hidroxiapatita, fosfato de calcio, silicato de calcio y otras formulaciones. Según su interacción con los tejidos circundantes, se clasifican en biológicamente inertes, bioactivos o biodegradables. Los materiales bioactivos son los de mayor relevancia en el contexto endodóntico, por su capacidad de interactuar de forma positiva con los tejidos periapicales y estimular procesos de reparación y regeneración (Surya Raghavendra *et al.*, 2017). Su bioactividad se manifiesta en la formación de hidroxiapatita en contacto con los fluidos tisulares, en la estimulación de la diferenciación celular y en el favorecimiento de la reparación de los tejidos periodontales (Hench, 1998).

Los cementos a base de silicato de calcio (CSC) constituyen la categoría de biocerámicos bioactivos de mayor relevancia clínica en endodoncia. Estos materiales presentan propiedades fisicoquímicas y biológicas que los hacen especialmente aptos para aplicaciones en el espacio pulpar y perirradicular: biocompatibilidad, capacidad de inducción de biomineralización, liberación sostenida de iones calcio e hidróxido, actividad antibacteriana derivada del pH alcalino generado durante el fraguado, y sellado hermético (Dawood *et al.*, 2017). Jitaru *et al.* (2016) destacaron que los CSC son cruciales en la terapia del espacio pulpar y del conducto radicular por la conjunción de sus propiedades mecánicas, químicas y biológicas, que los diferencia favorablemente de los materiales convencionales empleados históricamente en endodoncia.

MTA Angelus (Angelus Indústria de Odontológicos, Londrina, Brasil), disponible en formulaciones de color gris y blanco, fue introducido en el mercado en 2001. Su principal diferencia respecto al ProRoot MTA original radica en la ausencia de yeso en su formulación, lo que resulta en un tiempo de fraguado reducido, inferior a 50 minutos, frente a las más de tres horas del ProRoot MTA (Pushpalatha *et al.*, 2022). Esta característica representa una ventaja clínica de importancia, ya que permite reducir el tiempo de la sesión operatoria y facilita el manejo clínico del material. MTA Angelus recibió la aprobación de la FDA en 2011 y se ha consolidado como uno de los materiales de silicato de calcio de mayor uso en la práctica endodóntica latinoamericana (Pushpalatha *et al.*, 2022).

Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fossés, Francia) fue comercializado en 2009 con el objetivo de superar algunas de las limitaciones del MTA, ofreciendo un tiempo de fraguado de aproximadamente 12 minutos que facilita su uso clínico. Su formulación, basada en silicato tricálcico como componente principal, le confiere mayor durabilidad mecánica y mejores características de penetración en los túbulos dentinarios. Kaur *et al.* (2017) compararon las propiedades de MTA y Biodentine, concluyendo que este último presenta ventajas en cuanto a tiempo de fraguado y resistencia a la compresión. Biodentine ha sido concebido como un sustituto de la dentina y puede emplearse en procedimientos de recubrimiento pulpar directo e indirecto, apexificación, tapón apical y reparación de perforaciones radiculares (Rajasekharan *et al.*, 2018).

En los últimos años, han surgido nuevas formulaciones de cementos de silicato de calcio listos para usar, diseñadas para superar las dificultades de manipulación de los materiales en polvo y garantizar mayor homogeneidad de la mezcla en el momento de su aplicación clínica. Bio-C Repair (Angelus Indústria de Odontológicos, Londrina, Brasil) es un cemento biocerámico de reparación de esta categoría, con aplicaciones clínicas y citocompatibilidad similares a las del MTA-Angelus blanco (Queiroz *et al.*, 2023). Bio-C Repair ha demostrado ser biocompatible, con capacidad para inducir biomineralización (Benetti *et al.*, 2019) y liberar iones de calcio hacia los tejidos circundantes (Rodríguez-Lozano *et al.*, 2022). Su presentación lista para usar favorece la homogeneidad de la mezcla, lo que se traduce en una menor porosidad intrínseca del material y una mejor adaptabilidad a la interfaz material-dentina, aspectos fundamentales para la obtención de un sellado eficaz y duradero que prevenga la filtración microbiana y garantice el éxito a largo plazo del tratamiento (Inada *et al.*, 2023).

MTA Repair HP (Angelus Indústria de Odontológicos, Londrina, Brasil) es otro cemento de silicato de calcio de reciente desarrollo que ha demostrado propiedades de biocompatibilidad y capacidad de mineralización comparables a las del MTA-Angelus convencional (Cintra *et al.*, 2017). Presenta tiempo de fraguado adecuado, radiopacidad satisfactoria, baja solubilidad, capacidad de alcalinización del medio circundante y propiedades biológicas favorables en cuanto a viabilidad, muerte y adhesión celular (Collado-González *et al.*, 2019). Estudios recientes han señalado, sin embargo, que MTA Repair HP presenta mayor porosidad y mayor presencia de huecos en la interfaz material-dentina en comparación con Bio-C Repair, lo que podría comprometer su capacidad de sellado a largo plazo (Inada *et al.*, 2023). La presencia de porosidad y espacios interfaciales en los materiales en contacto con los fluidos tisulares es indeseable, ya que puede favorecer la microfiltración bacteriana y comprometer el éxito del tratamiento (Gandolfi *et al.*, 2015). Ambos materiales representan las formulaciones de mayor relevancia en el contexto del presente caso clínico.

La aceptabilidad biológica y la función terapéutica de los biocerámicos dependen fundamentalmente de su interacción con los tejidos circundantes. Los iones de calcio y fósforo liberados por estos materiales estimulan la actividad osteoblástica y cementoblástica, promoviendo la regeneración de los tejidos periapicales afectados (Güneş & Aydınbelge, 2012). El pH elevado generado durante el proceso de fraguado crea un entorno desfavorable para los microorganismos, contribuyendo al control de la infección periapical residual (Prati & Gandolfi, 2015). A nivel celular, los biocerámicos influyen sobre la división, proliferación, diferenciación, migración y muerte celular, así como sobre la actividad inmunológica de las células del entorno periapical. Las células madre mesenquimales (CMM) derivadas del tejido dental, incluyendo las células madre de la pulpa dental (CMPD), las células madre de dientes deciduos exfoliados humanos (SHED) y las células madre de la papila apical (SCAP), presentan una notable sensibilidad a las señales biológicas generadas por los biocerámicos, respondiendo con procesos de diferenciación hacia linajes odontoblásticos, osteoblásticos y cementoblásticos (Kumara *et al.*, 2024). Esta capacidad de modular la respuesta de las células progenitoras tisulares confiere a los biocerámicos un potencial regenerativo que supera el simple sellado mecánico del sistema de conductos (Orti *et al.*, 2018).

La desinfección efectiva del sistema de conductos radiculares es un requisito indispensable para el éxito del tratamiento endodóntico en dientes permanentes inmaduros, y representa al mismo tiempo uno de sus aspectos más complejos desde el punto de vista técnico. La

naturaleza particular de estos conductos, con paredes dentinarias delgadas, gran volumen interno y posible presencia de irregularidades anatómicas en la zona apical, impone condicionantes específicos a los protocolos de irrigación convencionales. El hipoclorito de sodio (NaOCl) es el irrigante de referencia en endodoncia, gracias a su capacidad de disolver tejido orgánico necrótico y a su actividad antimicrobiana de amplio espectro. Su empleo en dientes con ápice abierto exige, sin embargo, precauciones adicionales relacionadas con el riesgo de extrusión apical, ya que la extravasación de hipoclorito de sodio hacia los tejidos periapicales puede generar reacciones adversas de gravedad variable (Plascencia *et al.*, 2017).

La concentración del hipoclorito de sodio es un parámetro de relevancia clínica en el tratamiento de dientes inmaduros. Martin *et al.* (2014) revelaron que las concentraciones elevadas de hipoclorito de sodio, del orden del 6%, ejercen un efecto deletéreo sobre la supervivencia y diferenciación de las células madre de la papila apical, células fundamentales en el proceso de maduración radicular y en la respuesta reparativa periapical. Por su parte, Mohmmmed *et al.* (2017) demostraron que la irrigación con hipoclorito de sodio al 5,25% durante un minuto no es suficiente para eliminar eficazmente la biopelícula de *Enterococcus faecalis* en modelos de conductos simulados. Estos hallazgos subrayan la necesidad de equilibrar la actividad antimicrobiana del irrigante con la preservación de las estructuras biológicas relevantes para la reparación tisular, aspecto de particular importancia en el manejo de dientes inmaduros donde la viabilidad de las células madre del tejido periapical puede determinar el pronóstico a largo plazo (Martin *et al.*, 2014; Mohmmmed *et al.*, 2017).

El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) al 17% es un quelante ampliamente utilizado como componente del protocolo de irrigación final en endodoncia. Su función principal es la eliminación de la capa de barro dentinario generada durante la preparación quimiomecánica del conducto, facilitando la penetración de los irrigantes y los materiales obturadores en los túbulos dentinarios. Se ha demostrado que la limpieza tridimensional del conducto radicular es posible mediante la aplicación combinada de EDTA al 17% e hipoclorito de sodio con activación ultrasónica. En dientes con ápice abierto, todos los irrigantes deben aplicarse con técnica pasiva y a baja presión, empleando agujas con salida lateral posicionadas a 2 o 3 mm antes de la longitud de trabajo, con el fin de minimizar el riesgo de extrusión periapical (Plascencia *et al.*, 2017).

La medicación intraconducto con hidróxido de calcio entre sesiones continúa siendo un recurso valioso en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar e infección periapical. El hidróxido de calcio ejerce su acción antibacteriana principalmente a través del ión hidróxido, que genera un pH altamente alcalino capaz de alterar la membrana citoplasmática bacteriana e inhibir las enzimas esenciales para el metabolismo microbiano (Mohammadi & Dummer, 2011). La elección del vehículo de la pasta de hidróxido de calcio influye significativamente en su comportamiento clínico: los vehículos viscosos, como la metilcelulosa, el propilenglicol o la clorhexidina en gel, permiten una mayor permanencia del material en el interior del conducto y una liberación más gradual de los iones activos, en comparación con los vehículos acuosos que se reabsorben más rápidamente. La clorhexidina como vehículo o como irrigante complementario aporta una actividad antimicrobiana de amplio espectro y una acción substantiva prolongada sobre las paredes del conducto (Mohammadi & Dummer, 2011).

La incorporación del microscopio operatorio dental en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros ha representado un avance de notable importancia en la práctica endodóntica contemporánea. La magnificación y la iluminación coaxial que proporciona el microscopio permiten una visualización directa del interior del conducto radicular, facilitando la evaluación de la calidad del tapón apical, la detección de defectos o irregularidades en el material de obturación, y el manejo preciso de los instrumentos y materiales en espacios de difícil acceso. La posibilidad de confirmar visualmente la correcta condensación del tapón de material biocerámico constituye una garantía adicional de calidad del tratamiento que no puede obtenerse con las técnicas de trabajo a ciegas. La literatura científica reciente avala que la implementación del microscopio operatorio en combinación con materiales biocerámicos resulta sumamente eficaz para el manejo de ápices abiertos, ofreciendo resultados más predecibles y reproducibles (Bhasin *et al.*, 2024).

El éxito a largo plazo del tratamiento endodóntico de dientes permanentes inmaduros depende de la interacción favorable entre múltiples factores: la desinfección completa del sistema de conductos radiculares, la obtención de un sellado apical eficaz con materiales biocompatibles que promuevan la reparación tisular, el refuerzo estructural del diente tratado frente a la fractura radicular, y la integración del tratamiento endodóntico en un plan restaurador global que garantice el sellado coronal adecuado y la funcionalidad del elemento dentario. La evaluación del resultado debe realizarse mediante controles clínicos y radiográficos periódicos que permitan documentar la evolución de la reparación periapical

y detectar precozmente eventuales complicaciones. El seguimiento a mediano y largo plazo es fundamental para validar el éxito del tratamiento implementado (Chauhan *et al.*, 2025).

En el contexto de la evolución permanente de los materiales biocerámicos y el perfeccionamiento de las técnicas de amplificación visual, la presentación de casos clínicos con seguimiento documentado aporta una contribución valiosa a la evidencia científica disponible en endodoncia, al integrar los conocimientos teóricos con la experiencia clínica directa y al ilustrar la aplicación práctica de los principios terapéuticos en situaciones reales de complejidad clínica. La documentación rigurosa del proceso diagnóstico, del abordaje terapéutico y de los resultados obtenidos en distintos momentos del seguimiento contribuye a consolidar la evidencia sobre la eficacia de los nuevos materiales biocerámicos en el tratamiento de dientes permanentes inmaduros no vitales (Bhasin *et al.*, 2024).

Un aspecto de creciente relevancia en el manejo de dientes permanentes inmaduros es la resistencia a la fractura radicular, que se ve comprometida de manera significativa tanto por la naturaleza inmadura de la dentina como por los procedimientos terapéuticos empleados (Sharma *et al.*, 2016). Las raíces de los dientes con apexogénesis incompleta poseen paredes dentinarias de espesor reducido que las hacen intrínsecamente susceptibles a fracturas cervicales ante cargas funcionales o parafuncionales (Sharma *et al.*, 2016). Esta vulnerabilidad se agrava adicionalmente por el uso prolongado de hidróxido de calcio como medicación intraconducto, cuyo efecto deletéreo sobre las propiedades mecánicas de la dentina ha sido documentado en la literatura (Metzger *et al.*, 2001). El tapón apical de material biocerámico, combinado con una restauración coronal adhesiva de composite, contribuye a reforzar la estructura dentinaria remanente y a distribuir de manera más homogénea las fuerzas que actúan sobre el diente, mejorando el pronóstico estructural a largo plazo (Yilmaz *et al.*, 2017). El sellado coronal definitivo inmediato tras la finalización del tratamiento endodóntico es, por lo tanto, un paso crítico que no debe diferirse en ningún caso (Sharma *et al.*, 2016; Metzger *et al.*, 2001).

La restauración coronal definitiva del diente permanente inmaduro tratado endodónticamente debe planificarse de manera integral y coordinada con el tratamiento radicular. La ausencia de un sellado coronal adecuado constituye una de las causas más frecuentes de fracaso endodóntico, independientemente de la calidad de la obturación del sistema de conductos radiculares, ya que permite la penetración de microorganismos orales hacia el tercio apical a través de la microfiltración coronal. En dientes anteriores, donde las consideraciones estéticas son primordiales, la restauración con resina compuesta directa de

alta resistencia ofrece resultados funcionales y estéticos satisfactorios, siempre que se logre una adhesión dentinaria de calidad sobre las paredes del conducto y la cámara pulpar remanentes (Flanagan, 2014). En casos de pérdida coronaria severa o de fragilidad estructural extrema, puede evaluarse la posibilidad de colocación de un poste intrarradicular, aunque esta alternativa debe sopesarse cuidadosamente en función del calibre y la longitud del conducto, así como del riesgo de fractura radicular asociado al procedimiento (Sharma *et al.*, 2016).

Dentro del espectro de opciones terapéuticas disponibles para el tratamiento de dientes permanentes inmaduros con necrosis pulpar, los procedimientos de endodoncia regenerativa han emergido en la última década como una alternativa de creciente interés clínico y científico. Los procedimientos de endodoncia regenerativa, también denominados revascularización o revitalización pulpar, tienen como objetivo la eliminación de la infección del sistema de conductos radiculares mediante protocolos de desinfección rigurosos, seguida de la estimulación de la formación de un coágulo de sangre en el interior del conducto a partir de las células progenitoras presentes en el tejido periapical y la papila apical (Orti *et al.*, 2018). El andamiaje biológico que provee el coágulo puede promover la deposición de nuevos tejidos mineralizados en las paredes del conducto radicular, favoreciendo la continuación del proceso de maduración radicular y el incremento del espesor de las paredes dentinarias (Dong & Xu, 2023). Sin embargo, los resultados de los procedimientos regenerativos son variables e impredecibles, y la histología del tejido formado en el interior del conducto no siempre corresponde a tejido pulpar propiamente dicho (Orti *et al.*, 2018). La apexificación con tapón apical de material biocerámico continúa siendo el procedimiento de mayor predictibilidad y más ampliamente respaldado por la evidencia en el manejo de dientes permanentes inmaduros no vitales, especialmente en contextos de infección periapical crónica establecida y en pacientes adultos (Chauhan *et al.*, 2025).

La interacción entre los materiales biocerámicos utilizados como tapón apical y los cementos selladores empleados en la obturación del conducto radicular es un aspecto de relevancia clínica que ha recibido creciente atención en la literatura (Torres *et al.*, 2021). Los selladores biocerámicos de base acuosa, como el Bio-C Sealer (Angelus Indústria de Odontológicos, Londrina, Brasil), presentan propiedades de compatibilidad particularmente favorables con los tapones de silicato de calcio, ya que comparten una composición química afín y experimentan reacciones de fraguado similares basadas en la hidratación de los silicatos de calcio (Guimarães *et al.*, 2018). Esta afinidad química favorece la continuidad del sellado en

la interfaz tapón-cemento y reduce el riesgo de microfiltración a este nivel (Inada *et al.*, 2023). Adicionalmente, los selladores biocerámicos de base acuosa presentan biocompatibilidad, expansión leve durante el fraguado que mejora la adaptación a las paredes del conducto, y propiedades de hidrofilia que les permiten fraguar en presencia de humedad, condición frecuente en los conductos de dientes con lesiones periapicales activas (Guo *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2021).

La evaluación del éxito del tratamiento endodóntico en dientes permanentes inmaduros debe considerar parámetros clínicos y radiográficos bien definidos y reproducibles. Desde el punto de vista clínico, el éxito se define por la ausencia de sintomatología, incluyendo dolor espontáneo o provocado, movilidad patológica, y signos de infección como tractos sinuosos o inflamación de los tejidos blandos circundantes (Paulindraraj *et al.*, 2015). Desde el punto de vista radiográfico, la evidencia de reparación ósea periapical, caracterizada por la disminución progresiva de la zona radiolúcida periapical y la reorganización del espacio del ligamento periodontal, constituye el principal indicador de éxito del tratamiento. El seguimiento radiográfico debe realizarse a intervalos regulares, generalmente a los 6, 12 y 24 meses posteriores al tratamiento, con el fin de documentar la evolución temporal de la reparación tisular y detectar precozmente signos de fracaso. La literatura reporta tasas de éxito del tapón apical con MTA y materiales biocerámicos superiores al 90% en seguimientos a uno y dos años, posicionando estos materiales como la alternativa terapéutica de mayor predictibilidad en el manejo de dientes permanentes inmaduros no vitales (Chauhan *et al.*, 2025).

El protocolo de irrigación final adquiere especial relevancia en el contexto de la apexificación con tapón biocerámico, ya que la correcta preparación de la superficie dentinaria previa a la colocación del material determina en gran medida la calidad de la adhesión y del sellado obtenido. La irrigación con EDTA al 17% como paso previo a la colocación del tapón elimina la capa de barro dentinario y expone los túbulos dentinarios, mejorando la trabazón micromecánica del material biocerámico con las paredes del conducto y favoreciendo las reacciones de biomineralización en la interfaz. Sin embargo, es fundamental neutralizar el EDTA con solución fisiológica antes de la colocación del tapón, ya que la presencia de quelante residual puede interferir con el proceso de fraguado de los cementos de silicato de calcio. El secado cuidadoso del conducto, sin llegar a una desecación excesiva que perjudique el fraguado del material, completa la preparación previa a la obturación del sistema de conductos (Plascencia *et al.*, 2017).

La correcta técnica de condensación del tapón apical biocerámico es determinante para garantizar la homogeneidad del material, la ausencia de burbujas o espacios vacíos, y la adaptación íntima a las paredes del conducto (Yilmaz *et al.*, 2017). En conductos de gran calibre, la compactación debe realizarse con instrumentos de diámetro apropiado, perfectamente calibrados a la longitud de trabajo predefinida, avanzando en capas sucesivas con movimientos verticales suaves y controlados. La verificación radiográfica periódica durante la condensación permite evaluar el progreso del llenado y detectar precozmente defectos de adaptación que requieran corrección antes del fraguado del material. La posibilidad de trabajar bajo magnificación con el microscopio operatorio dental añade una dimensión de control visual directo que facilita el proceso y reduce la probabilidad de error técnico (Bhasin *et al.*, 2024). Mantener una barrera apical adecuada con un sellado tridimensional es el objetivo central del procedimiento, y la selección correcta del material, combinada con una técnica depurada, son los factores que determinan el logro de este objetivo (Ingle *et al.*, 2013).

El presente estudio tiene como objetivo analizar la evidencia científica disponible sobre el abordaje endodóntico de dientes permanentes inmaduros con diagnóstico de periodontitis apical localizada con tracto sinusal, para determinar la evolución cronológica de las diferentes modalidades terapéuticas, con énfasis en las barreras apicales artificiales a base de biocerámicos y su éxito a largo plazo.

CASO CLÍNICO

Paciente de sexo masculino, 28 años de edad, sin antecedentes médicos de relevancia, asistió a la Especialidad en Endodoncia, de la Facultad de Odontología, Universidad Nacional de Cuyo, solicitando asistencia odontológica especializada.

En la anamnesis, refirió haber sufrido un traumatismo dentario en la infancia (a los 7 años de edad) en el incisivo central superior izquierdo (elemento 21), sin sintomatología inmediata aparente. En abril del año 2023, manifestó dolor persistente en dicha pieza dentaria; se realizó entonces un tratamiento endodóntico que fue reportado por el odontólogo como técnicamente complejo e incompleto, quedando bajo indicación de seguimiento clínico.

El 16 de agosto del año 2024, el paciente acude a la consulta por sintomatología dolorosa exacerbada y dolor a la masticación en el incisivo central izquierdo. A la inspección intraoral se observó edema localizado a fondo de surco vestibular adyacente al elemento 21 y presencia de tracto sinuoso. Las pruebas diagnósticas revelaron dolor a la palpación y percusión tanto horizontal como vertical y leve movilidad dental.

En el estudio radiográfico periapical inicial (Handy HDR 500, China) (Figura 1), se observó el elemento dentario con un tratamiento endodóntico previo, caracterizado por una obturación deficiente en longitud y densidad, y la ausencia de una barrera o *stop* apical. Se evidenció una cámara pulpar y un conducto radicular de amplio calibre con ápice abierto, asociados a una zona de radiolucidez periapical circunscripta de dimensiones considerables. Compatible con Periodontitis apical localizada con Tracto sinusal, en un diente joven previamente tratado.



Fig.1: RX preoperatoria

Se indicó el retratamiento del conducto radicular con el objetivo de remover el material de obturación preexistente, seguido de la limpieza, conformación y obturación del conducto. Se realizó anestesia local mediante técnica infiltrativa a fondo de surco vestibular y cierre de circuito en mucosa palatina (Totalcaina Forte, Bernabó, Argentina). Se efectuó la cavidad de acceso con fresa de diamante troncocónica a alta velocidad (Jota, Suiza) y se colocó aislamiento absoluto con goma dique (Madeitex, Brasil) del elemento dentario a tratar. Se procedió a la desobturación del tercio coronal. Para ello, se utilizaron puntas de ultrasonido E3 (Woodpecker, China), lima manual tipo K (Dentsply Maillefer, Suiza) con la finalidad de obtener una guía de acceso y lima manual tipo H (Dentsply Maillefer, Suiza) para la remoción mecánica de la gutapercha. En el tercio medio, se empleó xilol (Anedra, Argentina) como agente solvente. El procedimiento se repitió hasta lograr la permeabilidad apical, verificada con localizador apical (Woodpecker, China) y radiografía digital (Handy HDR 500, China) (Figura 2).



Fig. 2: RX conductometría

El protocolo de irrigación se llevó a cabo con hipoclorito de sodio (Tedequim, Argentina) en solución al 1 % aplicada en forma pasiva, lento y suave; con aspiración constante mediante microcánulas Endo Tips (Angelus, Brasil). Luego se procedió a irrigar con solución fisiológica (Sivet, Argentina) 2 mililitros. Ante la persistencia de restos de material de obturación en el interior del conducto, se optó por una fase de medicación intraconducto con hidróxido de calcio (Tedequim, Argentina) y clorhexidina (Tedequim, Argentina) como vehículo, por un periodo de 14 días; con el objetivo de reducir la carga bacteriana, desinflamar y promover un ambiente favorable para la cicatrización. La cavidad se selló temporalmente con teflón estéril en la entrada del conducto y restauración provisoria de óxido de zinc eugenol.

Se recitó al paciente el 29 de agosto de 2024, y se tomó una nueva radiografía periapical con radiovisiógrafo (Figura 3). Se colocó anestesia infiltrativa a fondo de surco por vestibular y cierre de circuito por palatino (Totalcaina Forte, Bernabó, Argentina). Se realizó el aislamiento absoluto con goma dique y se eliminó la restauración provisoria. Se corrigió la cavidad de acceso con la finalidad de lograr un mejor acceso al segmento de gutapercha faltante, utilizando ultrasonido con puntas E3 (Woodpecker, China) y limas manuales H (Dentsply Maillefer, Suiza) de tercera serie se logró la eliminación total de la gutapercha remanente (Figura 4). Se determinó la longitud de trabajo radiográficamente a 22 milímetros de longitud con lima H de tercera serie (número 140) dada la amplitud del foramen, tomando como referencia coronal el borde incisal (Figura 5).



Fig. 3: RX gutapercha remanente



Fig. 4: RX conducto vacío



Fig. 5: RX conductometría

El manejo del ápice abierto representó un desafío clínico al momento de iniciar el procedimiento de limpieza, conformación y obturación del conducto radicular. La técnica de elección fue la creación de una barrera artificial apical o *plug de MTA* (Mineral Trioxide Aggregate). La limpieza del conducto radicular se realizó mediante irrigación pasiva y a baja presión para evitar extrusión accidental, utilizando agujas con salida lateral (Tedequim, Argentina), colocadas a 2 mm antes de la longitud de trabajo (20 milímetros). Se realizó un protocolo de irrigación final utilizando 10 mililitros de hipoclorito de sodio al 1% (Tedequim, Argentina), aplicando irrigación ultrasónica pasiva con puntas E3 (Woodpecker, China) durante 30 segundos, favoreciendo la eliminación de restos orgánicos, barrillo dentinario y microorganismos del conducto radicular. Posteriormente se dispensaron 2 mililitros de solución fisiológica (Sivet, Argentina), con la finalidad de neutralizar el hipoclorito, seguido de 2 mililitros de EDTA al 17% (Tedequim, Argentina) activado durante 30 segundos con ultrasonido. Se finalizó la irrigación con 2 mililitros de solución fisiológica,

para eliminar los restos de las sustancias irrigantes. Con aspiración constante mediante microcánulas Endo Tips (Angelus, Brasil).

El secado del conducto se realizó con una lima tipo K número 80 embolada en algodón estéril calibrada a 22 mm de longitud, debido al amplio calibre del conducto. Se compactó en el periápice a través del conducto radicular una esponja de colágeno reabsorbible (Hemospon®, Technew Comércio e Indústria Ltda., Brasil), se fragmentó en segmentos pequeños con un bisturí estéril y se llevó al interior del conducto con un condensador de endodoncia Machtou verde 2/4 (Dentsply Maillefer) calibrado a longitud de trabajo. Este material se utilizó como barrera apical temporal, con el fin de permitir una correcta contención del material obturador y favorecer la posterior reparación apical.

Se realizó una barrera apical artificial o *plug* con Bio-c Repair, el material fue llevado cuidadosamente al interior del conducto y compactado verticalmente con movimientos suaves utilizando un condensador de endodoncia Machtou verde (Dentsply Maillefer) calibrado con un tope de goma a 19 mm, 3 milímetros antes de la longitud de trabajo. Una vez logrado el tapón apical con Bio-c Repair, mediante una radiografía periapical se verificó su correcta adaptación, evaluando la homogeneidad (Figura 6). Se esperó 20 minutos para que se produzca el endurecimiento inicial del material y poder proceder al sellado del resto del conducto.



Fig. 6: RX *Plug* MTA

Posteriormente se realizó la obturación del tercio medio y coronal del conducto radicular. Para ello se utilizó cemento biocerámico Bio-c Sealer (Angelus, Brasil) como sellador endodóntico, se llevó al conducto radicular con inyección directa desde la jeringa premezclada con una punta capilar endodóntica ultrafina y flexible. Se introdujo en el conducto llevándola justo hasta el límite superior del plug de MTA. Se presionó el émbolo

suavemente mientras se retiró la aguja de forma retrógrada, hacia coronal, para rellenar los tercios medio y cervical.

Mediante el sistema Calamus Dual (Dentsply Maillefer, Suiza) se llevó a cabo la obturación con gutapercha termoplastizada, se introduce la punta de la pistola de gutapercha en el conducto llevándola justo hasta el límite superior del plug de MTA. Se inyectó gutapercha suavemente mientras se retiró la punta de forma retrógrada, hacia coronal, para rellenar los tercios medio y cervical. Luego se condensó verticalmente con atacador de endodoncia Machtou número 2/4 (Dentsply Maillefer), logrando un sellado tridimensional del conducto. El diente fue restaurado definitivamente con resina compuesta Spectra Smart (Dentsply Sirona).

Se procedió posteriormente a la toma de una radiografía posoperatoria dónde se observó una adecuada adaptación del material obturador y la conformación de tapón apical sin extrusión hacia los tejidos periapicales (Figura 7).

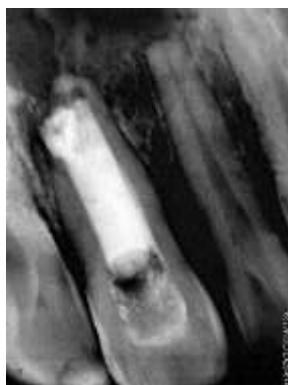


Fig. 7: RX posoperatoria

Se realizó un control posoperatorio el 20 de Junio de 2025, a los 10 meses de realizado el tratamiento. El paciente no refirió sintomatología, al examen clínico se observó el tejido blando circundante, mucosa a fondo de surco sana, normocoloreada y sin evidencia de tracto sinuoso, inflamación o sensibilidad a la palpación. El elemento dentario no presentó movilidad o dolor a la percusión. Al examen radiográfico se constató el correcto posicionamiento del plug de MTA y se observó una evidente reparación ósea periapical, caracterizada por la disminución de la zona radiolúcida existente previamente y la reorganización del espacio del ligamento periodontal. (Figura 8).

El 3 de Marzo de 2026, a 18 meses de realizado el tratamiento, se llevó a cabo un nuevo control clínico y radiográfico evidenciando una correcta evolución del tratamiento endodontico realizado. (Figura 9)



Fig. 8: RX control 10 meses



Fig. 9: RX control 18 meses

DISCUSIÓN

Rafter *et al.*, (2005) y Paulindraraj *et al.*, (2015) definen la apexificación como el método destinado a inducir la formación de una barrera de tejido mineralizado en el ápice radicular de dientes con pulpa necrótica y rizogénesis incompleta, con el objetivo de crear un límite apical que permita la obturación tridimensional del sistema de conductos radiculares.

Asimismo, Flanagan (2014) y Sharma *et al.*, (2016) señalan que esta condición se origina cuando una noxa, generalmente de origen traumático o infeccioso, interrumpe el proceso de apexogénesis antes de que el diente haya completado su desarrollo radicular, esto resulta en un conducto radicular de gran calibre, paredes dentinarias delgadas y un foramen apical amplio, sin constricción definida. Esta descripción teórica coincide plenamente con los hallazgos del presente caso clínico, donde el paciente sufrió un traumatismo en la infancia, a los 7 años de edad, en el incisivo superior izquierdo, elemento 21, evidenciándose radiográficamente una cámara pulpar y un conducto radicular de amplio calibre junto con la ausencia de una barrera o *stop* apical. Por su parte Chauhan *et al.*, (2025) sostiene que el diagnóstico preciso, la selección del material y la técnica adecuada constituyen los pilares fundamentales para garantizar el éxito terapéutico en estos casos, lo cual resulta crítico en esta pieza dentaria al presentar una obturación previa deficiente en longitud y densidad, asociada a una periodontitis apical localizada con tracto sinusal.

La detención del desarrollo radicular del elemento 21 fue consecuencia directa del traumatismo dentoalveolar sufrido por el paciente a los 7 años de edad, durante la fase de rizogénesis activa. En este período tal como señalan Andreasen y Kahler (2015), el daño a la vaina epitelial de Hertwig interrumpe la maduración apical, originando raíces con paredes delgadas, frágiles y ápice inmaduro, lo que incrementa significativamente el riesgo de fractura radicular y dificulta la instrumentación y obturación convencionales. Las luxaciones y avulsiones producidas durante el período de desarrollo radicular constituyen las etiologías más frecuentes de la apexogénesis incompleta en dientes permanentes. En el presente caso, esta fragilidad estructural y la morfología aberrante se mantuvieron de forma asintomática durante más de dos décadas, manifestándose clínicamente en la edad adulta, a los 28 años. En consonancia con lo expuesto por Sharma *et al.* (2016), la combinación de ápice abierto e infección periapical representa uno de los desafíos clínicos más complejos en endodoncia, dado que la ausencia de una constricción apical definida impide el uso de técnicas de

obtención convencionales y exige estrategias alternativas para el sellado del sistema de conductos. Este escenario se tornó aún más complejo en nuestra pieza dentaria debido a la presencia de un tratamiento endodóntico previo deficiente lo que no solo perpetuó la contaminación bacteriana, sino que condujo al desarrollo de una periodontitis apical crónica agudizada, evidenciada por el dolor exacerbado a la percusión, edema vestibular y la presencia de un tracto sinuoso.

Kim y Chandler (2013) añaden que la interpretación radiográfica resulta fundamental para estimar el estadio de desarrollo radicular y planificar el abordaje terapéutico, reconociendo el espacio endodóntico amplio y la fragilidad de las paredes dentinarias como condicionantes del tratamiento.

Ante la presencia de una obturación previa deficiente, con material escasamente compactado, espacios vacíos y ausencia de sellado apical adecuado, se decidió realizar el retratamiento endodóntico del elemento 21 con el objetivo de eliminar el material contaminado y crear las condiciones necesarias para un sellado apical definitivo. Para la desobtusión se priorizó la instrumentación manual con limas tipo K de gran calibre combinada con el uso localizado de un agente solvente en el tercio medio, evitando la aplicación de calor. Al respecto, Uppal *et al.* (2013) sostienen que, en dientes con ápice abierto y paredes radiculares frágiles, la remoción del material de obturación debe realizarse con extrema precaución, priorizando técnicas que minimicen la remoción adicional de dentina y el riesgo de fractura; premisa que se cumplió en este caso al prescindir de desgastes mecánicos agresivos.

El protocolo de irrigación se diseñó considerando las particularidades del diente con ápice inmaduro. Se utilizó hipoclorito de sodio (NaOCl) al 1% con técnica pasiva, mediante agujas de irrigación con orificio lateral posicionadas a 2 mm del límite apical radiográfico, con el propósito de lograr la desinfección del sistema de conductos sin comprometer los tejidos periapicales ni las células madre de la papila apical (SCAP). De acuerdo con Martin *et al.* (2014) y Plascencia *et al.* (2017), quienes señalan que concentraciones de hipoclorito superiores al 1,5% resultan citotóxicas para los tejidos vitales periapicales y pueden comprometer el potencial de revitalización. Así mismo Mohammed *et al.* (2017), sostiene que la activación pasiva y el correcto posicionamiento de la aguja permiten alcanzar una eficacia bactericida aceptable sin incrementar el riesgo de extrusión apical de irrigante. La elección de una concentración reducida de NaOCl estuvo fundamentada en los estudios. El protocolo

de irrigación finalizó con la aplicación de EDTA al 17% promoviendo la remoción del barrillo dentinario y la exposición de los túbulos dentinarios, facilitando la posterior acción de la medicación intraconducto y la adhesión del material obturador.

Entre las sesiones se colocó una medicación intraconducto a base de hidróxido de calcio combinado con gluconato de clorhexidina al 2%, la cual fue mantenida durante cuatro semanas hasta confirmar la remisión del tracto sinuoso y la ausencia de exudado. Con respecto a esta terapéutica, Mohammadi y Dummer (2011) avalan el uso de esta combinación en casos de infección crónica con ápice abierto, destacando su capacidad para inducir la mineralización periapical sin interferir con los procesos de reparación tisular. Esta asociación ha demostrado una acción sinérgica frente a los microorganismos más frecuentemente aislados en conductos con periodontitis apical, combinando el efecto alcalinizante y bactericida del Ca(OH)_2 con la actividad sustantiva de la CHX optimizando la erradicación del biofilm intraconducto. Por su parte, Metzger *et al.* (2001) señalan que este abordaje contribuye además a la desinfección de los túbulos dentinarios y a la neutralización de endotoxinas bacterianas, logrando las condiciones de asepsia indispensables para favorecer la obturación definitiva.

La determinación de la longitud de trabajo representó un desafío particular en este caso, dado el amplio diámetro del conducto y la falta de constricción apical. Se utilizó una lima tipo Hedström número 140 para obtener la primera sensación táctil en la zona apical y se complementó la medición con radiografías de conductometría. El uso del localizador apical electrónico fue considerado de escasa confiabilidad en este contexto, ya que, como señalan Kim y Chandler (2013), la amplia luz del conducto y la posible presencia de exudado perirradicular alteran las lecturas electrónicas y reducen su precisión en dientes con ápice inmaduro. La determinación radiográfica, resultó así, el método de elección para garantizar un posicionamiento adecuado del tapón apical y evitar la sobreextensión del material.

Previo a la colocación del tapón de Bio-C Repair, se introdujo una esponja de colágeno reabsorbible (Hemospon®) en la zona apical, la cual actuó como matriz de soporte para el material biocerámico. Este recurso técnico permitió limitar la sobreextensión del cemento hacia los tejidos periapicales y facilitó la condensación del material en la región del foramen, generando una interfaz favorable para la biomineralización. Khetarpal *et al.* (2014) recomiendan el uso de barreras de colágeno como matriz apical en procedimientos de apexificación con MTA o materiales afines, destacando su biocompatibilidad,

reabsorbibilidad y capacidad de estabilizar el material durante su fraguado. Pawar *et al.* (2015) coinciden en que la esponja de colágeno constituye la matriz de elección en estos procedimientos, ya que su estructura porosa favorece la penetración del cemento biocerámico y su progresiva reabsorción no interfiere con los procesos de reparación periapical.

El Bio-C Repair (Angelus, Brasil) fue seleccionado como material para la confección del tapón apical en reemplazo del MTA, que históricamente ha sido considerado el estándar de referencia en estos procedimientos. Esta elección se fundamentó en las ventajas clínicas que los cementos biocerámicos de última generación ofrecen respecto de su predecesor. Torabinejad y Chivian (1999) describieron las propiedades del MTA como material de sellado apical, validando su biocompatibilidad, capacidad de fraguado en presencia de humedad y habilidad para inducir la formación de cemento en la región apical. Sin embargo, las dificultades de manipulación, el tiempo de fraguado prolongado y la posible tinción dentinaria del MTA motivaron el desarrollo de alternativas biocerámicas. El Bio-C Repair, en su presentación lista para usar, elimina las imprecisiones asociadas a la proporción de mezcla e incorpora nanopartículas de zirconio que otorgan radiopacidad sin comprometer la biocompatibilidad. Benetti *et al.* (2019) y Rodríguez-Lozano *et al.* (2022) demostraron que el Bio-C Repair presenta propiedades fisicoquímicas comparables al MTA, con elevada biocompatibilidad, capacidad de inducir diferenciación osteogénica y un pH alcalino sostenido que favorece la biomineralización. En contraste con lo reportado para el MTA, Queiroz *et al.* (2023) e Inada *et al.* (2023) confirmaron que el Bio-C Repair no produce tinción dentinaria a largo plazo, lo que representa una ventaja estética significativa en el sector anterior. Coincidiendo con los hallazgos de Chauhan *et al.* (2025), la evolución periapical favorable observada en los controles del presente caso respalda el uso de Bio-C Repair como alternativa válida al MTA para la confección de tapones apicales en dientes con ápice abierto.

La evaluación clínica y radiográfica a los 10 meses evidenció reducción de la lesión periapical, ausencia del tracto sinuoso y buena respuesta tisular, hallazgos que se mantuvieron y consolidaron en el control a los 18 meses, donde la imagen periapical mostró una reparación ósea avanzada con práctica desaparición de la radiolucidez inicial. Estos resultados son concordantes con los criterios de éxito establecidos por Paulindraraj *et al.* (2015), quienes consideran favorable la evolución cuando se observa resolución clínica y

reducción de la lesión periapical en controles no inferiores a 12 meses. Chauhan *et al.* (2025) reportan resultados similares en series de casos tratados con Bio-C Repair, con tasas de éxito comparables al MTA a seguimientos de 12 y 24 meses. En contraste con lo descrito por Orti *et al.* (2018) respecto de los tiempos de reparación más prolongados observados con hidróxido de calcio en protocolos de apexificación clásica, la evolución favorable obtenida en el presente caso desde el control a los 10 meses sugiere que el uso de materiales biocerámicos puede acelerar los procesos de reparación periapical, posiblemente en virtud de su actividad bioactiva y su capacidad de inducir una respuesta osteogénica en los tejidos circundantes. Coincidiendo con Bhasin *et al.* (2024), quienes avalan el protocolo implementado y respaldan el uso del tapón apical de Bio-C Repair como estrategia predecible para el manejo de dientes permanentes con ápice inmaduro y patología periapical crónica.

La obturación del conducto remanente se realizó mediante gutapercha termoplastificada con el sistema Calamus Dual, en combinación con Bio-C Sealer (Angelus, Brasil) como cemento sellador. La elección de este cemento estuvo orientada por la compatibilidad química con el Bio-C Repair del tapón apical, dado que ambos comparten la misma base de silicato de calcio y un mecanismo de fraguado por hidratación. Torres *et al.* (2021) señalan que la adhesión entre el Bio-C Sealer y la dentina se produce mediante la formación de hidroxiapatita en la interfaz cemento-dentina, generando un sellado de tipo biomineralizante que reduce la microfiltración. Guimarães *et al.* (2018) demostraron que el Bio-C Sealer presenta una adecuada fluidez y capacidad de penetración en los túbulos dentinarios, con una respuesta biológica favorable en estudios *in vivo*. En consonancia con lo reportado por Inada *et al.* (2023), la combinación de Bio-C Repair y Bio-C Sealer en el mismo caso clínico no solo garantiza la compatibilidad fisicoquímica entre ambos materiales, sino que también maximiza el potencial de biomineralización en toda la extensión del sistema de conductos, favoreciendo la reparación periapical a largo plazo.

El sellado coronal inmediato con resina compuesta fue realizado en la misma sesión en que se completó la obturación, con el objetivo de prevenir la recontaminación bacteriana del sistema de conductos. Sharma *et al.* (2016) y Yilmaz *et al.* (2017) coinciden en destacar la importancia del sellado coronal como factor determinante en el pronóstico a largo plazo de los tratamientos endodónticos, señalando que la filtración coronal puede comprometer el sellado apical independientemente de la calidad del material obturador utilizado. En el

contexto de dientes con ápice inmaduro y paredes radicales delgadas, la restauración coronal adquiere una relevancia adicional, actúa como refuerzo estructural que distribuye las cargas oclusales y disminuye el riesgo de fractura radicular, complicación frecuente en este tipo de piezas dentarias. La colocación inmediata de la restauración definitiva permitió, además, reducir al mínimo el período de vulnerabilidad coronal entre la finalización de la endodoncia y la rehabilitación del elemento.

CONCLUSIÓN

Los cementos biocerámicos a base de silicatos de calcio, y en particular el Bio-C Repair, representan una evolución significativa en el abordaje endodóntico de dientes con ápice inmaduro, con amplias perspectivas de aplicación clínica. Su presentación lista para usar, su capacidad de fraguado en presencia de humedad, su biocompatibilidad demostrada y su potencial bioactivo para inducir la formación de tejidos mineralizados los posicionan como una opción superadora respecto de los materiales utilizados históricamente en procedimientos de apexificación. La incorporación de estos materiales al protocolo terapéutico permite afrontar con mayor previsibilidad los casos de alta complejidad, como los retratamientos endodónticos, simplificando la técnica sin resignar eficacia biológica. En el presente caso, este abordaje se tradujo en la remisión completa de la sintomatología clínica, la inactivación del tracto sinuoso y una evidente reparación ósea periapical. Los resultados obtenidos, sostenidos a lo largo de 18 meses de seguimiento, constituyen un aporte concreto a la evidencia clínica disponible y avalan el uso del Bio-C Repair como material de elección en la práctica endodóntica especializada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andreasen, F. M., & Kahler, B. (2015). Pulpal response after acute dental injury in the permanent dentition: Clinical implications—A review. *Journal of Endodontics*, 41(3), 299–308. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.015>

Araya, N., Alcántara, R., Luengo, L., Bello-Toledo, H., González-Rocha, G., & Sánchez-Sanhueza, G. (2022). In vitro antibacterial activity of endodontic bioceramic materials against dual and multispecies aerobic-anaerobic biofilm models. *Australian Endodontic Journal*, 48(3), 465–472. <https://doi.org/10.1111/aej.12587>

Beltri Orta, P. (2002). Embriología dentaria: Implicancias clínicas. *Ciencia Pediátrica*, 22(9), 36–39.

Benetti, F., de Queiroz, Í. O. A., Cosme-Silva, L., Conti, L. C., Oliveira, S. H. P., Cintra, L. T. A., & Oliveira, S. H. P. (2019). Cytotoxicity, biocompatibility and biomineralization of a new ready-for-use bioceramic repair material. *Brazilian Dental Journal*, 30(4), 325–332. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201902457>

Bhasin, P., Saraf, B. G., Chauhan, S., Kumar, H., Wahi, P., & Vats, V. (2024). The successful interdisciplinary outcome of blunderbuss canal with an open apex using MTA under magnification: A case report. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 17(1), 97–101. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2740>

Camilleri, J., Grech, L., Galea, K., Keir, D., Fenech, M., Formosa, L., Damidot, D., & Mallia, B. (2014). Porosity and root dentine to material interface assessment of calcium silicate-based root-end filling materials. *Clinical Oral Investigations*, 18(5), 1437–1446. <https://doi.org/10.1007/s00784-013-1124-y>

Cavenago, B. C., Pereira, T. C., Duarte, M. A. H., Ordinola-Zapata, R., Marciano, M. A., Bramante, C. M., Bernardineli, N., & Moraes, I. G. (2014). Influence of powder-to-water ratio on radiopacity, setting time, pH, calcium ion release and a micro-CT volumetric solubility of white mineral trioxide aggregate. *International Endodontic Journal*, 47(2), 120–126. <https://doi.org/10.1111/iej.12120>

Celikten, B., Jacobs, R., de Faria Vasconcelos, K., Huang, Y., Shaheen, E., Nicolielo, L. F. P., Orhan, K., & Jacobs, R. (2019). Comparative evaluation of cone beam CT and micro-CT on blooming artifacts in human teeth filled with bioceramic sealers. *Clinical Oral Investigations*, 23(8), 3267–3273. <https://doi.org/10.1007/s00784-018-2748-8>

Chauhan, S., Bhasin, P., Chauhan, R., Sood, A., Lamba, J., & Yadav, P. (2025). Microscopic precision with bioceramics apexification: A case report. *World Journal of Clinical Pediatrics*, 14(4), 107403. <https://doi.org/10.5409/wjcp.v14.i4.107403>

Chauhan, S., Chauhan, R., Bhasin, P., & Sharaf, B. G. (2025). Present status and future directions: Apexification. *World Journal of Methodology*, 15(1), 96923. <https://doi.org/10.5662/wjm.v15.i1.96923>

Cintra, L. T. A., Benetti, F., de Queiroz, Í. O. A., Ferreira, L. L., Massunari, L., Bueno, C. R. S., Oliveira, S. H. P., & Gomes-Filho, J. E. (2017). Cytotoxicity, biocompatibility, and biomineralization of the new high-plasticity MTA material. *Journal of Endodontics*, 43(5), 774–778. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.12.018>

Dawood, A. E., Parashos, P., Wong, R. H., Reynolds, E. C., & Manton, D. J. (2017). Calcium silicate-based cements: Composition, properties, and clinical applications. *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*, 8(2), e12195. <https://doi.org/10.1111/jicd.12195>

Dong, X., & Xu, X. (2023). Bioceramics in endodontics: Updates and future perspectives. *Bioengineering*, 10(3), 354. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030354>

El Sayed, M., & Saeed, M. (2012). In vitro comparative study of sealing ability of Diadent BioAggregate and other root-end filling materials. *Journal of Conservative Dentistry*, 15(3), 249–252. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.97950>

Flanagan, T. A. (2014). What can cause the pulpal necrosis of immature permanent teeth with open apices and what treatment options are available for these teeth? *Australian Endodontic Journal*, 40(3), 95–100. <https://doi.org/10.1111/aej.12053>

Gandolfi, M. G., Siboni, F., Botero, T., Bossù, M., Riccitiello, F., & Prati, C. (2015). Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: Biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 13(1), 43–60. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000201>

Gill, I., Mittal, S., Kumar, T., & Keshav, V. (2024). Ápice abierto y su manejo: Artículo de revisión. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 16, S31–S34. https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_615_23

Guimarães, B. M., Prati, C., Duarte, M. A. H., Bramante, C. M., & Gandolfi, M. G. (2018). Physicochemical properties of calcium silicate-based formulations MTA Repair HP and MTA

Vitalcem. Journal of Applied Oral Science, 26, e2017115. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2017-0115>

Güneş, B., & Aydinbelge, H. A. (2012). Mineral trioxide aggregate apical plug method for the treatment of nonvital immature permanent maxillary incisors: Three case reports. Journal of Conservative Dentistry, 15(1), 73–76. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.92611>

Guo, Y. J., Du, T. F., Li, H. B., Shen, Y., Mobuchon, C., Hieawy, A., Wang, Z. J., Yang, Y., & Haapasalo, M. (2016). Physical properties and hydration behavior of a fast-setting bioceramic endodontic material. BMC Oral Health, 16, Article 23. <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0184-1>

Hench, L. L. (1998). Bioceramics. Journal of the American Ceramic Society, 81(7), 1705–1728. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1998.tb02540.x>

Hernández, Z., & Acosta, M. G. (2010). Comparación de Edad Cronológica y Dental según Índices de Nolla y Dermijian en Pacientes con Acidosis Tubular Renal. *Pesquisa Brasileira Em Odontopediatria e Clinica Integrada*, 10(3), 423–431. <https://doi.org/10.4034/1519.0501.2010.0103.0014>

Iftikhar, S., Jahanzeb, N., Saleem, M., Ur Rehman, S., Matinlinna, J. P., & Khan, A. S. (2021). The trends of dental biomaterials research and future directions: A mapping review. The Saudi Dental Journal, 33(5), 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.01.002>

Inada, R. N. H., Queiroz, M. B., Lopes, C. S., Silva, E. C. A., Torres, F. F. E., da Silva, G. F., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Cerri, P. S., & Tanomaru-Filho, M. (2023). Biocompatibility, bioactive potential, porosity, and interface analysis of calcium silicate repair cements in a dentin tube model. Clinical Oral Investigations, 27(7), 3839–3853. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05002-5>

Jitaru, S., Hodisan, I., Timis, L., Lucian, A., & Bud, M. (2016). The use of bioceramics in endodontics: Literature review. Clujul Medical, 89(4), 470–473. <https://doi.org/10.15386/cjmed-612>

Kaur, M., Singh, H., Dhillon, J. S., Batra, M., & Saini, M. (2017). MTA versus Biodentine: Review of literature with a comparative analysis. Journal of Clinical and Diagnostic Research, 11(8), ZG01–ZG05. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2017/25840.10374>

Khetarpal, A., Chaudhary, S., Talwar, S., & Verma, M. (2014). Endodontic management of open apex using Biodentine as a novel apical matrix. Indian Journal of Dental Research, 25(4), 513–516. <https://doi.org/10.4103/0970-9290.142555>

- Kim, Y. J., & Chandler, N. P. (2013). Determination of working length for teeth with wide or immature apices: A review. *International Endodontic Journal*, 46(6), 483–491. <https://doi.org/10.1111/iej.12037>
- Kumara, P. A. A. S. P., Deng, X., Cooper, P. R., Cathro, P., Dias, G., Gould, M., *et al.* (2024). Montmorillonite in dentistry: A review of advances in research and potential clinical applications. *Materials Research Express*, 11(7), 072001. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ad62c2>
- Martin, D. E., De Almeida, J. F., Henry, M. A., Khaing, Z. Z., Schmidt, C. E., Teixeira, F. B., & Diogenes, A. (2014). Concentration-dependent effect of sodium hypochlorite on stem cells of apical papilla survival and differentiation. *Journal of Endodontics*, 40(1), 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.07.026>
- Metzger, Z., Solomonov, M., & Mass, E. (2001). Calcium hydroxide retention in wide root canals with flaring apices. *Dental Traumatology*, 17(2), 86–92. <https://doi.org/10.1034/j.1600-9657.2001.017002086.x>
- Mohammadi, Z., & Dummer, P. M. H. (2011). Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *International Endodontic Journal*, 44(8), 697–730. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01886.x>
- Mohammed, S. A., Vianna, M. E., Penny, M. R., Hilton, S. T., & Knowles, J. C. (2017). The effect of sodium hypochlorite concentration and irrigation needle extension on biofilm removal from a simulated root canal model. *Australian Endodontic Journal*, 43(3), 102–109. <https://doi.org/10.1111/aej.12203>
- Nagaraj, N. J., Pallavi, S., Ravisankar, M. S., & Kumar, T. S. (2022). Endodontic management of an open apex with apexification using mineral trioxide aggregate: A case report. *Medical Science*, 26, ms315e2331. <https://doi.org/10.54905/disssi/v26i125/ms315e2331>
- Nagmode, P. S., Satpute, A. B., Patel, A. V., & Ladhe, P. L. (2016). The effect of mineral trioxide aggregate on the periapical tissues after unintentional extrusion beyond the apical foramen. *Case Reports in Dentistry*, 2016, 3590680. <https://doi.org/10.1155/2016/3590680>
- Orti, V., Collart-Dutilleul, P. Y., Piglionico, S., Pall, O., Cuisinier, F., & Panayotov, I. (2018). Pulp regeneration concepts for nonvital teeth: From tissue engineering to clinical approaches. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 24(5), 419–442. <https://doi.org/10.1089/ten.teb.2018.0073>

Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part I: Chemical, physical, and antibacterial properties. *Journal of Endodontics*, 36(1), 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.006>

Parirokh, M., & Torabinejad, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *Journal of Endodontics*, 36(3), 400–413. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.009>

Paulindraraj, S., Venkatesan, R., Suprakasam, S., & Christopher, A. (2015). Apexification—Then and now: A review. *International Journal of Dental and Medical Research*, 1, 193–196.

Pawar, A. M., Pawar, S. M., Pawar, M. G., & Kokate, S. R. (2015). Retreatment of endodontically failed tooth with wide-open apex using platelet rich fibrin membrane as matrix and an apical plug of Biodentine™. *European Journal of General Dentistry*, 4(3), 150–154. <https://doi.org/10.4103/2278-9626.163341>

Plascencia, H., Díaz, M., Gascón, G., Garduño, S., Guerrero-Bobadilla, C., Márquez-De Alba, S., & González-Barba, G. (2017). Management of permanent teeth with necrotic pulps and open apices according to the stage of root development. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 9(11), e1329–e1339. <https://doi.org/10.4317/jced.54287>

Poletto, A. N., & Giménez, E. D. (2012). Edad dentaria: adecuación regional de los métodos de Nolla y Demirjian. *Revista de la Facultad de Odontología*, 6(2), 37–42.

Prati, C., & Gandolfi, M. G. (2015). Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental Materials*, 31(4), 351–370. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.004>

Pushpalatha, C., Dhareshwar, V., Sowmya, S. V., Augustine, D., Vinothkumar, T. S., Renugalakshmi, A., *et al.* (2022). Modified mineral trioxide aggregate—A versatile dental material: An insight on applications and newer advancements. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10, 941826. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.941826>

Queiroz, M. B., Inada, R. N. H., Jampani, J. L. A., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Sasso-Cerri, E., Tanomaru-Filho, M., & Cerri, P. S. (2023). Biocompatibility and bioactive potential of an experimental tricalcium silicate-based cement in comparison with Bio-C Repair and MTA Repair HP materials. *International Endodontic Journal*, 56(2), 259–277. <https://doi.org/10.1111/iej.13863>

Rafter, M. (2005). Apexification: A review. *Dental Traumatology*, 21(1), 1–8. <https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2004.00284.x>

- Rajasekharan, S., Martens, L. C., Cauwels, R. G. E. C., & Anthonappa, R. P. (2018). Biodentine™ material characteristics and clinical applications: A 3-year literature review and update. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 19(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s40368-018-0328-x>
- Rodríguez-Lozano, F. J., Lozano, A., López-García, S., García-Bernal, D., Tomás-Catalá, C. J., Llena, C., Forner, L., & Moraleda, J. M. (2022). Biomineralization potential and biological properties of a new tantalum oxide (Ta₂O₅)-containing calcium silicate cement. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 1427–1441. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04117-x>
- Sharma, V., Sharma, S., Dudeja, P., & Grover, S. (2016). Endodontic management of nonvital permanent teeth having immature roots with one-step apexification, using mineral trioxide aggregate apical plug and autogenous platelet-rich fibrin membrane as an internal matrix: Case series. *Contemporary Clinical Dentistry*, 7(1), 67–70. <https://doi.org/10.4103/0976-237X.177107>
- Sousa, G. H., Rodrigues, A. G., Garcia, F. B. T., Ferreira, E. H. R. G., & Gontijo, S. M. L. (2023). Apexification with a bioceramic reparative cement: a case report. *General Dentistry*, 71(4), 54–57.
- Spagnuolo, G. (2022). Bioactive dental materials: The current status. *Materials*, 15(6), 2016. <https://doi.org/10.3390/ma15062016>
- Surya Raghavendra, S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). Bioceramics in endodontics—A review. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, 51(3 Suppl 1), S128–S137. <https://doi.org/10.17096/jiufd.63659>
- Torabinejad, M., & Chivian, N. (1999). Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *Journal of Endodontics*, 25(3), 197–205. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(99\)80142-3](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(99)80142-3)
- Torabinejad, M., & Parirokh, M. (2010). Mineral trioxide aggregate: A comprehensive literature review—Part II: Leakage and biocompatibility investigations. *Journal of Endodontics*, 36(2), 190–202. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.09.010>
- Torres, F. F. E., Pinto, J. C., Figueira, G. O., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Tanomaru-Filho, M., & Bosso-Martelo, R. (2021). A micro-computed tomographic study using a novel test model to assess the filling ability and volumetric changes of bioceramic root repair materials. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(1), e2. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e2>
- Uppal, A. S., Bhushan, J., Bhullar, M. K., & Kochhar, G. K. (2013). Apexification. *Dental Journal of Advanced Studies*, 1(1), 55–57. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1670597>

Vinaya Susan, V., Veerendra, U., & Nirmal, K. (2017). One-step apexification of blunderbuss canal using Biodentin. *Christian Medical Journal of Health Research*, 4(4), 280–282. https://doi.org/10.4103/cjhr.cjhr_49_17

Yilmaz, Z., Küçükkaya Eren, S., Uzunoğlu, E., Görduysus, M., & Görduysus, M. Ö. (2017). Interaction of backfilling techniques and MTA plugs with additives: Fracture strength and adaptation analyses. *Dental Materials Journal*, 36(6), 809–815. <https://doi.org/10.4012/dmj.2016-425>

Yong, D. (2021). Development and analysis of a novel bovine hydroxyapatite calcium silicate cement for conservative pulp therapy (Doctoral thesis, University of Otago). University of Otago. University of Otago Repository