



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**“EVALUACIÓN *EX VIVO* DE LA MICROFILTRACIÓN,  
ADAPTACIÓN MARGINAL Y RESISTENCIA AL  
DESPLAZAMIENTO DE DOS COMPUESTOS DE TRIÓXIDO  
MINERAL, EN ÁPICES INMADUROS EN DIENTES  
HUMANOS”**

**TESISTA:**

**OD. MARISA CRISTINA GUTIÉRREZ**

**DIRECTOR:**

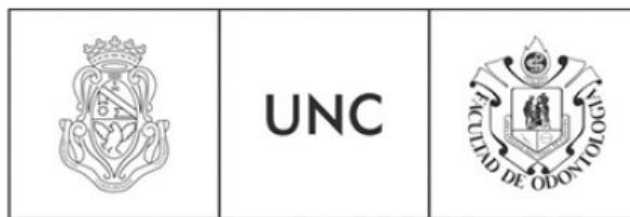
**PROF. DR. RICARDO JUAN CABRAL**

**CÓRDOBA, 2017**



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

**“Evaluación *ex vivo* de la microfiltración,  
adaptación marginal y resistencia al  
desplazamiento de dos compuestos de trióxido  
mineral, en ápices inmaduros en dientes  
humanos”**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**Trabajo de tesis para optar al título de doctor en odontología**

***“Evaluación ex vivo de la microfiltración,  
adaptación marginal y resistencia al  
desplazamiento de dos compuestos de trióxido  
mineral, en ápices inmaduros en dientes  
humanos”***

**Tesista: Od. Marisa Cristina Gutiérrez**

**Director: Prof. Dr. Ricardo Juan Cabral**

**Co-directora: Prof. Dra. Liliana Menis de Mutal**

**Córdoba, Argentina. Año 2017**

## **COMISIÓN DE TESIS**

Prof. Dr. Ricardo Cabral

Prof. Dra. Susana Rodrigo

Prof. Dra. María del Carmen Urquía Morales

## **JURADO DE TESIS**

Prof. Dra. Susana Rodrigo

Prof. Dr. Ricardo Macchi

Prof. Dra. María del Carmen Urquía Morales

# **DEDICATORIA**

**A mis queridas hijas:**

**Florencia, Lucía y Josefina**

**Ningún sacrificio es demasiado grande,**

**Ningún amor tan querido,**

**Ninguna madre más orgullosa.**

# **AGRADECIMIENTOS**



A mi Director Prof. Dr. Ricardo Cabral y Co-directora Prof. Dra. Liliana M. de Mutal quienes me guiaron en la ejecución de éste trabajo dedicando su tiempo y esfuerzo.

A la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional de Córdoba que me permitió formarme primero como profesional odontóloga, luego como Especialista en Endodoncia y ahora como Doctora en Odontología.

A los miembros del jurado de Tesis, por su dedicación y aporte de sugerencias.

A los profesores y compañeros de la Cátedra “B” de Endodoncia por su amistad y permanente apoyo.

Al Ing. Luis Croharé por su aporte en el procesamiento de las muestras, análisis de las imágenes, asesoramiento estadístico, en la compaginación de éste trabajo y por su amistad.

A Juan Briñón por su colaboración en la confección de los dispositivos necesarios para el procesamiento de las muestras.

A los técnicos de la sub-área de Histotecnología del Laboratorio del Área de Biología Odontológica (A.B.O.) la Lic. Ana Chalabe y Lic. Leandro Olivera por su colaboración en el procesamiento de las muestras.

Al personal de la biblioteca de la Facultad de Odontología, especialmente al Sr. Marco Tonelli por su dedicación en las búsquedas bibliográficas solicitadas para éste trabajo.

# **CERTIFICACIONES**

# ÍNDICE

PORTADILLA .....	I
PORTADA .....	II
COMISIÓN de TESIS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	VI
CERTIFICACIONES .....	VIII
ÍNDICE .....	X
RESUMEN .....	XIII
ABSTRACT .....	XV
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	35
OBJETIVOS GENERALES .....	35
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	35
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	37
<b>ESTUDIO 1:</b> Evaluación de la microfiltración marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio .....	40
<b>ESTUDIO 2:</b> Evaluación inmediata y mediata de la adaptación marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio .....	49
<b>ESTUDIO 3:</b> Evaluación de la resistencia al desplazamiento de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio .....	55
<b>RESULTADOS</b> .....	61
Cuadro integrador de resultados.....	80
<b>DISCUSIÓN</b> .....	82
<b>CONCLUSIONES</b> .....	98
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	100

# **RESUMEN**

## RESUMEN

El uso de MTA como material de obturación en dientes no vitales y ápices inmaduros permite la resolución definitiva en una sesión. OBJETIVOS: Comparar la microfiltración, la adaptación a las paredes dentinarias y la resistencia al desplazamiento de dos compuestos de trióxido mineral, como tapón apical en dientes con ápices inmaduros, con y sin obturación previa de pasta de hidróxido de calcio. MÉTODO: Se utilizaron ciento veinticuatro piezas dentarias, incisivos centrales superiores. Para medir la microfiltración se utilizaron setenta y seis muestras, divididas en cuatro grupos, obturados con CPM-Egeo y MTA-Ángelus, con y sin pasta de hidróxido de calcio, que se sumergieron durante 48h en fucsina al 0,02%. Posteriormente, se seleccionaron al azar siete muestras de cada grupo utilizadas en el estudio 1 para la evaluación inmediata de la interfaz cemento/pared dentinaria a través del microscopio confocal Olympus. Para la evaluación mediata, se seleccionaron siete muestras más, pero sólo de los grupos obturados con ambos cementos y pasta de hidróxido de calcio. Sumergidas en agua destilada durante 90 días se evaluó la interfaz, para luego confrontar ambos resultados. Para el estudio 3, se conformaron cuatro grupos nuevos de cuarenta y ocho muestras cada uno, obturados con CPM-Egeo y MTA-Ángelus, con y sin pasta de hidróxido de calcio. Se obtuvieron dos cortes transversales de cada muestra y mediante una máquina Instrom se midió la fuerza necesaria para desplazar la obturación. RESULTADOS: CPM-Egeo y MTA-Ángelus mostraron grados de microfiltración similar, sin diferencia significativa entre ambos ( $p>0,05$ ). El uso de pasta de hidróxido de calcio mostró menor porcentaje de microfiltración en ambos cementos, con diferencia significativa ( $p<0,05$ ). La evaluación inmediata y mediata de la interfaz cemento/pared dentinaria, mostró espacios vacíos sin diferencias significativas entre los cementos ( $p>0,05$ ) y con diferencias significativas entre la evaluación inmediata y mediata ( $p<0,05$ ). Las muestras obturadas con CPM-Egeo y MTA-Ángelus y pasta de  $\text{Ca(OH)}_2$  mostraron una menor resistencia al desplazamiento que aquellas obturadas sólo con cemento, siendo los valores, estadísticamente significativos ( $p<0,05$ ). CONCLUSIONES: MTA-Ángelus y CPM-Egeo, registraron porcentajes de microfiltración positiva similares. La utilización de pasta de hidróxido de calcio, disminuye significativamente el proceso de microfiltración, pero su pérdida paulatina afecta el sellado y disminuye la resistencia al desplazamiento.

# **ABSTRACT**

**Abstract**

The use of MTA as a dental filling material allows getting the final resolution in one session when used in non-vital teeth and immature apices.

**OBJECTIVE:** To compare the microleakage, the adaptation to the dentinal walls and the resistance to the displacement of two mineral trioxide compounds, as an apical plug in teeth with immature apices –with and without previous filling of calcium hydroxide paste. **METHODOLOGY:** One hundred and twenty four teeth, upper central incisors, were used. To study the microleakage, seventy six samples were used and divided into four groups: filled with CPM-Egeo and MTA-Angelus, with and without calcium hydroxide paste. Samples were submerged for 48h in 0.02% fuchsin. Subsequently, seven samples from each of the groups used in study 1 were randomly selected for the immediate evaluation of the cement/dentinal wall interface through the Olympus confocal microscope. For the mediate evaluation, seven more samples were selected, but this time only out of the groups sealed with both cements and calcium hydroxide paste. Interface was evaluated after submerging in distilled water for 90 days, and then results were compared. Finally, forty eight samples were arranged into four groups: sealed with CPM-Egeo and MTA-Angelus, with and without calcium hydroxide paste. Two cross-sections out of each sample were obtained, and then the necessary force to displace the fillings was measured using an Instron machine. **RESULTS:** CPM-Egeo and MTA-Angelus showed similar degrees of microleakage, with no significant difference between them ( $p > 0.05$ ). The use of calcium hydroxide paste showed a lower percentage of microleakage in both cements, with a significant difference ( $p < 0.05$ ). The immediate evaluation of the cement/dentinal wall interface showed empty spaces without significant differences between both cements ( $p > 0.05$ ) and with significant differences between the mediate and immediate evaluations ( $p < 0.05$ ). The samples sealed with CPM-Egeo and MTA-Angelus and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  paste showed a lower resistance to displacement than those sealed with cement alone, being results statistically significant ( $p < 0.05$ ). **CONCLUSIONS:** MTA-Angelus and CPM-Egeo showed similar positive microleakage percentages. The use of calcium hydroxide paste significantly reduces the microleakage process, but the gradual loss of the calcium hydroxide paste affects the sealing and reduces the resistance to displacement.



# **INTRODUCCIÓN**

El diente desde que erupciona en la cavidad bucal necesita un tiempo determinado para terminar la formación de su raíz. Se caracteriza por presentar gran abertura apical, paredes delgadas divergentes, paralelas o ligeramente convergentes, dependiendo de la etapa de la formación radicular en que se encuentre. (Erdogan G. 1997; Fucks AB. 2000; y Andreasen JO. 2002).

Para que se produzca el normal desarrollo de la raíz en estas piezas dentarias, denominadas según los diferentes autores, diente permanente joven o dientes con ápices inmaduros, es necesario que se mantenga el tejido pulpar vital y en óptimas condiciones. Cuando son afectados por diferentes noxas, se realizan tratamientos específicos que difieren según el estado pulpar. (Fucks AB 2000; Aguilar P et al. 2011 y Ghoddusi J et al. 2014).

Si la pulpa afectada se conserva vital, el tratamiento de elección es la apexogenesis, que según la sintomatología clínica, será el recubrimiento pulpar indirecto, directo o la pulpotomía.

Pero cuando el tejido pulpar pierde la vitalidad y se desarrolla una patología ápico-periapical antes de concluir la formación radicular, uno de los tratamientos de elección es la apicoformación, que consiste en la colocación de un material que actúa por inducción sobre los tejidos ápico-periapicales para que forme una barrera de tejido duro que sirva de tope al material de obturación posterior. (Cohen S et al. 1994; Ingle JL et al. 2004; Walton RE et al. 1990).

Así, de la interrupción abrupta en la formación radicular resulta un diente con una incorrecta relación corona-raíz, la región coronaria o cameral pulpar muy amplia con riesgo de fractura, raíces de paredes delgadas, divergentes hacia apical, o paralelas, dependiendo del grado de inmadurez. En estos casos, la forma del conducto y sus dimensiones dificultan los procedimientos endodónticos convencionales, debido a que el foramen abierto no proporciona una barrera anatómica capaz de contener el material de obturación (Gani O. 1997; Rafter M. 2005).

Durante muchos años el material utilizado para este propósito ha sido la pasta de hidróxido de calcio, con excelentes resultados clínicos (Citrome G et al. 1979; Soares I et al. 2000; Canalda C 2001; Domínguez Reyes A et al. 2005; Kvinnsland SR et al. 2010; Sonali K et al 2016; Damle SG et al. 2016).

El hidróxido de calcio es un polvo granular y amorfo, su pH alcalino es de 12,4 aproximadamente, es antiséptico, bactericida-bacteriostático, astringente y estimulante de la formación de dentina reparativa. (Farhad A et al. 2005; Felipe WT et al. 2006; Balleio I et al. 2006 Mohammadi Z et al. 2011).

Estas propiedades derivan de la disociación iónica en iones calcio e hidroxilos, siendo la acción de estos iones sobre los tejidos y las bacterias la que explican las propiedades biológicas y antimicrobianas de esta sustancia.

El uso de este material, en esta situación clínica en particular, tiene desventajas como la variabilidad del tiempo del tratamiento debido a que para ejercer su acción biológica sobre los tejidos ápico-periapicales el hidróxido de calcio se reabsorbe y requiere la reposición de una nueva pasta hasta observar un indicio en la formación de una barrera de tejido duro. (*Estrella C et al. 1997, 2000, 2001; Holland R. 2003; Safavi KE. 1994; Mohammadi Z et al. 2011*).

La revitalización pulpar es otra terapéutica propuesta para tratar los dientes con ápices inmaduros y lesión ápico-periapical y consiste en rellenar el conducto con un tejido vital, diferenciado a partir del coágulo que se forma al provocar un sangrado de los tejidos apicales. Tiene como objetivo regenerar un complejo dentino-pulpar funcional que permita un continuo desarrollo radicular, con engrosamiento de las paredes del conducto y cierre apical (*Hargreaves KM. 2013*).

Esta situación clínica ha generado la búsqueda continua de técnicas y materiales que promuevan el cierre apical permanente en dientes con ápices inmaduros en menor tiempo y con los mismos resultados clínicos.

En 1993, *Lee et al.* presentaron un material desarrollado en la Universidad de Loma Linda (California, E.E.U.U), denominado Pro-Root MTA (Dentsplay-Maillefer) (compuesto de trióxido mineral) con las mismas propiedades biológicas que el hidróxido de calcio, pero con grandes mejoras en sus propiedades físico-químicas.

El Pro-Root MTA es un compuesto constituido mayormente por cemento Portland (75%) y distintos óxidos, silicatos y diversos minerales, siendo el calcio el ión principal. Consiste en un polvo de partículas finas hidrófilas que al hidratarse forman un gel coloidal que fragua y se transforma en una estructura sólida.

En el año 2001 fue presentado un nuevo compuesto de trióxido mineral de origen brasilero comercializado con el nombre: MTA-Ángelus (Ángelus. Londrina PR. Brasil). El fabricante indica que luego de mezclar una parte de polvo y una de solución estéril, se forma un gel que fragua a los 15 minutos.

Años después, en el año 2004 fue presentado un producto similar al *ProRoot-MTA* en su composición química y propiedades biológicas, el compuesto se comercializa como: CPM® Egeo S.R.L., bajo licencia MTM Argentina S.A ANMAT N° 3344/03. El polvo también consta de finas partículas hidrofílicas que se mezcla en una proporción de 3:1 con solución estéril y forma un gel coloidal en presencia de humedad que solidifica para formar un sellador duro. Ambos compuestos de trióxido mineral

serán evaluados en cuanto a su adaptación y microfiltración marginal y a su resistencia al desalojo con y sin obturación previa de pasta de hidróxido de calcio, imitando el protocolo propuesto por *Torabinejad M et al. (1999)*.

# **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## Dientes permanentes jóvenes o dientes con ápices inmaduros

Son aquellos que aún no han completado la formación de sus raíces. Presentan una abertura apical mayor que la existente en los dientes maduros (*Erdogan G. 1997*). Cuando los dientes permanentes erupcionan están desarrollados entre un 60% y 80% con respecto al depósito de dentina y a la longitud radicular.

Estas piezas dentarias presentan paredes delgadas, propensas a las fracturas, mala relación corono-radicular y amplio foramen apical (*Erdogan G. 1997; Fucks AB. 2000; y Andreasen JO. 2002*).

La caries y los traumatismos dentarios constituyen las causas más frecuentes de lesiones pulpares en dientes permanentes jóvenes (*Sheehy EC et al. 1997*).

Cuando son afectadas por un agente patógeno sea físico, químico o bacteriano cuyos estímulos superen el límite de tolerancia fisiológica se produce una respuesta inflamatoria o degenerativa que requiere de tratamientos específicos y conservadores tendientes a mantener la pulpa dentaria vital y en óptimas condiciones para que termine la formación radicular (*Roberto M et al. 1994; Rule D et al. 1999; Fucks AB 2000; Aguilar P et al. 2011 y Ghoddusi J et al. 2014*).

Cuando se produce la pérdida de la vitalidad en un diente permanente joven antes de finalizar la formación radicular deja una raíz frágil y débil propensa a la fractura. La región coronaria o cameral pulpar es muy amplia con riesgo de fractura, raíces de paredes delgadas, divergentes hacia apical, o paralelas, dependiendo del grado de inmadurez (*Cohen S et al. 1994; Ingle JL et al. 2004; Walton RE et al. 1990*) y ausencia de constricción apical natural.

Ante estas situaciones clínicas la forma del conducto y sus dimensiones dificultan los procedimientos endodónticos convencionales, debido a que el foramen abierto no proporciona una barrera anatómica capaz de contener el material de obturación (*Gani O. 1997; Rafter M. 2005*).

Las técnicas endodónticas habituales son insuficientes para obturar los grandes conductos que presentan estos dientes (*Gani O. 1997*). Aunque se han desarrollado procedimientos para tratar estas piezas dentarias, el pronóstico de retención permanente es limitado cuando se compara con el diente totalmente desarrollado (*Cadaval R. 2001*).

Cuando el tejido pulpar pierde la vitalidad o se desarrolla una patología periapical, uno de los tratamientos de elección en estos dientes es la inducción del cierre apical o apicoformación. De acuerdo con la AAE (*Asociación Americana de Endodoncia*), la

apicoformación es “Un método que induce la formación de una barrera calcificada en un diente con ápice abierto o la continuación del desarrollo apical de una raíz incompletamente formada en dientes con pulpa necrótica” (American Association of Endodontists. Glosary 1998).

Este tratamiento consiste en obturar el conducto, previa limpieza y desinfección, con una pasta medicamentosa a base de hidróxido de calcio que actúa sobre los tejidosápico-periapicales induciéndolos a la formación de una barrera apical de tejido duro ya sea con o sin crecimiento radicular, que sirva como tope para realizar una buena compactación de la gutapercha, durante la obturación en el tratamiento endodóntico definitivo (Citrome G et al. 1979; Soares I et al. 2000; Canalda C 2001; Domínguez Reyes A et al. 2005; Kvinnsland SR et al. 2010; Sonali K et al 2016; Damle SG et al. 2016).

Durante años, el hidróxido de calcio ha sido considerado el material de elección para este tratamiento, actúa por disociación iónica, activando enzimas tisulares como la fosfatasa alcalina, con efecto mineralizante y gran potencial osteogénico (Holland R et al. 1999, 2001; Frank AL 1966; Morfis AS et al. 1991; Schumacher JW et al. 1993; Chosack A et al. 1997; Rafter M. 2005; Farhad A et al. 2005; Felipe WT et al. 2006; Ballesio I et al. 2006 Mohammadi Z et al. 2011).

El hidróxido de calcio con un pH 12,5- 12,8 actúa como inhibidor de la inflamación, luego de la limpieza y conformación de los conductos manteniendo el sellado temporal (Byström A et al. 1985; Estrella C et al. 1997, 2000, 2001; Holland R. 2003; Safavi KE. 1994; Mohammadi Z et al. 2011). Posee gran biocompatibilidad (Leonardo et al. 2005) y acción antimicrobiana frente a patógenos endodónticos comunes pero es menos eficaz contra enterococcus faecalis y cándida albicans. Es también un agente anti-endotoxina valioso, sin embargo, su efecto sobre las biopelículas microbianas es controvertido (Mohammadi Z et al. 2012).

Granath LE. (1959) (citado por Torabinejad M. 2014) fue el primero en describir el uso de hidróxido de calcio para el cierre apical. Posteriormente popularizado por Kaiser (1964) (citado por Torabinejad M. 2014), y a partir de allí, el tratamiento de apexificación ha sido utilizado con gran éxito por muchos investigadores. En sus inicios el hidróxido de calcio se usó como una pasta mezclada con paramonoclorofenol alcanforado (CMCP) que por inducción sobre los tejidos apicales formaba una barrera calcificada en el ápice, ya desde esa época se acentuaba la importancia de reducir la contaminación dentro del conducto a través de la instrumentación y la medicación (Cooke C et al. 1960; Frank AL 1966).

*Dylewski JJ (1971) Steiner JC et al. (1968) Van Hassel HJ et al. (1970) y Rafter M. (2005)* reportaron un alto nivel de éxito clínico con el uso de hidróxido de calcio en combinación con CMCP.

*Klein SH et al. (1974); Stewart GG. (1975) y West NM et al. (1985)* describen la inducción exitosa de una barrera apical utilizando hidróxido de calcio y Cresatin (Premier Dental Products) que posee gran potencial antiinflamatorio y es menos tóxico que el CMCP.

*Citrome GP et al. (1979)* para disminuir la citotoxicidad utilizaron el hidróxido de calcio mezclado con solución salina, *Michanowicz J et al. (1967)* con agua estéril y *Binnie WH et al. (1973)* con agua destilada.

Con éxito clínico similar *Heithersay GS. (1970)* utilizó el hidróxido de calcio en combinación con metilcelulosa que tiene la ventaja de disminuir la solubilidad.

Sin embargo, la terapia de apexificación con hidróxido de calcio, como componente de las pastas alcalinas, tiene algunas desventajas como su reabsorción gradual, la imprevisibilidad del cierre apical, la variabilidad del tiempo del tratamiento y el debilitamiento de la estructura de la raíz causada por la desnaturalización o disolución de los componentes ácidos de la dentina. La reabsorción de la pasta de hidróxido de calcio se produce a medida que ejerce su acción biológica sobre los tejidosápico-periapicales, por lo cual es necesario controlar la presencia de espacios vacíos en la obturación y renovarla tantas veces como sea necesario, hasta observar o sentir a través del sondeo la formación de una barrera apical de tejido duro. Este procedimiento normalmente requiere de varias citas durante un periodo de tiempo (*Steinig TH et al. 2003; Metzger Z et al. 2001; Heling I et al. 1999; Torabinejad M. 1999*).

*Piekoff MD et al. (1976)* publicaron un caso que requirió cuatro años de tratamiento para completar la formación radicular.

Durante el período de tiempo de recambio de pasta, se restaura el diente temporalmente, para evitar el riesgo de filtración coronal y fractura por la exposición prolongada al hidróxido de calcio, que afecta adversamente las propiedades mecánicas de la dentina radicular (*Andreasen JO 2006; Kofman S et al. 2008; Mente J et al. 2009; Doyon GE et al. 2005; Steinig TH et al. 2003; Bonte E et al. 2015*).

Además de su rápida reabsorción, la pasta de hidróxido de calcio posee otras propiedades físico-químicas indeseables como la falta de radioopacidad y de resistencia compresiva adecuada (*Cvek M et al. 2004*).

Aún con las dificultades planteadas, *Sheehy CE et al. (1997)* utilizando como terapia intraconducto la pasta de hidróxido de calcio como inductor de la formación de



una barrera apical tuvieron éxito en el 74% de los casos tratados, independientemente de la marca patentada utilizada, con una duración media de tiempo de 5 a 20 meses.

*Chhabra N et al. (2010)* recomiendan el uso de pasta de hidróxido de calcio con el objeto de promover la desinfección del conducto, concepto aceptado anteriormente por *Das S. (1980)*.

También, *Domínguez Reyes A et al. (2005)* utilizaron pasta de hidróxido de calcio para inducir el cierre apical y obtuvieron éxito en el 100% de los casos estudiados, el 88,4% requirieron entre tres y cuatro sesiones de tratamiento, siendo el tiempo medio empleado de 12 a 19 meses. El cierre apical fue de forma fisiológica en el 73% de los casos tratados.

*Lambrianidis T et al. (1999)* muestran en sus estudios que la pasta de hidróxido de calcio es efectivo en los procesos inflamatorios y muestra gran poder osteogénico, pero no es posible eliminar por completo el hidróxido de calcio residual de la pared del conducto radicular, ni aún utilizando soluciones activadas por ultrasonido.

*Porkaew P et al. (1990)* estudiaron el efecto de los restos de hidróxido de calcio en las paredes dentinarias en relación con la capacidad de sellado de gutapercha y sellador. Observaron una significativa disminución en la filtración en los conductos con obturación previa de pasta de hidróxido de calcio, y concluyeron en que el hidróxido de calcio reacciona para formar carbonato de calcio, proporcionando una disminución inicial en la permeabilidad y adaptación de los materiales.

Resultados opuestos fueron los obtenidos por *Adel M et al. (2014)* que observaron una mayor filtración en las muestras obturadas previamente con pasta de hidróxido de calcio, que en aquellas sin pasta.

*Çalt S et al. (1999)* en un estudio con microscopía electrónica, observaron residuos de pasta de hidróxido de calcio en las paredes dentinarias, luego de la irrigación con hipoclorito de sodio, que interferían la penetración del sellador endodónticos en la dentina.

Las desventajas demostradas de este procedimiento terapéutico han generado la búsqueda continua de nuevas técnicas y materiales que promuevan el cierre apical permanente en dientes con ápices inmaduros en menor tiempo y con los mismos resultados (*Shabahang S et al. 1999; Al Ansary MA 2009*).

Una alternativa a la apexificación con hidróxido de calcio es la propuesta por *Torabinejad M et al. (1994)* con la formación de una barrera apical artificial de compuesto de trióxido mineral (MTA); procedimiento que se realiza en dos sesiones haciendo posible restaurar el diente en un plazo breve de tiempo evitando las posibles

complicaciones de contaminación y abandono del tratamiento, que se presentan con el uso de la pasta de hidróxido de calcio.

El objetivo de la formación de una barrera apical es crear un entorno conducente a la producción de tejido mineralizado en la región apical, evitando al mismo tiempo la sobreobturación. (*Torabinejad M et al. 1993, 1995, a, b c, y d, 1999 y 2010; Parirokh M et al. 2010 a y b*).

## Compuesto de Trióxido Mineral

El compuesto de trióxido mineral fue desarrollado en la Universidad de Loma Linda (California. E.E.U.U) en 1993 por *Lee SJ y Torabinejad M*; Patentado en 1995 y aprobado para procedimientos endodónticos en 1998 (*Maroto M et al. 2006; Schwartz RS et al. 1999*).

Fue presentado como un cemento capaz de sellar cualquier vía de comunicación entre el espacio pulpar y los tejidos periradiculares (*Torabinejad M et al. (1994 y 1995 a y b)*) y obtener una respuesta favorable en los tejidos circundantes (*Torabinejad M et al. (1995c y 1997; Pitt Ford TR et al. 1996)*); llegando incluso a inducir la regeneración de tejidos duros (*Pitt Ford TR et al. 1995b*).

Se presentó con el nombre comercial ProRoot-MTA (Dentsply-Maillefer) en forma de polvo, inicialmente de color gris y luego en el año 2002 de color blanco. Al mezclarse con agua estéril en una proporción 3:1 sus finas partículas hidrófilas se hidratan y forman un gel coloidal que fragua y se transforma en una estructura sólida en aproximadamente 4 horas. (*Lee SJ et al. 1993; Hakki SS et al. 2009*). Para que se produzca el proceso de fraguado y se revelen las propiedades físico-mecánicas del material, tanto el fabricante como los diferentes investigadores, indican que el proceso requiere de humedad en doble capa. (*Torabinejad M et al. (1995 a y b)*).

El Pro-Root MTA es un material bio-activo que influye en su entorno (*Parirokh M et al. 2010*) induce la formación de cristales de hidroxiapatita en la superficie en contacto con los fluidos de los tejidos, así como la formación potencial de tejido duro; dichas características hacen del compuesto de trióxido mineral, un material apropiado para su uso como una barrera física apical en dientes con pulpa no vital y ápice abierto (*Nosrat A et al. 2012*).

*Felippe WT et al. (2006)* evaluaron la influencia del Pro-Root MTA en la apexificación y la curación periapical de los dientes de perros con formación radicular incompleta y conductos previamente contaminados, como así también la necesidad o no de emplear pasta de hidróxido de calcio antes de usar MTA. Se estudiaron siete

parámetros: formación de una barrera apical de tejido calcificado, el nivel de la formación de la barrera, la reacción inflamatoria, la extrusión del MTA y la presencia o no de microorganismos. Concluyeron en que el uso inicial de la pasta de hidróxido de calcio no era necesario para que se produzca apexificación, y ha demostrado estar fuertemente relacionado con la extrusión de MTA y la formación de las barreras más allá de los límites de las paredes del conducto radicular.

*Fridland M et al. (2003)* afirman que las características físicas-mecánicas de la mezcla de MTA son influenciadas por la relación polvo / líquido, como así también por el método usado para la mezcla (es decir, la cantidad de aire atrapadas), la presión de la condensación en la cavidad, la humedad del medio ambiente, el tipo de MTA, el medio de almacenamiento, el valor del pH del medio ambiente, el vehículo de la mezcla, la longitud de tiempo entre la mezcla y la evaluación, el espesor del material y la temperatura ambiental. Estos autores consideran que algunos de estos factores no pueden ser controlados fácilmente, por lo tanto, se pueden obtener diferentes resultados durante un estudio sobre las propiedades físicas del MTA.

Posteriormente en el año 2001 fue presentado un nuevo compuesto de trióxido mineral de origen brasilero comercializado con el nombre: MTA-Ángelus (Ángelus. Londrina PR. Brasil). El fabricante indica que luego de mezclar una parte de polvo y una de solución estéril, se forma un gel que fragua a los 15 minutos.

Años después en el 2004 aparece un producto similar al *ProRoot*-MTA en su composición química y propiedades biológicas, el compuesto se comercializa como: CPM® Egeo S.R.L., bajo licencia MTM Argentina S.A ANMAT N° 3344/03.

El polvo también consta de finas partículas hidrofílicas que se mezcla en una proporción de 3:1 con solución estéril y forma un gel coloidal en presencia de humedad que solidifica para formar un sellador duro.

### **Terapia propuesta por Torabinejad M. et al (1994)**

1º sesión:

- Realizar la limpieza del/los conductos radiculares, irrigando con hipoclorito de sodio al 2,5%
- Obturación con pasta de hidróxido de calcio durante una semana y obturación provisoria

2º sesión:

- Remoción de la pasta de hidróxido de calcio con limas tipo K e irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5% y colocación de tapón apical con MTA, cubriendo al material con una bolita de algodón húmeda para que fragüe correctamente.

*Witherspoon DE et al. (2001), Giuliani V et al. (2002) Costa GM et al. (2013)* en una evaluación clínica y radiográfica de tres casos utilizando la técnica difundida por *Torabinejad M et al. (1999)*, mostraron la curación de la lesión apical y la formación de tejido duro en el área apical de los dientes afectados.

*Asimismo, Rafter M (2005), El-Meligy OA et al. (2006), Erdem AP et al. (2008), Moore A et al. (2011), Damle SG et al. (2012), Dhaimy S et al. (2013), Floratos SG et al. (2013), Dixit S et al. (2014), Umashetty G et al. (2015), Olczak K et al. (2015) y Silva RV et al. (2015)* coinciden en los efectos obtenidos con la aplicación de ésta técnica y mostraron excelentes resultados clínicos y radiográficos en sus estudios, con la formación de una barrera de tejido duro en corto tiempo.

*Witherspoon DE et al. (2008)* en un estudio retrospectivo de dientes con ápices abiertos utilizando Pro-Root MTA como tapón apical, observaron que el 60% de los dientes tratados curó en una visita y 39,7% en dos, siendo el tiempo medio requerido de 19 meses.

*Simon S et al. (2007)* observaron la curación apical en el 81% de los casos evaluados, por lo tanto consideran a la apexificación en un solo paso utilizando un tapón apical de MTA una alternativa a la utilización de hidróxido de calcio.

*Gomes Filho JE et al. (2009)* estudiaron comparativamente el CPM-Egeo y MTA-Ángelus y concluyeron que ambos cementos son biocompatibles y estimulan la mineralización.

*Pace R et al. (2007)* informan que el compuesto de trióxido mineral mostró éxito clínico y radiográfico como material utilizado para inducir el cierre del extremo radicular y es un sustituto adecuado del hidróxido de calcio para el procedimiento de apexificación, resultados que coinciden con los obtenidos por *El-Meligy OA et al. (2006), Sarris S et al. (2008), Chala S et al. (2011), Cetenović B et al. (2013), Gawthaman M et al. (2013), Bonte E et al. (2015), Nicoloso GF et al. (2016) y Bücher K. et al (2016)*.

*Yazdizadeh M et al. (2013) y Martin RL et al. (2007)* concuerdan con los autores anteriormente nombrados, pero aconseja esperar el fraguado completo del MTA antes de realizar la obturación definitiva para lograr una mejor adaptación marginal y por consiguiente una marcada disminución en la filtración.

*Gupta S et al. (2013)* afirman que a pesar de sus muchas ventajas y éxitos clínicos comprobados, el MTA tiene algunos inconvenientes como el potencial de la decoloración, la presencia de elementos tóxicos en la composición del material, las difíciles características de manejo, largo tiempo de fraguado, ausencia de un disolvente conocido para su eliminación. *Purra AR et al. (2016)* coinciden con estos autores en cuanto a la dificultad en la manipulación del MTA y en mantener la obturación en los límites adecuados que no sobrepase a los tejidos circundantes, para ello proponen el uso de una matriz apical utilizando sutura reabsorbible a base de poliglactina que permite la colocación predecible del MTA.

Por otro lado, *Paranjpe A et al. (2011)* estudiaron la acción del MTA en contacto directo con la pulpa y concluyeron en que cuando se coloca MTA en contacto directo con las células, promueve la formación de osteocalcina y sialoproteína que actúan sobre la diferenciación de odontoblastos responsables de la formación de puentes de dentina.

*Bidar M et al. (2011)* y *Mirhadi H et al (2016)* también siguieron la secuencia terapéutica propuesta por *Torabinejad M (1999)* y mostraron en sus estudios que la medicación con pasta de hidróxido de calcio no tuvo ningún efecto adverso en el corto y largo plazo en el sellado del tapón de MTA. Resultados que coinciden con los de *Hachmeister D et al. (2002)* que mostraron que los residuos de hidróxido de calcio en las paredes de la raíz en un ápice abierto no afectan a las propiedades del MTA. Sin embargo, estos resultados contrastan con los obtenidos por *Stefopoulos S et al. (2008)*, *Spyridon S et al. (2008)* y *Phillips M et al (2015)* quienes manifiestan que el pre-tratamiento con pasta de hidróxido de calcio afecta la capacidad de sellado del Pro-Root MTA ya que suponen que el hidróxido de calcio puede ser un obstáculo mecánico para la adaptación a las paredes dentinarias.

*Cehreli ZC et al. (2011)* confirman en sus estudios que el MTA actúa como una barrera apical eficaz que promueve la regeneración del tejido apical en dientes inmaduros traumatizados con ápices abiertos, resultados que coinciden con los mostrados por *Mente J et al. (2009)* y *Chang SW et al. (2013)* que además observaron que la extrusión accidental de MTA más allá del extremo de la raíz no es un obstáculo para la curación.

También se ha demostrado que el MTA estimula la producción de interleucina que actúa en el crecimiento excesivo de cemento y facilita la regeneración del ligamento periodontal y la formación de hueso (*Mitchell PJ et al. 1999; Oviir T et al. 2006; Koh ET et al. 1998; Al-Rabeah E et al. 2006*).

## Composición química

### ▪ **MTA-Ángelus (Ángelus. Londrina PR. Brasil)**

De acuerdo con el fabricante, el MTA Ángelus® en sus 2 presentaciones (Ángelus Soluções Odontológicas, Londrina, Brazil) contiene en su composición 80% de cemento portland y el 20% restante de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), óxido de potasio (K<sub>2</sub>O), óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de sodio (Na<sub>2</sub>O), óxido de hierro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), ácido sulfúrico (SO<sub>3</sub>), óxido de calcio (CaO), trióxido de bismuto (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), óxido de magnesio (MgO) y residuos insolubles de sílice cristalina, óxido de calcio (CaO) y sulfatos de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

A diferencia del Pro-Root MTA, el MTA-Ángelus no contiene sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>) con la finalidad de reducir el tiempo de gelificación. Tiene pH alcalino y libera calcio con valores similares a los encontrados en el ProRoot-MTA (*Song JS et al. 2006*).

*Moore A et al. (2011)* en sus estudios mostraron que el MTA Ángelus posee similitudes en su composición química y biocompatibilidad con el Pro-Root MTA.

Se presenta en dos formas comerciales gris y blanco.

- ✓ MTA - Ángelus 7 dosis en frasco de : 1g de MTA- Ángelus (gris), 03 ml de agua destilada: 01 dosificador de polvo
- ✓ MTA - Ángelus 14 dosis: 2g de MTA- Ángelus (gris) 03 ml de agua destilada: 01 dosificador de polvo
- ✓ MTA - Blanco 7 dosis: 1 g de MTA-Ángelus (blanco) 03 ml de agua destilada: 01 dosificador de polvo
- ✓ MTA - Blanco 2 dosis 0,28 g de MTA-Ángelus (blanco) 03 ml de agua destilada)

### ▪ **CPM® Egeo S.R.L., bajo licencia MTM Argentina**

Compuesto por finas partículas hidrofílicas que forman un gel coloidal en presencia de humedad que solidifica a una estructura dura en 1 hora. Los principales componentes son el silicato tricálcico (3CaO-SiO<sub>2</sub>), óxido tricálcico (3CaO), aluminato tricálcico (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) y otros óxidos (*Orosco F et al. 2008*).

Este producto es utilizado en nuestro país con buenos resultados clínicos (*Mutal L et al. 2008*). Según las indicaciones del fabricante la mezcla debe contener 3 partes de polvo y una de líquido para conformar un cemento sólido.

Estos dos productos compuestos de trióxido mineral CPM® Egeo y MTA-Ángelus no han sido ampliamente difundidos, por lo que la mayoría de las publicaciones consultadas que tratan sobre el compuesto de trióxido mineral, se refieren al producto comercial inicial ProRoot-MTA.

## Propiedades físicas

El compuesto de trióxido mineral Pro-Root MTA ha mostrado en numerosos estudios, ser un material sellador con un alto potencial reparador, baja toxicidad y alta biocompatibilidad, buena resistencia compresiva y posibilidad de fraguar en presencia de humedad (*Torabinejad M et al. 1993, 1995 a, b y c 1999*).

Estas propiedades se ven afectadas cuando la proporción polvo/líquido no es adecuada, ya que si se excede el volumen de polvo, la masa fraguada se vuelve porosa, frágil y aumenta la solubilidad (*Parirokh M et al. 2010; Torabinejad M et al. 2010*).

Para que se produzca el proceso de fraguado el fabricante indica que el material requiere de humedad en doble capa, con el propósito de aumentar la fuerza de flexión.

### ▪ Tiempo de fraguado

El tiempo de fraguado es un aspecto importante a tener en cuenta, sobre todo cuando el objetivo es sellar una vía de comunicación con los tejidos externos y en la misma sesión realizar la obturación definitiva.

Este proceso está directamente relacionado con la humedad ambiental, la temperatura, la manipulación del material (burbujas de aire atrapadas durante el espulado) y el pH del medio (*Fridland M et al. 2005*).

*Torabinejad M et al. (1995b)* expresan que es deseado que un material de obturación, endurezca tan pronto como sea colocado en una cavidad sin sufrir una contracción significativa, esta condición puede permitir una estabilidad dimensional en el material después de su colocación, sin embargo agrega, que en términos generales a mayor rapidez de fraguado del material más rápido se contrae.

Entre los componentes del ProRoot-MTA se encuentra sulfato de calcio (CaSO<sub>4</sub>), responsable de que el tiempo de fraguado se prolongue, situación que según *Pitt Ford TR et al. (1996)* es positivo porque previene la contracción inevitable de fraguado, que es una de las causas que promueven la filtración marginal.

La estimación del tiempo de fraguado es diferente según el método que se haya utilizado para medirlo, puesto que no existe una única forma aceptada de obtenerlo. Esta variación depende de las agujas utilizadas en el estudio (que cada una presenta diferente peso) así como de la cantidad de tiempo que la aguja permanece en la superficie del material para producir la indentación.

Según el estudio realizado por *Torabinejad M et al. (1995d)* empleando el método recomendado por la ISO (especificación 6876 para cementos selladores de conductos radiculares) el Pro-Root MTA fragua y se transforma en una estructura sólida en 2h y 45 min; *Islam I et al. (2006)* utilizando aguja Gilmore observó el fraguado en 2 horas 20 minutos del MTA blanco y en 2 horas 55 minutos el MTA gris y *Kogan P et al. (2006)* utilizando aguja Vicat en 50 minutos.

*Wiltbank et al. (2007)* con el objeto de acelerar el tiempo de fraguado le adicionaron tres sustancias diferentes al polvo de Pro-Root MTA. Se evaluó la reacción del material con el agregado de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), con nitrato de calcio (CN) y con formato de calcio (CF). Los resultados mostraron que con la adición de  $\text{CaCl}_2$  el tiempo de fraguado disminuyó a 35min y con CN a 6 min. En base a estos resultados, el autor asegura que la disminución tan marcada del tiempo de endurecimiento no permite la manipulación del material y aconsejan mayores estudios incluyendo la evaluación de la biocompatibilidad y la capacidad de sellado, ya que estos aspectos podrían alterarse con la inclusión de nuevas fórmulas.

Así mismo, *Huang TH et al. (2008)* evaluaron el efecto acelerador del fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) sobre las propiedades del Pro-Root MTA blanco. Los resultados sugieren que la solución de  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  en una proporción del 15% puede ser un acelerador de fraguado eficaz para WMTA (MTA blanco).

Para *Kogan P et al. (2006)* el efecto de mezclar el polvo del MTA con diferentes líquidos y aditivos ha demostrado que la preparación puede tener efecto sobre el tiempo de endurecimiento y la fuerza compresiva del material. Utilizar 5% de  $\text{CaCl}_2$  gel disminuye el tiempo de endurecimiento del Pro-Root MTA gris a 20-25 minutos, pero la fuerza compresiva es significativamente menor que la que se obtiene con agua estéril y cuando se utiliza solución salina y lidocaína al 2% se incrementa el tiempo de endurecimiento, pero la fuerza compresiva no es afectada. También observó que con el agregado de gluconato de clorhexidina (CHX) en gel al 2% no se modifica el fraguado. El autor concluye, en base a sus resultados en que el Pro-Root MTA mezclado con NaOCl en gel demostró buenas propiedades de trabajo y mejoró el tiempo de fraguado y que puede ser una opción viable en los procedimientos individuales de visitas, donde la resistencia a la compresión del material no es un asunto crítico.



*Bernabé PF et al. (2005)* aconsejan el uso de una solución con menor tensión superficial que el agua destilada que además de proporcionar una mejor acción humectante, también proporcionará una mayor plasticidad, mejorando las condiciones de trabajo, aunque afirman que también puede causar alteración en el tiempo de gelificación.

*Roberts TW et al. (2008)* aconsejan mayores estudios clínicos utilizando las diferentes soluciones ya que se debe evaluar el potencial terapéutico y la ganancia o pérdida de las propiedades físicas del material.

El MTA-Ángelus (Ángelus. Londrina PR. Brasil) muestra un tiempo de fraguado mucho menor que el Pro-Root MTA, al mezclar una parte de polvo y una de solución estéril. Se forma un gel que fragua inicialmente en 10 minutos y el endurecimiento final se produce a los 15 minutos.

El CPM-Egeo fragua a los 60 minutos conformando un cemento sólido luego de mezclar 3 partes de polvo y una de líquido (*Orosco F et al. 2008*).

#### ▪ Análisis del pH

Cuando el MTA se pone en contacto con los fluidos tisulares, el óxido de calcio presente se convierte en hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y se disocia en iones de calcio e hidroxilo, aumentando así el valor del pH a aproximadamente 12,5 y resulta en la liberación de iones de calcio (*Holanda R et al. 1999; Takita T et al. 2006*).

*Torabinejad M et al. (1995b)* midieron el pH del Pro-Root MTA posteriormente a su hidratación con agua destilada y el resultado fue de 10,2, sin embargo 3 horas después, ese valor subió a 12,5 permaneciendo estable, lo cual le confiere propiedades antibacterianas (*Pineda Mejía M 2007; Silva D et al. 2000*).

Por su pH similar al del hidróxido de calcio *Torabinejad M et al. (1995c)* supone que el comportamiento biológico del MTA puede ser parecido al de este material. En relación a esto, *Duarte MA et al. (2003)* midieron el pH, así como la liberación de iones calcio de Pro-Root MTA y MTA-Ángelus, obteniendo valores de pH similares, aunque algo inferiores a los medidos por *Torabinejad M et al. (1995b)*. Tanto el pH registrado, como la liberación de iones de calcio fueron superiores con MTA-Ángelus, pero con valores muy próximos.

Por su parte, *Islam et al. (2006)* evaluaron el pH del Pro-Root MTA gris y blanco, PC común y PC blanco. Se registraron medidas cada 2 minutos desde el inicio de la

mezcla hasta los 60 minutos. Los resultados indicaron que el pH del PC blanco es de pH 13, PC común pH 12,9 y el MTA blanco y gris, 12,8 y 12,7 respectivamente.

Asimismo, *Dammaschke T et al, (2005)* y *Wiltbank et al. (2007)* estudiaron las modificaciones que sufre el pH del Pro-Root MTA gris y blanco mezclándolos con 3 aceleradores clásicos del cemento portland común: cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ), nitrato de calcio (CN) y formato de calcio (CF). Los valores del pH fueron registrados inmediatamente después de la mezcla y luego a 1, 5 y 10 minutos respectivamente. El valor máximo de pH de Pro-Root MTA fue registrado al momento de iniciar la mezcla con cloruro de calcio que llegó a 13, sin que se alterara la estabilidad dimensional.

## ▪ Radioopacidad

Entre las características ideales para un material de obturación, la radioopacidad es un aspecto importante y debe ser mayor que las estructuras limitantes, cuando se coloca en la preparación cavitaria (*Laghios CD et al. 2000*).

El Pro-Root MTA posee entre sus componentes 20% de óxido de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ), insoluble en agua e inerte químicamente (*Fridland M et al. 2003*), especialmente para otorgarle radioopacidad (*Torabinejad M et al. 1995 d; García Barbero E et al. 2000*).

*Grossman JW et al. (1962)* citado por *Torabinejad M et al. (1995 d); Shahy PMM et al. (1996)* y *Danesh G et al. (2006)* determinaron que la medida de radioopacidad del Pro-Root MTA es de 7,17 mm, equivalente al espesor del aluminio y es más radiopaco que la gutapercha convencional (6,14) y que la dentina (0,70mm), distinguiéndose fácilmente en las radiografías.

*Islam I et al. (2006)* Observaron valores menores en su estudio, determinaron que la radioopacidad del Pro-Root MTA blanco es de 6,74 mm que supera ligeramente a la dentina.

## • Hidratación

La hidratación del polvo del MTA con agua destilada resulta en un gel coloidal que se solidifica en una estructura dura. La naturaleza hidrofílica de las partículas del polvo le proporcionan una característica especial, fragua en presencia de humedad, situación presente en los procedimientos clínicos de sellado de perforaciones y en la obturación del extremo apical. La humedad presente en los tejidos actúa como un activador

necesario, de la reacción química de este material para que frague (*Torabinejad M et al. 1993*).

Los resultados obtenidos por *Gancedo Caravia L et al. (2006)*, *VanderWeele RA et al. (2006)*, *Hardy I et al. (2004)*, *Walker MP et al. (2006)* y *DeAngelis L et al. (2013)* coinciden con *Torabinejad M et al. (1995c)* que recomiendan la colocación de una bolita de algodón húmeda sobre el MTA para completar el proceso de fraguado e incrementar las propiedades físicas propias del material. Situación que también fue demostrada por *Loxley EC et al. (2003)* que realizaron la obturación con MTA y dejaron que el fraguado ocurriera en seco durante siete días, luego le colocaron una bolita de algodón con suero salino, y una semana después, observaron que aumentó la fuerza necesaria para desplazar la obturación, posiblemente porque la hidratación hizo solidificar algunos óxidos minerales que no habían reaccionado.

Para completar la restauración final en una sola visita debería haber un material compatible con el MTA que pudiera colocarse sobre el MTA parcialmente fraguado. Para ello *Nandini S et al. (2007)* y *Ballal S et al. (2008)* estudiaron la influencia de la colocación de un ionómero de vidrio sobre el MTA a los 45 minutos de haberse mezclado y observaron que esto no afecta al fraguado del mismo formándose sales de calcio en la interface entre los dos materiales.

*Chng HK et al. (2005)* crearon un material de reparación radicular que combinara la biocompatibilidad del MTA con las características de manipulación de materiales como SuperEBA. Los autores supusieron que, incrementando la viscosidad, se mejoraría la capacidad de sellado y la manipulación del cemento. Este nuevo material viscoso recibió el nombre de Viscosity Enhanced Root Repair Material (VERRM), que fue formulado utilizando cemento Portland como cemento base al que se le añadió óxido de bismuto y otros compuestos para aumentar la radioopacidad y la viscosidad. En sus resultados finales no hallaron diferencias en las propiedades físicas y de sellado entre VERRM y Pro-Root MTA.

- **Solubilidad**

La solubilidad es un factor importante en la evaluación de la idoneidad de los materiales para la restauración en odontología. La falta de solubilidad es una característica deseada para los cementos utilizados en la reparación radicular (*Torabinejad M et al. 1995 d*); la pérdida de peso del material puede estar influenciada por las alteraciones del pH, la osmolaridad del medio, por el tiempo transcurrido después de su espatulado y subsiguiente contacto con los fluidos del tejido, por ello el

contacto inicial del material con el coágulo sanguíneo o con la humedad puede tener un efecto adverso sobre la solubilidad del material, a punto tal que un cemento puede perder hasta el 1,5% del peso después de inmerso por 24 horas en agua destilada (Arnold J et al. 1997).

Poggio C et al. (2007) compararon la solubilidad de diferentes materiales utilizados para retrobturación y comprobaron que, bajo las condiciones de su estudio, el MTA es prácticamente insoluble. Sin embargo, Fridland M et al. (2005) demostraron con el mismo método de estudio, que el MTA libera parcialmente su fracción soluble en un medio acuoso durante un largo periodo de tiempo, manteniendo el pH de la solución siempre alcalino, con unas tasas entre 11,94 y 11,99. Este estudio determinó que la sustancia liberada por el MTA es básicamente hidróxido de calcio, el cual puede ser el responsable de las principales propiedades biológicas del MTA en cuanto a la reparación de hueso y formación de cemento.

Holland R et al. (1999a y 2002 a y b); Torabinejad M et al. (1995c; 1997a) y Fridland M et al. (2003) en un estudio *in vitro* midieron de qué manera se veía afectada la porosidad y la solubilidad del MTA al aumentar la cantidad de agua que se mezclaba con el polvo. Concluyeron que al aumentar la proporción de agua aumenta la solubilidad y que la proporción ideal era la propuesta por el fabricante (0,33g de agua por cada gramo de polvo) También demostraron que la dureza del MTA depende de la cantidad de agua, del proceso de mezcla, de la presión de compactación, de la temperatura y del contacto con agua que se produce una vez está colocado en la cavidad a sellar. Al observar la estructura al microscopio electrónico de barrido se pudo mostrar la porosidad del material una vez fraguado, que resulta de la incorporación de burbujas de aire microscópicas durante el espatulado, así como a la estructura amorfa y capilar que presenta el MTA una vez fraguado.

Arnold J et al. (1997) en un estudio realizado según las normas de solubilidad de la Organización Internacional de Normalización (ISO) 6876 2001, mostraron que el Pro-Root MTA presenta baja solubilidad 1,144 ( $\pm 0,328$ ) % después de la inmersión en agua destilada durante 28 días.

Fridland M et al. (2003) descubrieron que su solubilidad y porosidad aumentaba a medida que lo hacía la proporción de agua en la mezcla de MTA. Por lo que para mantener los niveles de solubilidad al mínimo, los materiales deben mezclarse según las instrucciones del fabricante.

Namazikhah MS et al. (2008) expusieron al Pro-Root MTA a un medio ácido durante su hidratación suponiendo que éste material puede estar en contacto con tejidos inflamados con una marcada variación en su pH y estudiaron los cambios micro

estructurales en la superficie del cemento. Los autores observaron que el MTA no endurece tan bien en un medio con un pH bajo. Aunque la observación bajo el microscopio electrónico mostró un mayor grado de porosidad, en términos de micro estructura interna, no hubo diferencias morfológicas entre los grupos.

#### ▪ Resistencia compresiva

*Torabinejad M et al. (1993)* en sus estudios demostraron que la dureza del ProRoot MTA depende del tamaño de las partículas, de la proporción agua/polvo, de la temperatura y la humedad del medio ambiente y de la cantidad de aire incorporado a la mezcla.

*Torabinejad M et al. (1995d)* revelaron que la resistencia a la compresión del Pro-Root MTA es baja, de 40MPa a las 24h y aumenta hasta 67MPa después de 21 días, esto se debe a que la tasa de hidratación del silicato dicálcico es más lento que la del tricálcico silicato, ambos presentes en la composición química del MTA; aunque, según los autores, éste es un factor que no presenta demasiada importancia, puesto que no va a recibir directamente carga oclusal. El incremento de la resistencia a la compresión llega a ser similar a la de SuperEBA, IRM y cementos de fosfato, pero significativamente menor que la amalgama (311MPa).

Sin embargo, *Walker MP et al. (2006)* consideran que, en casos de reparación de perforaciones radiculares, es necesario que el MTA tenga la máxima resistencia, especialmente antes de la colocación de una restauración definitiva. En su estudio realizaron pruebas de resistencia a la flexión de forma que se midiera la fuerza de compresión en la parte superior del cemento y la de tensión en la superficie inferior, lo cual se asemeja más a condiciones clínicas. Se comparó la fuerza de flexión del MTA en función del tiempo de fraguado (24 y 72horas) a diferentes condiciones de hidratación (sólo por una cara o por ambas caras de las muestras). En sus resultados finales obtuvieron una hidratación más óptima, mejor solidificación y mejores resultados de flexión en los casos en los que el Pro-Root MTA estaba en contacto con humedad durante 24 horas por ambas caras.

*VanderWeele RA et al. (2006)* para medir la resistencia al desplazamiento del Pro-Root MTA mezclaron el polvo con lidocaína, agua estéril y suero salino y lo utilizaron para reparar perforaciones de furca, que en unos casos estaban contaminadas con sangre y en otros no. En sus resultados observaron mejor resistencia al desplazamiento del MTA de la furca reparada a los 7 días que a las 24-72 horas en las muestras no contaminadas con sangre, no encontrándose diferencias entre los

distintos líquidos de la mezcla, por lo que concluyeron que permitir al MTA blanco que fragüe inalterado durante 72 horas o más antes de colocar la restauración coronal puede reducir la posibilidad de desalojo.

*Watts JD et al. (2007a-b)* observaron que, cuando el Pro-Root MTA estaba mezclado con agua estéril, no se producían cambios en la fuerza de compresión del mismo en un medio ácido. Sin embargo, ésta disminuyó al mezclar el MTA con anestesia, por lo que los resultados sugieren que mezclar el MTA con agua estéril como indica el fabricante favorece el potencial de fraguado del mismo en un medio ácido.

*Holt DM et al. (2007 a y b)* observaron que la fuerza de compresión del MTA mezclado con clorhexidina al 2% era inferior a la que presenta el MTA mezclado con agua estéril, así que aunque los efectos antibacterianos del MTA con clorhexidina sean superiores, su uso quedaría limitado a situaciones en las que la fuerza de compresión no fuera un factor importante. Lo mismo ocurrió en el estudio de *Kogan P et al. (2006)* que utilizó como líquido gel de hipoclorito sódico, el cemento fraguó en 20 minutos pero se producía una disminución en la fuerza de compresión. Los autores concluyen que este valor tiene importancia, por ejemplo, en la reparación de perforaciones radiculares, donde se podría mezclar con agua estéril o cubrirlo con algún material que tenga mayor resistencia, pero no es importante en obturaciones apicales, donde sí requiere un fraguado rápido.

*Nekoofar MH et al. (2007)* estudiaron la relación existente entre la presión de condensación aplicada al MTA y la dureza de la superficie y demostraron que una mayor presión de condensación produce menores valores de dureza, posiblemente debido a que la presión compacta las moléculas del polvo muy juntas, lo cual reduce el espacio para difusión de las moléculas de agua y la hidratación.

*Matt GD et al. (2004)* en un estudio de dureza del Pro-Root MTA concluyeron que para que se mantengan las propiedades del material el espesor debe ser de 5mm. El espesor mínimo descrito en la literatura para ProRoot MTA es de al menos 3 mm (*Lamb EL et al. 2003*) ó 4mm para la obturación de una cavidad apical (*Valois CRA et al. 2004*) y para apicoformación (*Giuliani V et al. 2002*).

*Hatibović-Kofman S et al. (2008)* estudiaron comparativamente la influencia de Pro-Root MTA y la pasta de hidróxido de calcio, en la resistencia a la fractura de las raíces. Sus resultados finales observaron que los dientes obturados con MTA muestran la mayor resistencia a la fractura después de un año, posiblemente porque induce la expresión de TIMP-2 (un inhibidor de la metaloproteinasa, que actúa en la degradación de la matriz de colágeno de la dentina, a diferencia de las muestras obturadas con pasta de hidróxido de calcio que mostraron disminución de la resistencia a la fractura, lo

que coincide con los resultados de *Rosenberg B et al. (2007)* y de *Andreasen JO et al. (2006)*.

## ▪ Cambio dimensional

El propósito de un material de obturación es evitar la filtración de bacterias, debe adaptar y de preferencia adherirse a las paredes dentinarias y mantener una estabilidad dimensional.

*Storm B et al. (2008)* estudiaron los cambios dimensionales que se producen en el MTA blanco y gris durante su fraguado y concluyeron en que ambos materiales sufren expansión tras el fraguado, lo cual puede hacer suponer la mayor capacidad de sellado mostrada por el MTA gris con respecto a otros materiales utilizados como obturación apical retrógrada (*Torabinejad M et al. 1993 y 1995e; Fischer EJ et al. 1998; Adamo HL et al. 1999*).

## ▪ Capacidad de sellado

### Filtración de colorantes

La capacidad de sellado marginal es uno de los aspectos más estudiados del Pro-Root MTA, estableciendo en la mayoría de ellos una comparación con los resultados obtenidos con amalgama de plata, ionómero de vidrio y los cementos a base de óxido de cinc y eugenol, como el IRM y SuperEBA. (*Torabinejad M et al. 1995 e, d, f, g y h y 1998; Fischer EJ et al. 1998; Estrela C et al. 2000; Keiser K et al. 2000; Aqrabawi J 2000; Fogel HM et al. 2001; Yatsushiro JD et al. 1998, Roy CO 2001; Andelin WE 2002; Peters CI et al. 2002; Shipper G 2004*). La capacidad de sellado fue evaluada a través de distintas técnicas, tales como: grado de penetración de colorantes, etiquetado de radioisótopos, fugas polimicrobianas, diafanización, análisis radiográficos, métodos electroquímicos y técnicas de filtración de fluidos (*Higa R et al. 1993*). Los más utilizados son la penetración del colorante y la filtración bacteriana (*Verissimo DM et al. 2006*).

*Tamse A et al. (1998)* compararon dos métodos de evaluación de filtración apical de colorante con secciones transversales y transparentación, teniendo en cuenta variables que influyen en los resultados como son: el pH del colorante, el peso molecular, el momento de la inmersión (inmediata o retardada) y el método de evaluación. En su estudio concluyen que en las raíces seccionadas el rango de

penetración de colorante es mayor que con la transparentación y más marcada con el azul de metileno que con la eosina.

*Matloff IR et al. (1982)* observaron que usando como colorante azul de metileno para evidenciar la filtración de un material, los resultados duplican a los obtenidos con otros métodos. En base a esto, los autores y en coincidencia con *Kazem M et al. (2013)* concluyen que, bajo idénticas condiciones, los diferentes colorantes y técnicas de evaluación producen desiguales resultados de filtración.

*Torabinejad M et al. (1993)* estudiaron la capacidad de sellado del MTA como material de retro obturación comparándolo con la amalgama de plata libre de cinc y el SuperEBA, utilizando para ello una solución acuosa de rodamina B fluorescente durante 24 horas. Se examinaron tres aspectos bajo el microscopio monofocal TSM: extensión de la penetración del colorante, presencia o ausencia de espacios vacíos y adaptación del material a las paredes cavitarias y concluyeron que la obturación con amalgama observó la mayor penetración de colorante y desadaptación a las paredes dentinarias, le seguía SuperEBA y finalmente el MTA que era el que menos filtración presentaba.

Estos resultados coinciden con *Lee SJ et al. (1993)* y con *Aqrabawi J et al (2000)* que midieron la filtración con azul de metileno al 1%, y observaron que el 100% de los dientes obturados con Pro-Root MTA no presentaron filtración de colorante por debajo del material de retrobturación, a diferencia de la amalgama de plata que filtró en el 56% de las muestras y el SuperEBA el 20%.

*Roy CO et al. (2001)* en un estudio similar, compararon la filtración apical de amalgama, Geristore24 (resina de ionómero de vidrio), Super-EBA, MTA, cemento de fosfato cálcico (BoneSource) y MTA con una matriz de fosfato cálcico, realizando las cavidades con ultrasonidos, utilizando como colorante tinta china y sometiendo a los materiales a dos niveles de pH (5,0 y 7,4) durante 24 horas para valorar si éste influía en el aumento de filtración apical. Observaron que la impregnación ácida no afectó a la capacidad selladora de ninguno de los materiales estudiados y que incluso mejoró la de Geristore y MTA con matriz de fosfato cálcico. El MTA y el SuperEBA presentaron menos filtración que los demás materiales en ambos niveles de pH.

Con el mismo propósito *Orosco et al. (2010)* evaluaron la capacidad de sellado del MTA Ángelus (Ángelus Soluções Odontológicas, Londrina, Brazil), CPM (Egeo S.R.L., Buenos Aires, Argentina) y MBPc (resina epóxica con hidróxido de calcio) cuando son utilizados en barreras apicales. Emplearon un modelo de filtración de tinta utilizando Rodamina B al 0,2%. Los resultados demostraron que la capacidad de sellado de MBPc fue significativamente mejor que los otros materiales utilizados en barreras apicales.



*Alhaddad Alhamoui F et al (2014)* observaron que la capacidad de sellado del MTA no se altera cuando se coloca el material con atacadores, puntas de papel, o puntas ultrasónicas.

*Adel M et al. (2012)* demostraron que cuando el espesor de la barrera apical es de 4mm mejora la capacidad de sellado del Pro-Root MTA comparado con la mezcla enriquecida con calcio (CEM) utilizado como tapón apical.

*Mirhadi H et al. (2014)* evaluaron el efecto de pH ácido en la capacidad de sellado de Pro-Root MTA y CEM (mezcla enriquecida con calcio) en obturaciones apicales. Concluyeron que el pH ácido redujo significativamente la capacidad de sellado, después de 1, 14 y 30 días períodos en los que fueron evaluados ambos materiales, sin diferencias significativas entre ellos.

*Higa R et al. (1993)* evaluaron la filtración apical “*in vitro*” (azul de metileno al 1%), con y sin presencia de sangre, en cavidades obturadas con amalgama, IRM, SuperEBA y MTA. Los resultados obtenidos mostraron que el Pro-Root MTA es el material que menos filtración mostró, sin influencia por la presencia o ausencia de sangre.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por *Torabinejad M et al. (1994)*, quienes estudiaron el efecto de la humedad (agua y sangre) sobre la filtración apical después de obturar las cavidades con amalgama, IRM, SuperEBA y Pro-Root MTA. Se observó que la humedad no tenía un efecto significativo sobre la filtración de colorante (azul de metileno al 1%) pero sí lo tenía el material utilizado, siendo el IRM el que mostró la mayor filtración, seguido por amalgama y SuperEBA y Pro-Root MTA, que fue el que mejor resultados obtuvo.

*Xavier CB et al. (2005)* también evaluaron la capacidad de sellado apical (utilizando como colorante nitrato de plata) y la adaptación marginal de Pro-Root MTA, MTA-Ángelus, SuperEBA y Vitremer y determinaron la existencia de una correlación entre la microfiltración apical y la adaptación marginal de los materiales estudiados. En el estudio de filtración de colorante, el MTA Ángelus tuvo valores intermedios entre los materiales estudiados. Este resultado pudo deberse bien a la acidez del colorante o a una posible reacción química entre el MTA y el nitrato de plata, ya que se observó la presencia del mismo dentro del MTA. Sin embargo, el MTA Ángelus fue el cemento que mostró la mejor adaptación marginal, por lo que existe una falta de correlación entre la microfiltración y la adaptación marginal de los materiales.

*Estrada PF et al. (2006)* observaron en su estudio de adaptación marginal que los materiales estudiados (MTA Ángelus, MTA Ángelus + Sealapex, Sealapex + óxido de

cinc) presentaron filtración de colorante similar en la interface material y la pared cavitaria y en la masa de los materiales estudiados.

*Gilheany PA et al. (1994)* muestran una correlación entre la permeabilidad de la dentina apical seccionada y la microfiltración alrededor del material de obturación, observaron que al incrementar la profundidad de la obturación apical disminuye la microfiltración y aumenta la filtración apical conforme aumenta el bisel del ápice seccionado.

*Estrello AO et al. (2006)* compararon el MTA gris y el cemento Portland como materiales de retroobtención en un estudio de microfiltración con azul de metileno al 1% y determinaron que ambos cementos son aptos para utilizarlos como materiales de obturación apical.

*Bortoluzzi EA et al. (2006)* evaluaron la influencia de la adición de cloruro cálcico en la capacidad de sellado de MTA Ángelus blanco (que no contiene sulfato cálcico para reducir el tiempo de fraguado), ProRoot MTA blanco y cemento Portland blanco, con rodamina B al 0,2%. En sus resultados finales mostraron que la incorporación de cloruro cálcico mejoró la capacidad de sellado de los 3 cementos, siendo el cemento Portland blanco el que mejores resultados obtuvo, seguido del MTA Ángelus blanco.

*Abdullah D et al. (2002)* comprobaron que la adición de cloruro cálcico al cemento Portland redujo su tiempo de fraguado y mejoró sus propiedades fisicoquímicas.

*Martell B et al. (2002)* estudiaron tres materiales utilizados para retroobtención: IRM, SuperEBA y Pro-Root MTA. Para ello realizaron dos ensayos uno electroquímico y otro de filtración de colorante. Se realizó el tratamiento endodónticos de las muestras y se les colocó dentro del conducto un poste metálico que serviría como ánodo para la prueba electroquímica. En cuanto a los resultados finales, en el ensayo electroquímico, a partir del 5º día el Pro-Root MTA mostró menos filtración eléctrica que SuperEBA e IRM. En cuanto a la filtración de colorante, Pro-Root MTA mostró mejor sellado que IRM y SuperEBA, sin diferencia significativa entre estos dos últimos.

*Shahi S et al. (2007)* evaluaron la capacidad de sellado en cavidades apicales de Pro-Root MTA blanco y gris mezclados en unos casos con agua destilada y en otros con clorhexidina al 0.12%. Tras exponer los dientes a tinta india y realizar las secciones longitudinales observaron que no existían diferencias estadísticamente significativas entre los 4 grupos de estudio.

*Escribano-Escrivá B et al. (2016)* mostraron en sus estudios que la activación ultrasónica indirecta mejora la adaptación del MTA y por consiguiente se observa menor filtración de colorantes.

*Estrada PF et al. (2006)* realizaron un estudio para observar la filtración marginal en cavidades apicales obturadas con: MTA Ángelus, Sealapex + MTA-Ángelus y Sealapex + óxido de cinc para observar si mejoraban las propiedades de manipulación del MTA. Al mezclar Sealapex con MTA se consiguió un cemento consistente, de fácil manipulación e inserción. Los resultados fueron similares para todos los cementos estudiados, sin diferencias estadísticamente significativas, aunque, en relación con los otros grupos, Sealapex + MTA Ángelus presentó los menores índices de filtración y se comprobó que la adición de Sealapex no interfiere en el sellado marginal.

*Holland R et al. (2005)* evaluaron la capacidad de sellado de: Sealapex, Sealapex + óxido de zinc, Sealapex + óxido de zinc + 20% de óxido de calcio, ProRoot-MTA, MTA-Ángelus, Ionómero de vidrio Fuji II, Cemento Portland y Amalgama en perforaciones laterales radiculares. Concluyeron que el ProRoot MTA fue el material que exhibió la mayor filtración marginal, pero sin diferencia estadística con el cemento Portland, Amalgama y MTA-Ángelus. Los mejores resultados se obtuvieron con los tres cementos a base de Sealapex. Los resultados no están de acuerdo con los observados en la literatura, que apunta menor filtración marginal con el ProRoot MTA comparativamente a la amalgama y del ionómero de vidrio (Torabinejad M et al.1993; Lee SJ et al. 1993; Nakata TT et al. 1997; Fischer EJ et al. 1998; Scheerer SQ et al. 2001; Roy CO et al. 2001). Pero haciendo una comparación en la metodología del estudio, casi todos los experimentos de la literatura analizaron la filtración marginal en obturaciones retrógradas, las cuales poseen un mínimo de 3 mm de profundidad y usualmente tienen un piso contra el cual puede condensarse el material, mientras que las cavidades de este estudio tenían dimensiones menores y ausencia de piso para condensar el material. Así, el material sellador fue aplicado en el interior de las cavidades de modo más suave, sin condensación, simulando mejor las condiciones clínicas.

*Milani AS et al. (2012)* evaluaron la capacidad de sellado de Pro-Root MTA y CEM (cemento enriquecido en calcio), utilizando tinta de India como sustancia colorante, su máxima penetración se midió con un microscopio estereoscópico. En sus resultados observaron que el CEM cemento mostró menos microfiltración en comparación con MTA, sin embargo la diferencia no fue significativa.

*Mehrvarzfar P et al. (2014)* evaluaron la microfiltración del Pro-Root MTA mezclado con tres vehículos diferentes, solución salina, cloruro de calcio al 5% y con KY Jelly (caroximetilcelulosa). En los resultados finales observaron una menor filtración cuando el cemento se mezcla con la solución salina.

*Anand S et al. (2014)* midieron la capacidad de sellado del Pro-Root MTA con la incorporación de tres aceleradores diferentes, fosfato ácido de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) al 15%, cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 10% y gluconato de lactato cálcico al 23% (CLG), las muestras se incluyeron en Rodamina B al 0,2%. La capacidad de sellado de todos los grupos experimentales fue significativamente superior después de 2 meses.

*Bidar M et al. (2011)* evaluaron el efecto de la pasta de hidróxido de calcio como obturación previa, en la capacidad de sellado del Pro-Root MTA, en 7 días y tres meses respectivamente. Sus resultados mostraron que la pasta de hidróxido de calcio no tenía efecto adverso, en el corto y largo plazo en el sellado del material.

En un estudio similar *Adel M et al. (2014)* observaron que las muestras con pasta de hidróxido de calcio tenían una frecuencia significativamente mayor de filtración apical comparadas con aquéllas en las que se obtura solo con MTA.

## Filtración de fluidos

*Bates CF et al. (1996)* utilizando una presión de 20 psi (1406 cm H<sub>2</sub>O) encontraron que Pro-Root MTA fue comparable al SuperEBA y superior a la amalgama como material de retroobtusión en un estudio que duró 12 semanas. Los resultados coinciden con *Yatsushiro JD et al. (1998)*, quienes mostraron que la amalgama presentaba mayor filtración que MTA como materiales de obturación apical a las 4 semanas con una presión de estudio de 10 psi (703 cm H<sub>2</sub>O).

*Fogel HM et al. (2001)*, *Kazem M et al. (2010)* compararon la filtración producida en cavidades apicales obturadas con MTA, SuperEBA, IRM y amalgama utilizando una presión de 5 a 10 psi. Observaron que el MTA presentó unos resultados comparables al SuperEBA en cuanto a la prevención de la filtración y mejor que la amalgama.

En otro estudio, *Wu MK et al. (1998)*, a una presión de 0,1 atm (103 cm H<sub>2</sub>O - 76 mm Hg), observaron que tanto el ionómero de vidrio como el Pro-Root MTA mostraron menos filtración que la amalgama y el SuperEBA en obturaciones retrógradas en un período de estudio de 24 horas a 3 meses.

*Tabrizzade M et al. (2014)* no observaron diferencias significativas al comparar la filtración apical del Pro-Root MTA y una mezcla enriquecida con calcio (CEM) utilizado como una barrera apical.

*Adel M et al. (2012)* evaluaron la incidencia del espesor de la obturación de Pro-Root, MTA y la mezcla enriquecida con calcio (CEM), cuando son utilizados como

barrera apical. Los autores concluyen en que el espesor de la obturación aumenta la capacidad de sellado, con mejores resultados cuando se usó CEM.

### Filtración de bacterias

Para Siqueira JF et al. (2001) es más fiable un método de filtración bacteriana para estudiar la capacidad selladora de los materiales que se utilizan en endodoncia.

Torabinejad M et al. (1995i) estudiaron el tiempo necesario para que el *Staphylococcus epidermidis* penetrara en una obturación de 3 mm de espesor de Pro-Root MTA, amalgama, SuperEBA e IRM, y demostraron que el Pro-Root MTA filtró significativamente menos que el resto de materiales estudiados.

Fischer EJ et al. (1998) estudiaron la penetración de bacterias (*Serratia marcescens*) en cuatro materiales utilizados para retroobtención: IRM, SuperEBA, amalgama libre de cinc y Pro-Root MTA. Concluyeron que el mejor sellado se obtuvo con Pro-Root MTA, posiblemente por la expansión que produce en presencia de humedad mientras fragua.

Sin embargo, Adamo HL et al. (1999) no encontraron diferencias significativas en cuanto a la filtración que se produjo en las obturaciones retrógradas de Pro-Root MTA, amalgama y SuperEBA y expuestos al *Streptococcus salivaris* y al *Enterococcus faecalis* respectivamente. Igualmente, Scheerer SQ et al. (2001) no hallaron filtración apical producida por *Prevotella nigrescens* debido seguramente a que el tamaño de ésta es seis veces superior al del *Staphylococcus epidermidis* y al de la *Serratia marcescens*.

Mangin C et al. (2003) compararon la filtración bacteriana de obturaciones retrógradas con Pro-Root MTA, cemento de hidroxiapatita y ácido super etoxibenzoico y concluyeron en que todos los materiales de ensayo se filtraron de manera significativa en comparación con los controles negativos; y no hubo diferencia significativa entre las tasas de fuga de los tres materiales ensayados.

Ulfohn SM et al. (2004) comprobaron que el Pro-Root MTA tuvo una mejor capacidad de sellado en el estudio inmediato que el cemento de portland y la amalgama, no así en el estudio mediato que ninguno de los materiales fue efectivo, y el uso de una pasta intermedia de hidróxido de calcio no influyó en los resultados.

Tang HM et al. (1997 y 2002) compararon la capacidad selladora de SuperEBA, IRM, amalgama y Pro-Root MTA, para prevenir la filtración de endotoxinas, y demostraron que Pro-Root MTA mostró el sellado más efectivo contra la filtración de la endotoxina, seguido por SuperEBA, IRM y por último la amalgama.

*Kasem M et al. (2013)* estudiaron la microfiltración bacteriana de cuatro materiales utilizados para retrobturación, amalgama, Pro-Root MTA en sus dos presentaciones, gris y blanco y CEM. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias significativas, aunque se observó filtración en el 100% de las muestras obturadas con amalgama y 75% en las obturadas con Pro-Root MTA.

Además de la filtración bacteriana a través del ápice, también se ha estudiado la capacidad del Pro-Root MTA para evitar la contaminación bacteriana a través de la apertura coronal en piezas tratadas endodónticamente, como en el estudio realizado por *Mah T et al. (2003)*, in vivo, en perros, en el que no evidenció ni radiográficamente, ni histológicamente inflamación severa en ningún caso evaluado.

*Tselnik M et al. (2004)* compararon el sellado coronal de Pro-Root MTA y cemento de ionómero vítreo Fuji II, en el que se concluye que tanto el MTA gris como el blanco y Fuyi II son materiales recomendados para utilizar como barrera coronal, lo que contrasta con los resultados de *Jhon AD et al. (2008)* que compararon los mismos materiales y encontraron filtración en todas las muestras evaluadas.

*Hachmeister D et al. (2002)* compararon la capacidad de sellado y la retención de Pro-Root MTA cuando es colocado vía ortógrada y por vía retrógrada. Los resultados fueron los siguientes: en el grupo con obturación retrógrada se observó filtración en el 20% de las muestras, y en el grupo obturado coronalmente, el 91% de las muestras presentó filtración bacteriana. Además comprobaron que existe mayor resistencia al desalojo del Pro-Root MTA cuando presenta 4 mm de espesor que cuando presenta tan solo 1 mm, aunque no existe diferencia en cuanto a la filtración relacionada con el espesor de MTA colocado, lo cual difiere de los resultados de *Lamb EL et al. (2003)*, *Valois CRA et al. (2004)* y *Al-Kahtani A et al. (2005)*, que demostraron que el espesor necesario de MTA en las cavidades retrógradas debe ser de 4 mm para evitar la filtración apical.

*Kasem M et al. (2013)* evaluaron in vitro la microfiltración bacteriana (*Enterococcus faecalis*) y filtración de colorante (azul de metileno) en obturaciones de cuatro cementos, Pro-Root MTA gris y blanco, CEM y cemento de portland. Los resultados observados mostraron que el Pro-Root MTA gris presenta significativamente menos fugas bacteriana que el cemento Portland y cemento CEM.

- **Adaptación marginal**

La adaptación marginal de un material de obturación es un aspecto importante, ya que cuanto mayor sea la capacidad de un material para adaptarse a las paredes de dentina menor será la filtración de bacterias que se produzca.

*Torabinejad M et al. (1995e) y Xavier CB et al (2005)* compararon la adaptación marginal en obturaciones retrógradas de Pro-Root MTA con las de amalgama, SuperEBA e IRM. Concluyeron en que las retroobturaciones con Pro-Root MTA no presentaron espacios entre el material y la pared dentinaria, esto podría deberse a la posible expansión de material durante su fraguado.

*Peters CL et al. (2002)* compararon la adaptación marginal y la presencia de microgrietas en cavidades apicales obturadas con Pro-Root MTA y SuperEBA después de someter a las muestras a fuerzas oclusales equivalentes a 5 años de masticación. El 12,5% de las superficies observadas de ambos materiales mostraron microagrietamiento antes de la carga y el 25% después de la carga oclusal.

*Torabinejad M et al. (1997)* observaron que en condiciones in vivo la desintegración que se produce en la capa externa del Pro-Root MTA es autolimitante. Actúa sobre los cementoblastos que resulta en un crecimiento completo de cemento que permanece en íntimo contacto tanto con el Pro-Root MTA como con el periodonto, lo cual limita la pérdida del material de retroobturación. Concluyen en que el MTA y Super- EBA poseen excelente adaptación marginal antes y después de ser sometidos a carga masticatoria.

*Bozeman TB et al. (2006)* compararon la capacidad formadora de cristales de hidroxiapatita de MTA blanco y gris y finalizan diciendo que ambos cementos liberan abundante calcio de características química y estructuralmente similar a la hidroxiapatita.

*Sarkar NK et al. (2005)* estudiaron la formación de hidroxiapatita como resultado de la liberación de calcio del Pro-Root MTA gris. Los autores concluyen que la capacidad de sellado, biocompatibilidad, y la actividad dentinogénica del Pro-Root MTA se atribuye a estas reacciones físico-químicas.

*Fridland M et al. (2003)* observaron que el PRO-Root MTA fraguado, presenta burbujas, espacios y poros que pueden permitir el acceso de bacterias y toxinas entre el material y las paredes dentinarias.

*Shipper G et al. (2004)* compararon la adaptación marginal de amalgama y Pro-Root MTA en una cavidad apical y concluyeron que con MTA se obtuvo mejor

adaptación a las paredes de la cavidad. Esto pudo deberse a la naturaleza del Pro-Root MTA, puesto que absorbe agua durante la hidratación del polvo y podría sufrir expansión durante su endurecimiento, lo cual también podría explicar el hecho de que hubiese más incidencia de grietas en las cavidades obturadas.

#### ▪ Efecto antimicrobiano

*Torabinejad M et al. (1995f)* compararon el efecto antibacteriano de amalgama, óxido de cinc-eugenol, SuperEBA y Pro-Root MTA, sobre bacterias facultativas y anaerobios estrictos, y obtuvieron los siguientes resultados: la amalgama resultó no tener efecto sobre ninguna bacteria. El Pro-Root MTA tuvo efecto sobre cinco de las nueve bacterias estudiadas, posiblemente debido a su pH, coincidiendo con los resultados de *Hong CU et al. (1993)*, pero no tuvo efecto sobre ninguna de las bacterias anaerobias estrictas. El óxido de cinc-eugenol y el SuperEBA tuvieron efecto antibacteriano sobre algunas de las bacterias de ambos tipos, debido a la presencia de eugenol libre en ambos cementos, puesto que el eugenol por sí solo presenta efectos antibacterianos.

*Estrela C et al. (2000)* realizaron un estudio en el cual se examinó la capacidad antimicrobiana del Pro-Root MTA, cemento Portland, pasta de hidróxido de calcio puro, Sealapex y Dycal. Para ello utilizaron, tanto individualmente como en una mezcla: *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis* y *Cándida albicans*. Los resultados mostraron que la actividad antimicrobiana de la pasta de hidróxido de calcio puro era superior a la del Pro-Root MTA, cemento Portland, Sealapex y Dycal, ya que fue el que más inhibición y difusión bacteriana produjo sobre todos los microorganismos estudiados. Por el contrario, MTA, cemento Portland y Sealapex sólo mostraron áreas de difusión.

*Stowe TJ et al. (2004)*; *Holt DM et al. (2007)* y *Hernández EP et al. (2005)* investigaron si la sustitución de agua estéril por clorhexidina al 0,12% en la mezcla del MTA blanco potenciaba su efecto antibacteriano contra *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans*. Todas las muestras de Pro-Root MTA inhibieron el crecimiento microbiano independientemente del agente con que se mezclara, pero con clorhexidina mostró zonas de mayor inhibición.

*Al-Nazhan S et al. (2003)* y *Mohammadi Z et al. (2006)* demostraron la efectividad del Pro-Root MTA para eliminar al hongo *Cándida albicans* presente en raíces infectadas y en los tejidos perirradiculares en periodontitis apicales, esto pudo ser



debido tanto a su alto pH como a la difusión de sustancias, como el hidróxido de calcio, al medio de cultivo.

*Al-Hezaimi K et al. (2005 y 2006)* compararon el efecto antifúngico de diferentes concentraciones de Pro-Root MTA de 25-50 mg/ml por períodos de una semana y concluyeron que en las dos concentraciones tienen acción antifúngica y que el MTA gris lo es también a menores concentraciones.

#### ▪ Citotoxicidad

*Camilleri J et al. (2004, 2005)* y *Pérez AL et al. (2003)* hallaron buena biocompatibilidad del Pro-Root MTA blanco y gris al ponerlo en contacto con células de osteosarcoma SaOS-2, aunque en este estudio observaron que el crecimiento celular se redujo cuando el MTA ya estaba fraguado.

*Bonson S et al. (2004)* observaron que el Pro-Root MTA, permite la proliferación de fibroblastos durante los 11 días que duró el estudio.

También *Pistorius A et al. (2003)* en un estudio similar, observaron que el Pro Root MTA presentaba un efecto positivo en el crecimiento de fibroblastos gingivales humanos, favoreciendo su actividad metabólica, mientras que la amalgama produjo la inhibición de las proteínas celulares y de la síntesis de prostaglandinas, demostrando que presenta un efecto dañino sobre las células estudiadas.

*Balto H (2004)* estudió la morfología y la adhesión de los fibroblastos del ligamento periodontal humano sobre el Pro-Root MTA fresco y fraguado, las células que aparecieron sobre el MTA fresco fueron redondas, de baja densidad que indica toxicidad del material.

*Osorio RM et al. (1998)* estudiaron sobre fibroblastos de ratón la citotoxicidad de varios materiales utilizados para retroobtención, de los que el MTA resultó ser el material menos citotóxico, encontrándose también resultados favorables para el Gallium GF II, mientras que el ionómero de vidrio con plata Ketac-Silver mostró gran citotoxicidad, al igual que el SuperEBA y la amalgama.

#### ▪ Biocompatibilidad

*Keiser K et al. (2000)* expresan que los materiales utilizados para el sellado radicular, además de obliterar el espacio, deben permitir a los tejidos cicatrizar sin

interferencias. Ninguno de los materiales que se utilizaban antes de la aparición del Pro-Root MTA (amalgama de plata, resina de composite, cementos de óxido de cinc eugenol, SuperEBA, cementos de ionómero de vidrio, cementos de policarboxilato, Cavit y gutapercha) resultaba totalmente fiable para la regeneración de un periodonto normal.

*Koh ET et al. (1998)* opinan que, en el medio de cultivo (células de osteosarcoma MG-63) y en presencia de Pro-Root MTA, se produjo un aumento en la concentración de citoquinas, y que es posible que el Pro-Root MTA ofrezca un sustrato biológicamente activo para las células óseas, en coincidencia con *Guyen G et al. (2007)*.

Estos resultados difieren de los obtenidos por *Haglund R et al. (2003)* que no hallaron liberación de citoquinas en macrófagos, pero sí coinciden con los hallados por *Rezende TMB et al. (2005 y 2007)* quienes mostraron que Pro-Root MTA presenta excelentes resultados respecto a la viabilidad de los macrófagos y que no interfiere en la fagocitosis ni en la producción de citoquinas,

*Holland R et al. (1999 a)* concluyen en que Pro-Root MTA es un material bioactivo, ya que fue comprobado en un medio oral simulado. En contacto con el fluido tisular sintético se disuelve liberando la mayoría de sus componentes catiónicos y desencadenando la precipitación de HAP (cristales de hidroxiapatita) sobre su superficie y en el fluido que lo rodea. Parece que se une químicamente a la dentina cuando se coloca contra ella, posiblemente con una reacción de difusión controlada entre su superficie apatítica y la dentina. El éxito clínico del MTA en cuanto al sellado, biocompatibilidad y actividad dentinogénica es debido a estas reacciones químicas. La bioactividad del MTA se ha atribuido a su capacidad para producir hidroxiapatita en un medio fosfatado fluido.

# **OBJETIVOS**

## **OBJETIVOS GENERALES**

- Evaluar las propiedades de dos Compuestos de Trióxido Mineral (MTA-Ángelus y CPM-Egeo); en relación a la microfiltración marginal, adaptación a las paredes dentinarias y a su resistencia al desplazamiento.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el grado de microfiltración marginal en las obturaciones con MTA-Ángelus y CPM-Egeo, con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.
- Evaluar y comparar la interfaz de ambos cementos y la pared dentinaria con obturación previa con pasta de hidróxido de calcio, en estudios inmediato y mediato.
- Determinar la resistencia al desplazamiento en la obturación con MTA-Ángelus Y CPM-Egeo, con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

# **MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo *ex vivo* realizado en dientes humanos, se dividió en tres estudios. El primero tuvo por finalidad determinar si la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo evita la filtración de colorantes, con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio. El segundo permitió observar la presencia o ausencia de espacios vacíos entre la pared del conducto y la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio, realizando las evaluaciones en forma inmediata y mediata. El tercero se efectuó para medir la resistencia al desplazamiento de la obturación realizada con ambos materiales, con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

### Preparación de las muestras

Para llevar a cabo estas experiencias se utilizaron 124 dientes humanos incisivos centrales superiores, extraídos y conservados en timol al 5% (Fig. 1) obtenidos del banco de dientes de las cátedras de Clínica Quirúrgica II-A y II-B con los correspondientes consentimientos informados de los pacientes. En cada uno de ellos se reprodujo el modelo experimental propuesto por *Hachmeister DM* (2002).

Se seleccionaron las piezas dentarias mediante la observación de imágenes radiográficas, eliminando aquellas que presentaban conductos atrésicos, raíces fisuradas o conductos con tratamiento endodóntico previo.

A cada una de ellas se le realizó el siguiente procedimiento:

1. Los dientes se incluyeron en una solución de timol al 5% para su conservación hasta el momento en que fueron procesados.



Fig. 1. Muestras conservadas en timol al 5%.

2. Se seccionó la porción coronaria con un disco flexible diamantado nº 7028 (Sorensen) hasta la unión amelo-cementaria (Fig. 2).



**Fig. 2.** Corte de corona dental

3. Se cortaron los 2mm apicales de la raíz con fresa de fisura nº 2200 grano medio (Microdont) accionada con turbina bajo refrigeración, para eliminar deltas apicales y estandarizar la salida del conducto, centralizada con respecto al eje largo del diente, de tal manera que cada una de las muestras midieran 13mm de longitud (Fig. 3).



**Fig. 3. a)** Corte del ápice; **b)** Muestras seccionadas.

4. Se determinó la longitud de trabajo con una lima tipo K nº 15 de acero inoxidable (Dentsply. Baillages. Suiza) que se colocó en el conducto hasta que la punta del instrumento llegara al ras del extremo radicular.

5. Se ensancharon de forma gradual los conductos radiculares en los tres tercios (coronario, medio y apical) con fresas Gates Glidden desde la n° 1 a la n° 5 (Dentsply. Suiza) y en el extremo apical se talló una divergencia con una piedra tronco cónica para simular un ápice abierto (Fig. 4).



**Fig. 4. a)** Preparación de tercios coronarios; **b)** Vista coronaria y **c)** Vista apical.

Durante la preparación de las muestras se realizó la irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5% (Laboratorios Tedequim S.R.L. - Argentina), y luego los conductos fueron secados con conos de papel (Meta Biomed Co. Ltd.).

Todos los dientes se mantuvieron envueltos en una gasa húmeda con agua destilada durante todo el procedimiento (Fig. 5).



**Fig. 5.** Muestras en medio húmedo.



## ESTUDIO 1

### Evaluación de la microfiltración marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

Para este estudio se utilizaron 76 muestras preparadas de acuerdo con el modelo experimental propuesto por *Hachmeister DM* (2002). Las muestras (76) se dividieron en cuatro grupos (tabla 1):

- Grupo A:** Compuesto por diecinueve (19) muestras obturadas con MTA-Ángelus (Londrina- Brasil) de 4mm de espesor, previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L. Argentina) y agua destilada.
- Grupo B:** Compuesto por diecinueve (19) muestras obturadas con MTA-Ángelus (Londrina- Brasil) de 4mm de espesor.
- Grupo C:** Compuesto por diecinueve (19) muestras obturadas con CPM-Egeo (Argentina), de 4mm de espesor, previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L) y agua destilada.
- Grupo D:** Compuesto por diecinueve (19) muestras obturadas con CPM-Egeo (Argentina) de 4mm de espesor.

Grupo	Muestras (n)	Material
Grupo A	19	MTA-Ángelus c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo B	19	MTA-Ángelus
Grupo C	19	CPM-Egeo c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo D	19	CPM-Egeo

Tabla 1.- Conformación de los grupos del estudio 1.



Fig. 6. a) Colocación de la pasta de CaOH<sub>2</sub>; b) Estufa (37°).

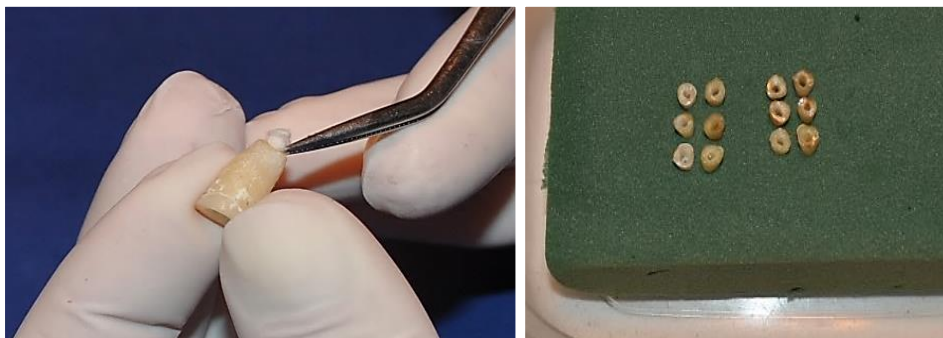
Las muestras de los **grupos A y C** se obturaron con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L) y agua destilada con una lima tipo K nº 40 (Dentsply. Tulsa OK) se cargó el material en la lima haciendo girar ésta en sentido horario y luego en el conducto se giró en sentido antihorario para descargar el material. Posteriormente se condensó suavemente con un cono grueso de papel (Meta Biomed Co. Ltd.). Este procedimiento se repitió hasta obturar la totalidad del conducto (Fig. 6a), y se mantuvieron en estufa durante siete días a 37° y 100% de humedad (Fig. 6b).

Cumplido el tiempo establecido (siete días) se retiró la pasta de hidróxido de calcio con limas tipo K de acero inoxidable (Dentsply. Tulsa OK) con movimientos de limado e irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5% (Laboratorios Tedequim S.R.L.- Argentina) y se secó con conos de papel (Meta Biomed Co. Ltda.) (Fig. 7).



**Fig. 7.** Irrigación con hipoclorito de sodio.

Posteriormente a todas las muestras (**grupo A, B, C y D**) se les colocó una bolita de algodón a nivel apical (Fig. 8a) y se insertaron en una esponja húmeda de las que se utilizan para arreglos florales (Oasis) que simula el tejido periodontal y sirve de retención al material (Fig. 8b).



**Fig. 8. a)** Colocación de bolita de algodón; **b)** Muestras insertadas en esponja.

Los **grupos A y B** se obturaron con MTA-Ángelus (Londrina-Brasil) en la porción apical con un espesor de 4mm (*Darlene R 2002*). El material se preparó de acuerdo con las instrucciones del fabricante en una proporción de 1:1 (polvo y agua destilada) (Fig. 9), se llevó al conducto con una lima tipo K nº 40 (Dentsply. Tulsa OK) cargando el material en la lima haciendo girar ésta en sentido horario y luego en el conducto girando en sentido antihorario y posteriormente condensado suavemente con un cono grueso de papel (Meta Biomed Co. Ltd.). Posteriormente, con una lima de acero inoxidable nº 50 rodeada por algodón húmedo se removieron los excesos de material. Por último se selló la cavidad con Cavit (Cavit G, 3M ESPE AG, Seefeld, Alemania) (Fig. 10).



**Fig. 9.** Proporción dosificada de MTA-Ángelus.



**Fig. 10.** Obturación con MTA-Ángelus.

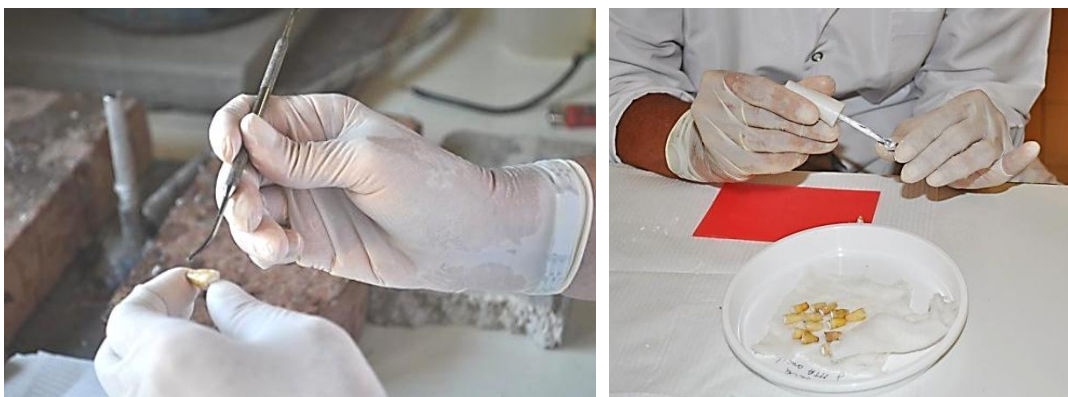
Los **grupos C y D** se obturaron de igual manera que los grupos anteriores, utilizando en éstos CPM-Egeco (Argentina) en la porción apical, con un espesor de 4mm

preparado de acuerdo con las instrucciones del fabricante en una proporción de 3:1 (polvo y agua destilada) (Fig. 11).



**Fig. 11.** Obturación con CPM-Egeo.

Las muestras de los cuatro **grupos (A, B, C y D)** se mantuvieron en estufa a 37° y 100% de humedad durante 72h, para un correcto fraguado del material. Se las retiró de la esponja y se acondicionaron para el siguiente paso, según la técnica empleada por *Orosco F et al* (2010) de la siguiente manera: se cubrieron con una capa de cera pegajosa hasta 1mm del ápice (Fig. 12a), dejando éste expuesto y luego con dos capas de esmalte para uñas (Fig. 12b).



**Fig. 12. a)** Recubrimiento con cera; **b)** Impermeabilizado con esmalte para uñas.

Posteriormente, cada una de las muestras de los cuatro grupos se sumergió en una solución de fucsina básica al 0,02% y se las colocó por un período de 48h en estufa a una temperatura de 37°C (Fig. 13). Cumplido el tiempo, se lavó cada muestra con abundante agua y se retiró el barniz y la cera pegajosa con una espátula.





**Fig. 13.** Muestras cubiertas con fucsina en estufa.

Cada muestra se cortó longitudinalmente con una cortadora metalográfica de precisión ISOMET Buehler low speed (que consta de una sierra circular diamantada de 0,3mm de espesor) a 300rpm con una carga de 50g, obteniendo dos mitades (Fig. 14). Ambas mitades de cada muestra se escanearon enfrentadas apicalmente sobre la superficie del cristal y se cubrieron debidamente para evitar el ingreso de la luz ambiental. Se utilizó un escáner gráfico HP G-3110 a una resolución de 1200dpi y 24 bytes de profundidad de color.



**Fig. 14.** a) Corte con disco diamantado; b) Mitades.

## Método colorimétrico para determinar la presencia de colorante

Para medir la penetración o no del colorante en las muestras, se descartó el simple análisis observacional, ya que la percepción del color en la visión humana, depende de factores biológicos y fisiológicos. El color, se define como una sensación que se percibe al observar un objeto y depende de tres factores: la fuente luminosa, el objeto y el observador. Como es una sensación, la interpretación es totalmente subjetiva.

El color como tal, se define en función de las longitudes de onda que son reflejadas o absorbidas por la superficie de un objeto, que captadas por el ojo humano transmiten la información al cerebro y se manifiestan como color.

La medición se realizó utilizando un método científico creado para el presente estudio, basado en el espacio colorimétrico HSL, constituido por coordenadas de un espacio tridimensional que contienen los tres atributos psico-físicos básicos del color: luminosidad, saturación y tonalidad (Fig. 15).

En este sistema, la **luminosidad** (L) es representada en el eje vertical y es una medida que varía del 0% completamente oscuro al 100% completamente claro.

La **saturación** (S) es el grado de pureza que tiene un color determinado respecto al gris. Se dice que un color tiene una saturación total o máxima, cuando apreciamos el color en toda su pureza por ejemplo: rojo; azul puro, amarillo, verde. En cambio, tiene saturación disminuida o pobre, cuando el color se ha "ensuciado" con gris, resultando un matiz más impuro y apagado. La saturación varía desde el eje central con tonos no saturados o grises (0%) hacia la periferia incrementando el valor hasta el 100%.

La **tonalidad** (H) es un parámetro representado por una variable angular que gira alrededor del eje de intensidad, tomando valores en grados asociados a cada color de 0° a 360°.

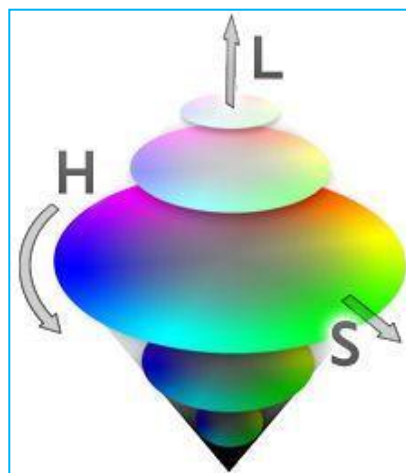


Fig. 15. Representación del espacio colorimétrico HSL

Para cuantificar una medida de color se requiere considerar los tres parámetros asociados: tonalidad; luminosidad y saturación.

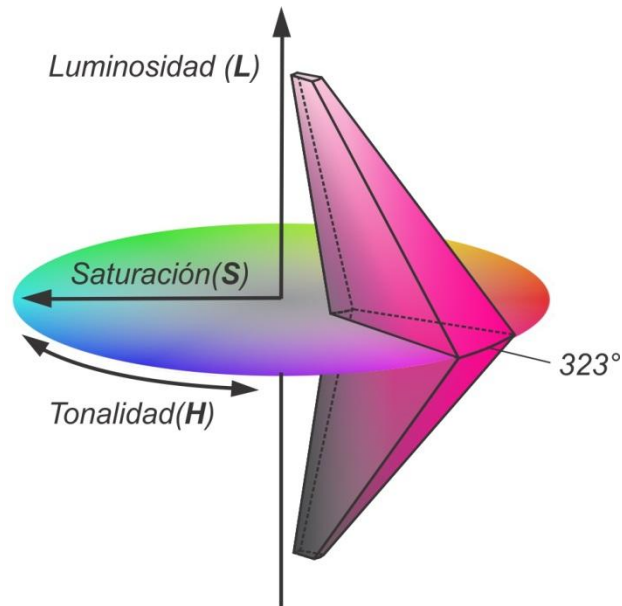
Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, se midieron las características colorimétricas de la sustancia química que se usó para teñir o marcar la filtración, fucsina al 0,02% o sea el registro de tonalidad de la fucsina. Se colocó una gota de fucsina al 0,02% en un papel neutro (lens cleaning tissues Olympus) y también sobre un porta-objeto, en ambos casos el color se mantuvo estable. Se escanearon las dos superficies donde se registró el color bajo las mismas condiciones experimentales que el estudio, y se obtuvo como resultado que el valor medio de tonalidad (H) utilizada fue de 323° dentro del espacio colorimétrico HSL (Fig. 16).



**Fig. 16. a)** Fucsina sobre portaobjeto **b)** Fucsina sobre papel.

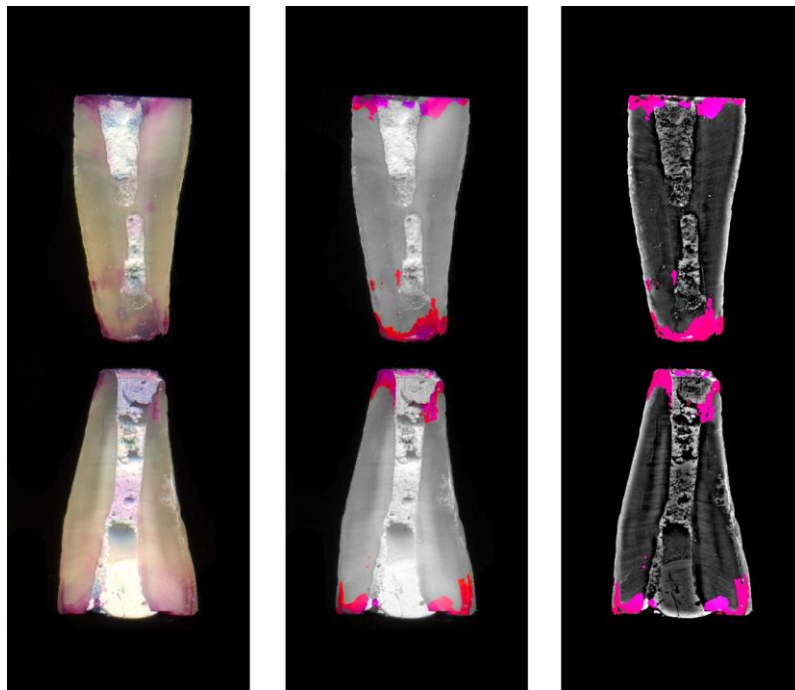
Las áreas teñidas con fucsina que marcan las zonas filtradas, se seleccionaron mediante herramientas específicas provistas por el software Image Pro-Plus v.4.5 teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La amplitud del rango de tonalidad utilizado para las selecciones, se estableció en función del valor de tonalidad media obtenida previamente para la fucsina (H: 323°) en más menos 10°.
- En cuanto a la saturación S, sólo se incluyeron en la selección, valores mayores que 35%, evitando de esta manera seleccionar áreas grisáceas.
- Respecto al parámetro luminosidad L, se excluyeron los valores más extremos: de 0 a 20% y de 80% a 100%, quedando el rango de 20% a 80% (Fig. 17).



**Fig. 17.** Rango de selección dentro del espacio colorimétrico HSL.

Posteriormente, las imágenes se seleccionaron mediante la herramienta máscara de color de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente, poniendo de manifiesto las áreas con las características especificadas, para una mejor visualización. La imagen original se desaturó (escala de grises) y se superpuso sobre ella la máscara flotante que contenía la información del filtrado del color magenta magnificado o sobresaturado, solo para obtener un contraste visual (Fig. 18).



**Fig. 18. a)** Cortes originales **b)** Selección de áreas filtradas **c)** Imagen procesada.





## ESTUDIO 2

**Evaluación inmediata y mediata de la adaptación marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeco con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.**

**Este estudio consta de tres partes:**

**2-A** Observación a través del microscopio confocal. Evaluación inmediata

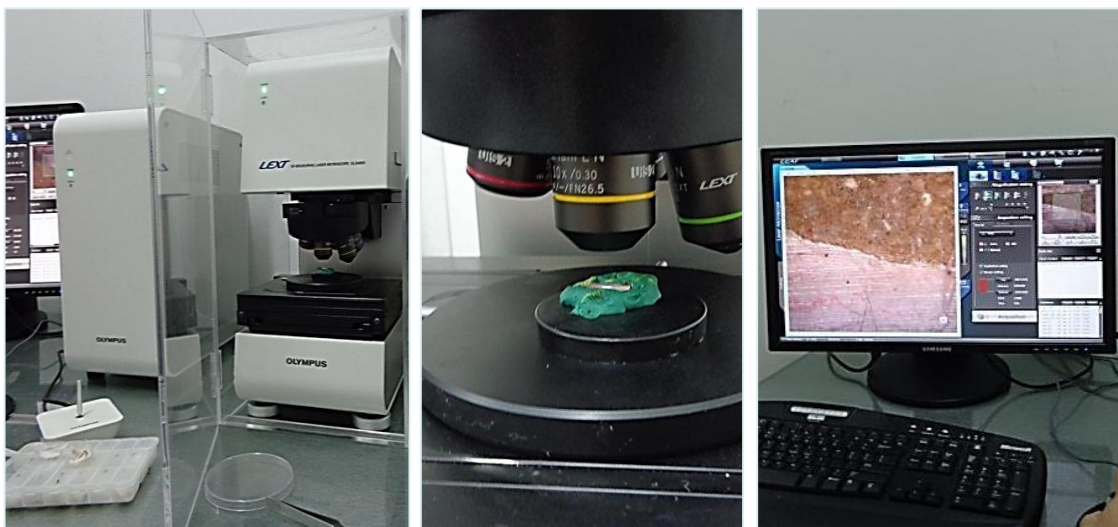
**2-B** Observación a través del microscopio confocal. Evaluación mediata

**2-C.** Comparación entre estudios inmediato y mediato

### 2-A. Estudio inmediato

Para evaluar la presencia o ausencia de espacios vacíos en la interfaz de la pared del conducto con el material, considerando los dos cementos estudiados: MTA Ángelus y CPM-Egeco con y sin pasta de hidróxido de calcio. Las muestras fueron observadas a través del microscopio confocal.

La microscopía confocal es una técnica de observación microscópica que ofrece mayores ventajas frente a la microscopía óptica tradicional (imágenes de mayor nitidez y contraste, mayor resolución vertical y horizontal, etc.) y, sobre todo, la posibilidad de obtener "secciones ópticas" de la muestra, lo que permite su estudio tridimensional.



**Fig. 20.** a) Microscopio confocal; b) Muestra en posición; c) Imagen obtenida.

Se conformaron 4 (cuatro) grupos, constituidos por 7 (siete) muestras cada uno, seleccionadas a partir de las muestras utilizadas en el estudio 1.

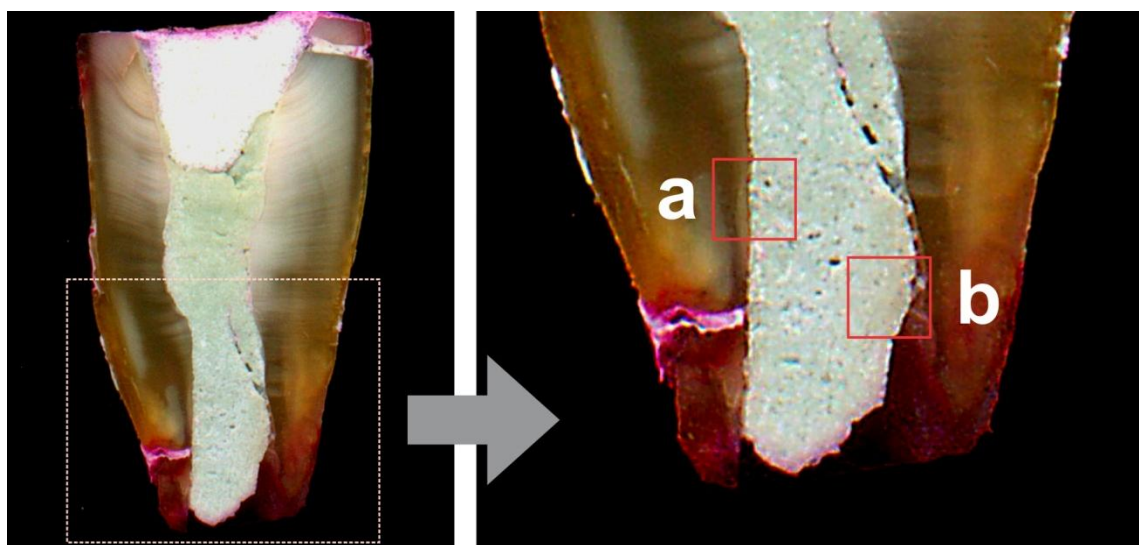
Los grupos se denominaron de la siguiente manera (tabla 2):

- Grupo A:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente, obturadas con MTA-Ángelus (Londrina- Brasil), previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L. Argentina) y agua destilada.
- Grupo B:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente, obturadas con MTA-Ángelus (Londrina- Brasil).
- Grupo C:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente, obturadas con CPM-Egeo (Argentina), previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L) y agua destilada.
- Grupo D:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente obturadas con CPM-Egeo (Argentina).

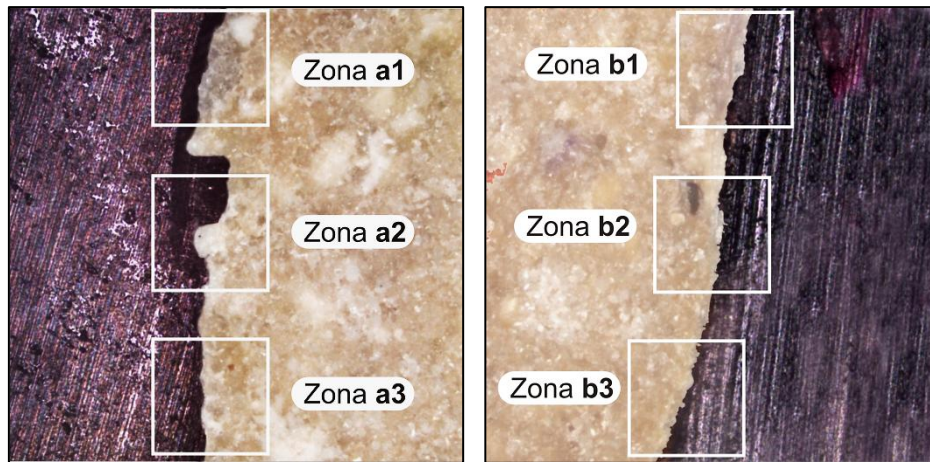
Grupo	Muestras (n)	Material
Grupo A	7	MTA-Ángelus c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo B	7	MTA-Ángelus
Grupo C	7	CPM-Egeo c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo D	7	CPM-Egeo

**Tabla 2.-** Conformación de los grupos del estudio 2-A.

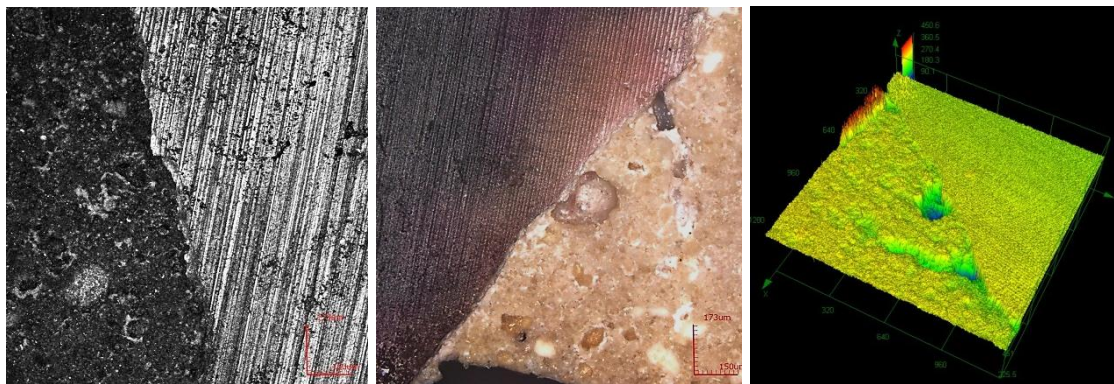
Se obtuvieron imágenes de dos zonas por muestra denominadas a y b y a su vez se consideraron para la medición tres sub-zonas denominadas a1, a2, a3 y b1, b2, b3 (Figuras 21 y 22). Se utilizó un microscopio confocal Olympus modelo Lext OLS4000 con una magnificación de 216X, el cual proporcionó tres tipos de imágenes: 1) Láser con longitud de onda de 405nm (Máx. resolución) visualizada en escala de grises; 2) Modo color: con luz LED blanca y 3) Pseudo color 3D (Fig. 23).



**Fig. 21.** Zona evaluadas (a y b).



**Fig. 22.** Sub-zonas evaluadas (a1, a2, a3 y b1, b2, b3).



**Fig. 23.** Modos de imagen: a) Escala de grises; b) Color real y c) Pseudo color 3D.

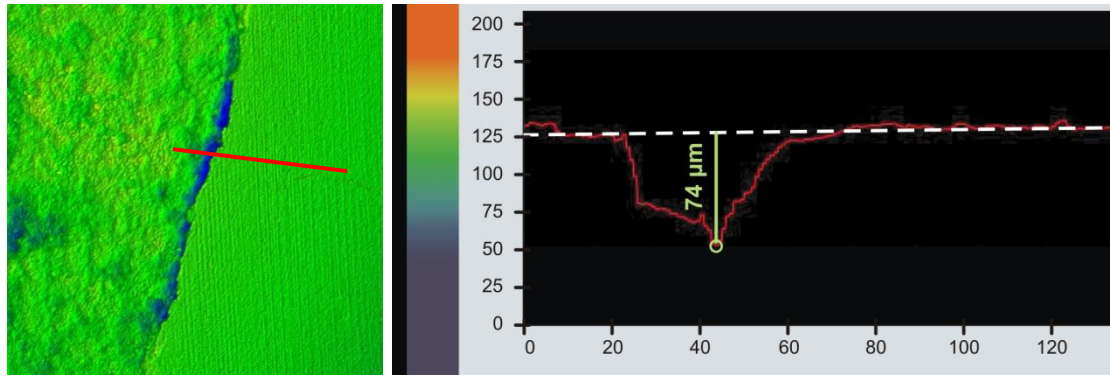
Se evaluó la presencia o no de espacios vacíos entre el cemento y la pared dentinaria.

Para determinar la presencia de espacios vacíos, se estableció un criterio asociado a la profundidad del espacio observado en cada sub-zona. Se fijó en  $20\mu\text{m}$  el límite de profundidad como valor a partir del cual se consideraba como “espacio” entre la pared dentinaria y el material, debido a que la rugosidad e irregularidades propias del material están dentro de rangos próximos a  $20\mu\text{m}$ . Complementariamente, se utilizó la escala colorimétrica correlacionada con la profundidad (Fig. 24 y 25), como guía para determinar el lugar exacto a medir.

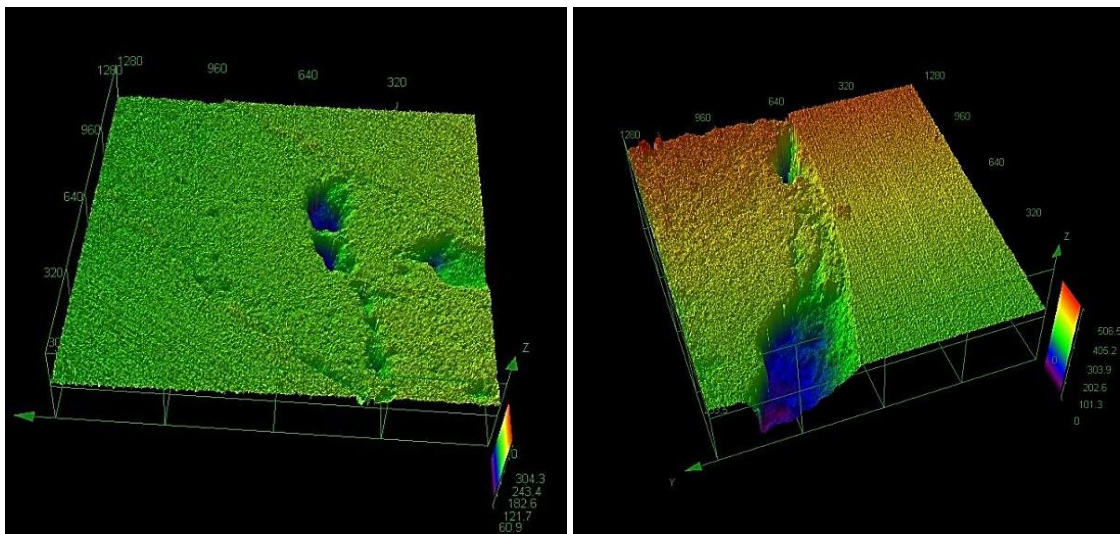
La escala está incluida en las imágenes generadas por el software del microscopio confocal.

Todos los datos fueron registrados en un cuadro “*ad hoc*”





**Fig. 24.** Imagen correspondiente a una sub-zona. En ella se observa en color azul las zonas de mayor profundidad.



**Fig. 25. a)** Ejemplo de espacio en el interior de la masa de cemento. **b)** Ejemplo de espacio entre el cemento y la pared dentinaria. En ambas imágenes se muestra la escala colorimétrica asociada a la profundidad de los espacios.

### Análisis estadístico

Se contrastaron los valores porcentuales de casos con espacios vacíos entre el cemento y la pared dentinaria. Para el contraste entre grupos según el cemento (CPM-Egeo; MTA-Ángelus) y con o sin obturación previa con pasta de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , se aplicaron pruebas de chi cuadrado de Pearson y test exacto de Fisher según correspondiera. Para todas las pruebas se fijó el nivel de significación estadística en  $p=0,05$ .

## 2-B Estudio mediato

Se realizó un estudio para evaluar la presencia o ausencia de espacios vacíos en la interfaz de la pared del conducto con el material, considerando los dos cementos estudiados: MTA- Ángelus y CPM-Egeo con pasta de hidróxido de calcio y luego incluidos durante 90 días en agua destilada (Fig. 26).

Para evaluar, las muestras fueron observadas a través del microscopio confocal. Se conformaron 2 (dos) grupos, constituidos por 7 (siete) muestras cada uno, utilizando las que restaban del estudio 1.

Los grupos se denominaron de la siguiente manera (tabla 3):

**Grupo E:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente, obturadas con MTA-Ángelus (Londrina- Brasil), previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L. Argentina) y agua destilada.

**Grupo F:** Compuesto por 7 muestras cortadas longitudinalmente, obturadas con CPM-Egeo (Argentina), previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L) y agua destilada.

Grupo	Muestras (n)	Material
Grupo E	7	MTA-Ángelus c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo F	7	CPM-Egeo c/ Ca(OH) <sub>2</sub>

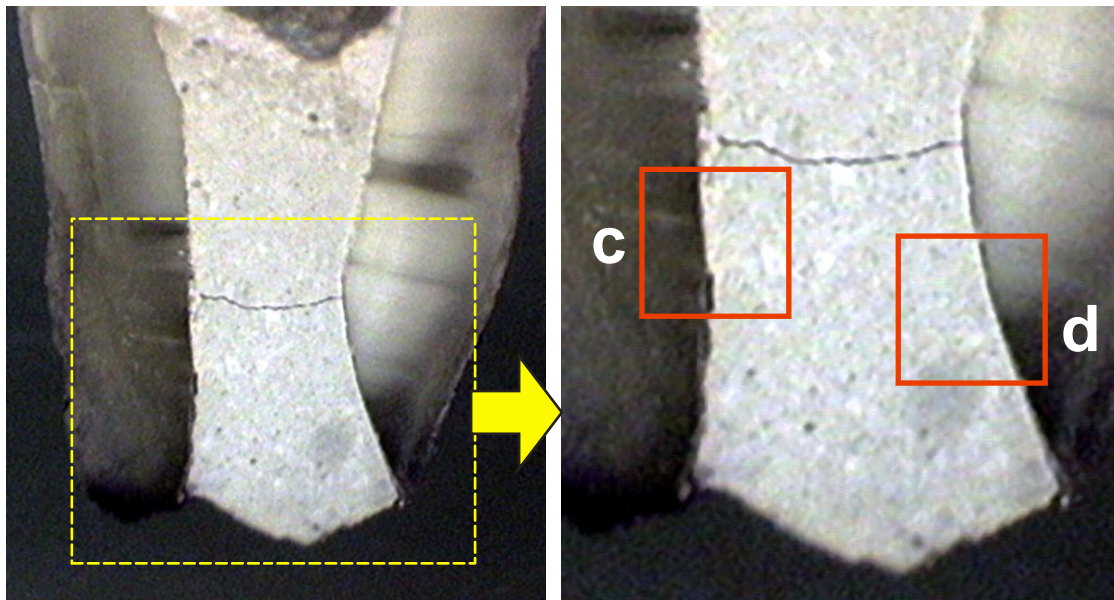
**Tabla 3.-** Conformación de los grupos del estudio 2-B.



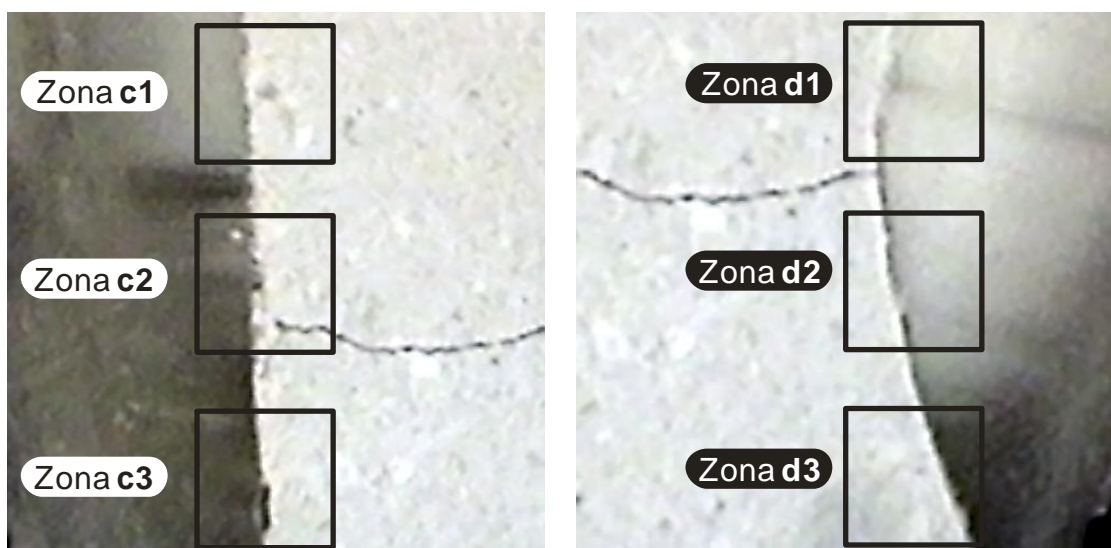
**Fig. 26.** Muestras sumergidas en solución fisiológica.

Para la evaluación se empleó la misma metodología del estudio inmediato, para ello se obtuvieron imágenes de dos zonas por muestra denominadas c y d y a su vez se

consideraron para la medición tres sub-zonas denominadas c1, c2, c3 y d1, d2, d3 (Fig. 27 y 28). Las imágenes obtenidas a través del microscopio confocal fueron tres: 1) Láser con longitud de onda de 405nm (Máx. resolución) visualizada en escala de grises; 2) Modo color: con luz LED blanca y 3) Pseudo color 3D (Fig. 29).

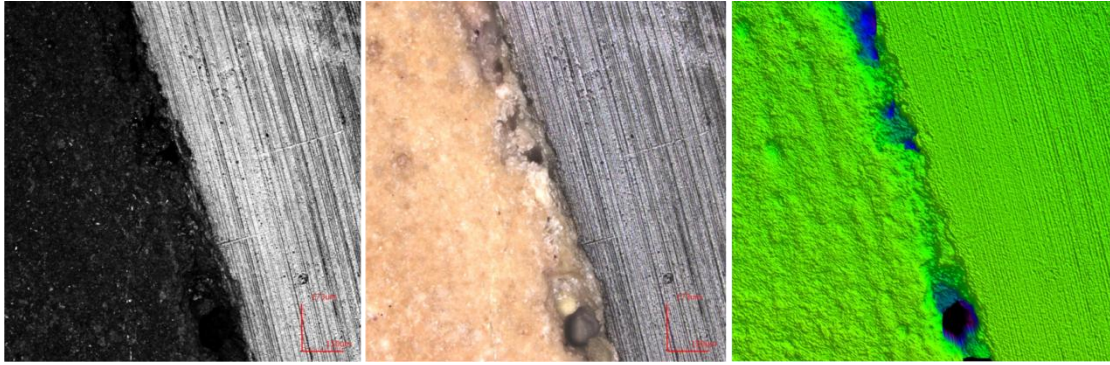


**Fig. 27.** Zona evaluadas (c y d).



**Fig. 28.** Sub-zonas evaluadas (c1, c2, c3 y d1, d2, d3).





**Fig. 29.** Modos de imagen: a) Escala de grises; b) Color real y c) Pseudo color 3D.

### **Análisis estadístico**

Se contrastaron los valores porcentuales de casos con espacios vacíos entre el cemento y la pared dentinaria. Para el contraste entre grupos según el cemento (CPM-Egeo; MTA-Ángelus), se aplicaron pruebas de chi cuadrado (test exacto de Fisher). Para todas las pruebas se fijó el nivel de significación estadística en  $p=0,05$ .

### **2-C. Comparación entre estudios mediato e inmediato**

Se compararon los resultados de los estudios inmediato (grupos A y C) y mediato (grupos E y F), mediante pruebas de Chi cuadrado (exacto de Fisher). Se fijó el nivel de significación estadística en  $p=0,05$ . Con el objetivo de evaluar si se incrementa la frecuencia de espacios en la interfaz de la pared dentinaria y el cemento luego de sumergir las muestras en agua destilada.

## **ESTUDIO 3**

### **Evaluación de la resistencia al desplazamiento de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.**

Se midió la fuerza necesaria para desalojar la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio. Se conformaron cuatro grupos de dientes (tabla 4) que fueron preparados según el modelo experimental de *Hachmeister, DM (2002)* ya descrito en el Estudio 1.



**Grupo 1:** compuesto por doce (12) muestras obturadas con MTA-Ángelus (Londrina-Brasil) de 4mm de espesor previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L. Argentina) y agua destilada.

**Grupo 2:** compuesto por doce (12) muestras obturadas con MTA-Ángelus (Londrina-Brasil) de 4mm de espesor

**Grupo 3:** compuesto por doce (12) muestras obturadas con CPM-Egeo (Argentina), de 4mm de espesor previa obturación completa del conducto con pasta de hidróxido de calcio (Polvo-PA. Tedequim S.R.L.) y agua destilada.

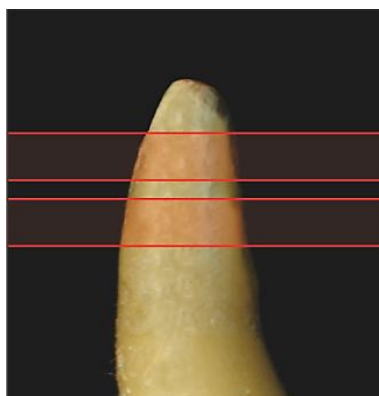
**Grupo 4:** compuesto por doce (12) muestras obturadas con CPM-Egeo (Argentina) de 4mm de espesor.

Grupo	Muestras (n)	Material
Grupo 1	12	MTA-Ángelus c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo 2	12	MTA-Ángelus
Grupo 3	12	CPM-Egeo c/ Ca(OH) <sub>2</sub>
Grupo 4	12	CPM-Egeo

**Tabla 4.-** Conformación de los grupos del estudio 3.

Luego todas las muestras (grupos 1, 2, 3 y 4) se cortaron transversalmente con una cortadora metalográfica de precisión ISOMET Buehler low speed, que consta de una sierra circular diamantada de 0,3mm a 300rpm con una carga de 50g.

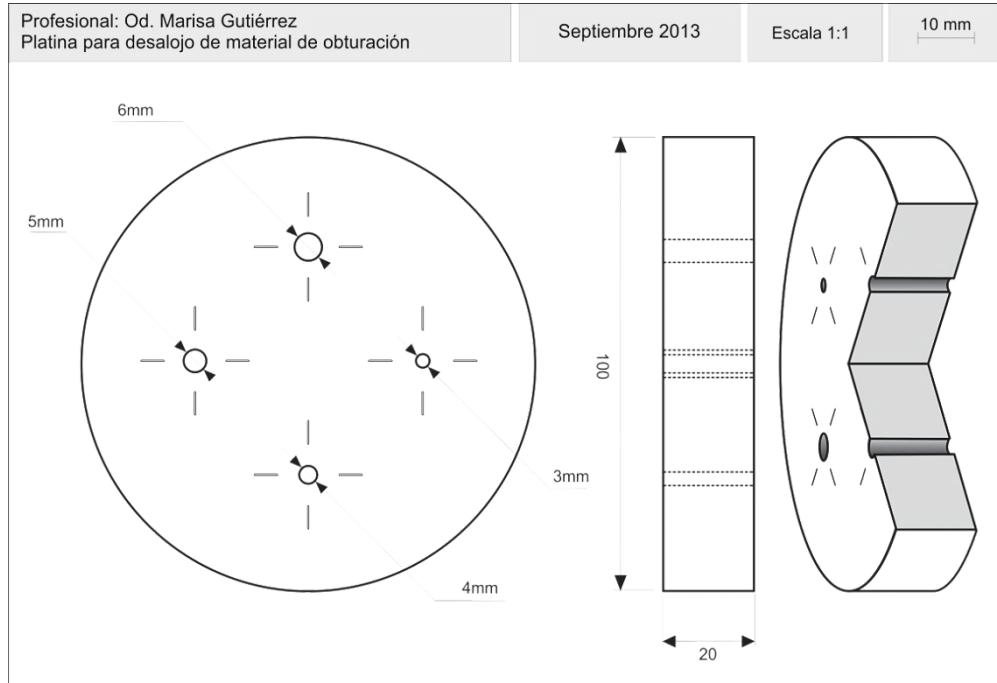
Se realizaron dos cortes por raíz, obteniéndose 24 (veinticuatro) muestras de cada grupo (Fig. 30).



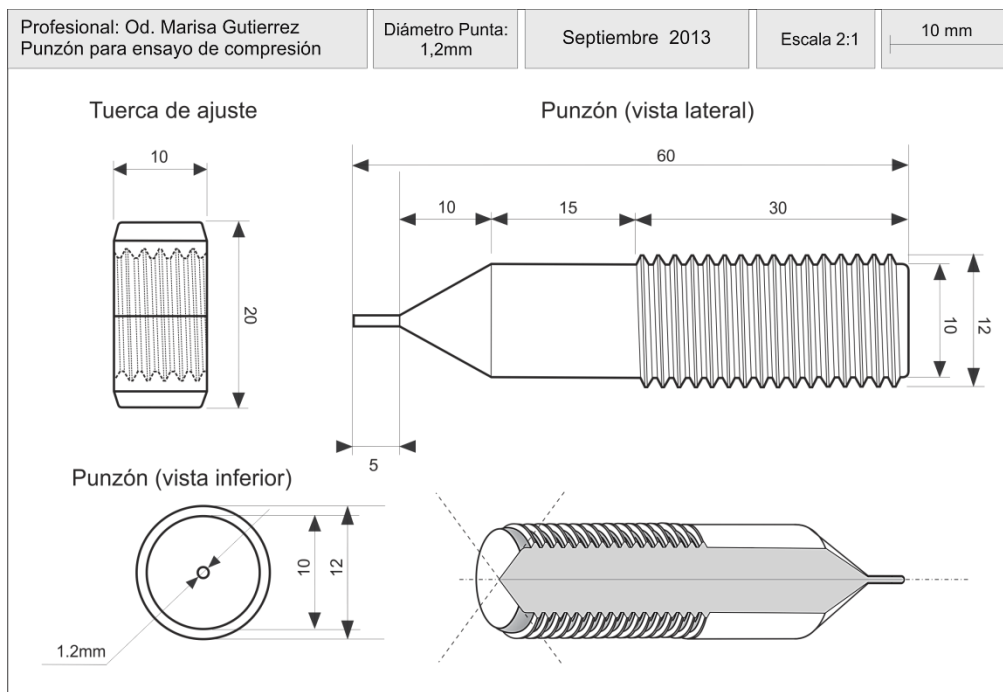
**Fig. 30.** Se destacan en rojo las secciones que conformarán las dos muestras de cada raíz.

Posteriormente todas las muestras fueron sometidas al ensayo denominado *Push out test* en una máquina de ensayo universal Digimes MX-5000.

Para esta experiencia se confeccionó una platina de superficie pulida de 10cm de diámetro y 2cm de espesor con cuatro perforaciones de 3mm, 4mm, 5mm y 6mm de diámetro ubicadas en cruz (Fig. 31) y cuatro punzones de 1,5mm, 2mm, 2,5mm, y 3mm de diámetro (Fig. 32).

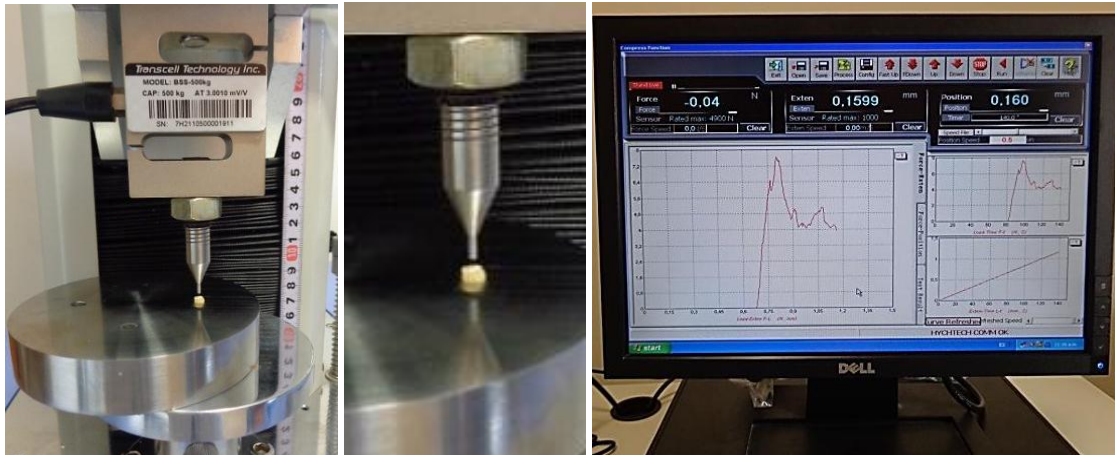


**Fig. 31.** Plano de platina.



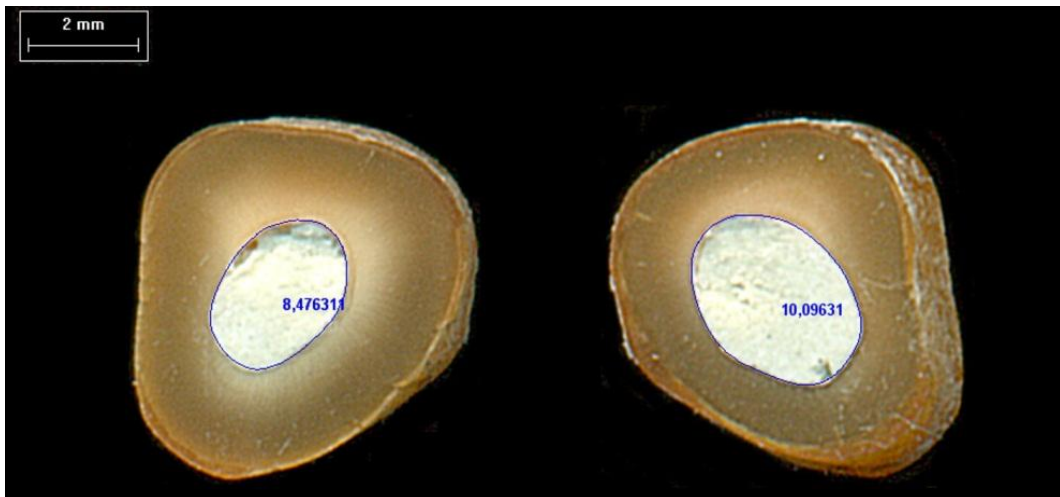
**Fig. 32.** Plano de punzón.

Se ubicó cada muestra sobre la platina colocando el lado con mayor diámetro hacia abajo y se seleccionó el punzón de acuerdo con el diámetro de la obturación de material. En la pantalla accesoria se registraron los siguientes datos: la fuerza aplicada medida en N (newton), el desplazamiento medido en mm (milímetros) y la velocidad de avance del punzón fijada en 0,5mm/minuto (figura 33).



**Fig. 33.** a) Platina, muestra, punzón y celda de carga; b) Muestra en posición y c) Pantalla accesoria.

Se obtuvieron imágenes digitales de los cortes transversales con un escáner gráfico HP G-3110 con resolución 1200dpi por ambos lados a partir de las cuales se realizaron las mediciones del perímetro de la pared del conducto (Fig. 34).



**Fig. 34.** Mediciones de perímetros de obturación en ambas caras.

Los valores de perímetro de ambos lados de cada muestra se registraron en planillas *ad hoc*.

La superficie interna de las paredes del conducto en contacto con el material de obturación, se calculó de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{Superficie (mm}^2\text{)} = \text{perímetro medio (mm)} \times \text{espesor (mm)}$$

El valor de resistencia al desplazamiento en MPa se obtuvo relacionando la fuerza aplicada y la superficie interna del conducto:

$$\text{Resistencia al desplazamiento (MPa)} = \frac{\text{Fuerza (N)}}{\text{Sup. (mm}^2\text{)}}$$

Se calculó la conicidad (C) a partir de la diferencia de perímetros de ambos lados del corte y el espesor correspondiente (Fig. 35).

$$\text{Conicidad} = \frac{(\text{Perímetro mayor} - \text{Perímetro menor})}{\text{Espesor} \cdot \pi}$$

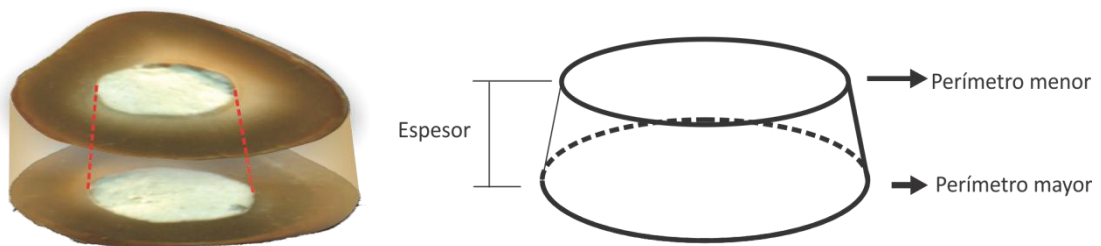


Fig. 35.- Esquema de conicidad. Cortes superior e inferior de la misma muestra.

### Análisis estadístico

Se evaluaron diversos factores que podrían estar asociados a los valores de resistencia al desplazamiento registrados en los ensayos del estudio mediante un modelo lineal generalizado (Test paramétrico), diseñado para determinar los efectos principales y el nivel de significación de cada uno de ellos. Se aplicaron pruebas de correlatividad entre los valores de resistencia y los de las diferentes variables (conicidad, espesor, superficie lateral). Se fijó el nivel de significación estadística en  $p=0,05$ .

# RESULTADOS

## ESTUDIO 1

### Evaluación de la microfiltración marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeco con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

En esta experiencia se estudió la ocurrencia de microfiltración del colorante fucsina al 0,02% en los diferentes grupos, como también su profundidad.

#### • Porcentaje de filtración

Se observó mayor porcentaje de filtración en los grupos obturados sin pasta de hidróxido de calcio, tanto MTA-Ángelus como CPM-Egeco (57,9% y 84,2% respectivamente). En contraparte, los grupos con obturación previa con pasta de hidróxido de calcio registraron menores porcentajes de filtración en ambos cementos: 31,6% en MTA-Ángelus y 26,3% en CPM-Egeco (Fig. 36).

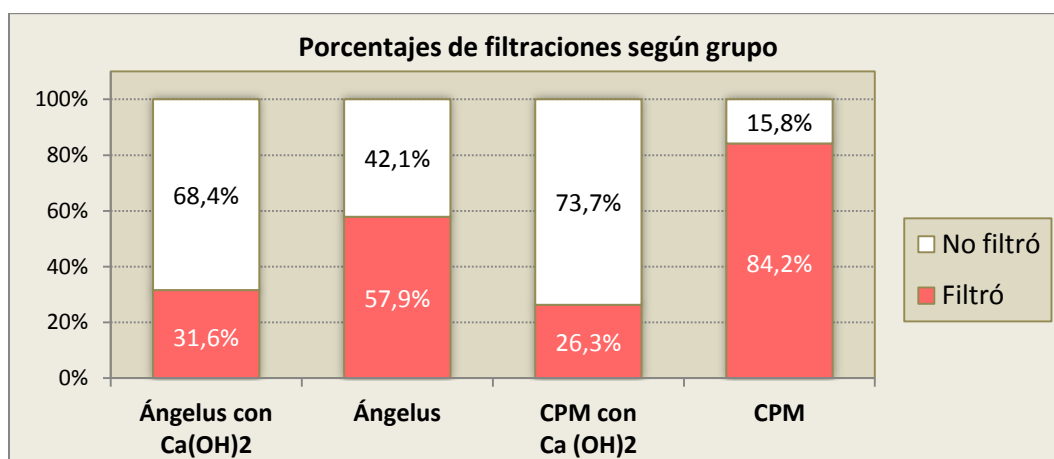


Fig. 36.- Porcentajes de filtraciones según grupo.

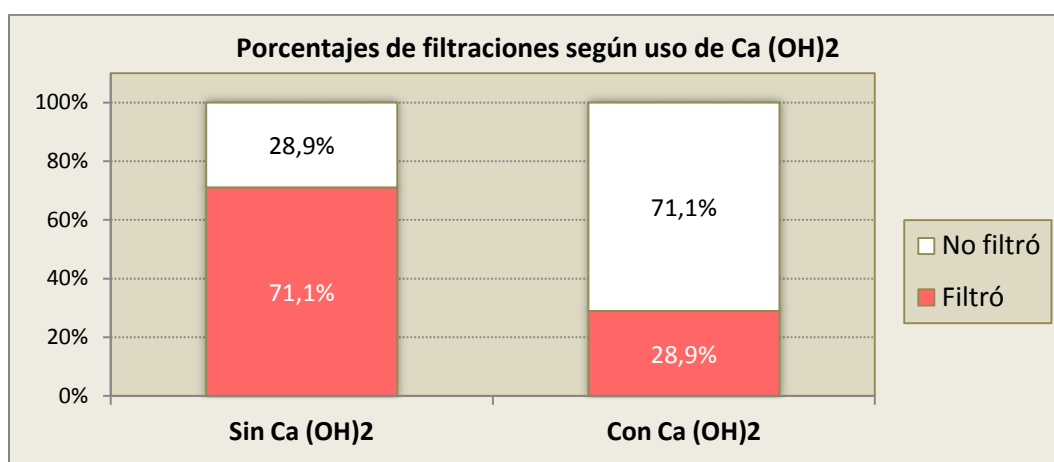
Grupo	No filtró		Filtró	
Ángelus con Ca(OH)2	13	68,4%	6	31,6%
Ángelus	8	42,1%	11	57,9%
CPM con Ca(OH)2	14	73,7%	5	26,3%
CPM	3	15,8%	16	84,2%
Total	38	50,0%	38	50,0%

Chi cuadrado: valor=17,117; (Chi<sup>2</sup> de Pearson) p=0,001; **p<0,05**

Tabla 5.- Filtración según grupo. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de chi cuadrado.

De acuerdo con el resultado de la prueba de chi cuadrado, se sugiere aceptar la hipótesis alternativa: Los porcentajes de filtración difieren significativamente entre los grupos. (Chi<sup>2</sup> de Pearson: 17,117; p=0,001; p<0,05)

En el gráfico de proporciones de la figura 37, se comparan los casos de filtración con y sin obturación previa de hidróxido de calcio. Se observa un mayor porcentaje de filtración del colorante en los grupos sin hidróxido de calcio. El resultado de la prueba de independencia (Chi<sup>2</sup> de Pearson: 14,911; Exacto de Fisher: p<0,001), indica que puede aceptarse con suficiente confiabilidad la hipótesis alternativa: la utilización de hidróxido de calcio en las condiciones realizadas en éste estudio disminuye significativamente la probabilidad de ocurrencia de microfiltración en una etapa inmediata.



**Fig. 37.-** Porcentajes de filtraciones según uso de hidróxido de calcio.

Ca(OH)2	No filtró		Filtró	
Con Ca(OH)2	27	71,1%	11	28,9%
Sin Ca(OH)2	11	28,9%	27	71,1%
Total	38	50,0%	38	50,0%
Chi cuadrado: valor=14,911; (Exacto de Fisher: p=0,0002; p<0,05)				

**Tabla 6.-** Filtración según uso de pasta de hidróxido de calcio. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de chi cuadrado.

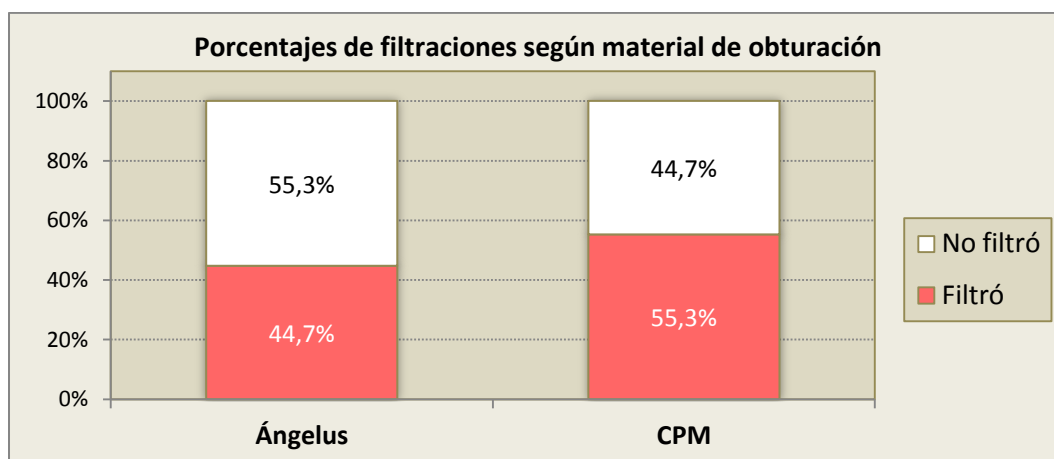
El riesgo relativo de filtración (RR) de los grupos sin pasta de hidróxido de calcio respecto a los que se obturaron con hidróxido de calcio, fue igual a 2,627, lo cual implica que la probabilidad de filtración en dientes obturados sin pasta de hidróxido de calcio es 2,6 veces mayor que los sin pasta, dentro de un intervalo de confianza expresado en la tabla 7.

Cohorte	Riesgo Relativo (RR)	IC (95%)	
		Límite Inf.	Límite Sup.
RR de filtración en dientes <b>sin</b> Ca (OH) <sub>2</sub>	<b>2,627</b>	1,498	4,609
RR de filtración en dientes <b>con</b> Ca (OH) <sub>2</sub>	<b>0,381</b>	0,217	0,668

**Tabla 7.-** Riesgo relativo de filtración (RR) según uso de hidróxido de calcio e intervalo de confianza al 95% para el RR.

Al comparar los dos cementos, se observó un porcentaje levemente más bajo de filtración en los grupos obturados con MTA-Ángelus, pero sin diferencias significativas respecto al cemento CPM-Egeo ( $\chi^2$ : Valor=0,674; Exacto de Fisher:  $p=0,486$ ;  $p>0,05$ ) (tabla 8), por lo que se sugiere aceptar la hipótesis nula: Los porcentajes de filtración no difieren significativamente entre los materiales utilizados en este estudio.

El siguiente esquema compara la ocurrencia de filtración según material de obturación utilizado:



**Fig. 38.-** Porcentajes de filtraciones según material de obturación utilizado.

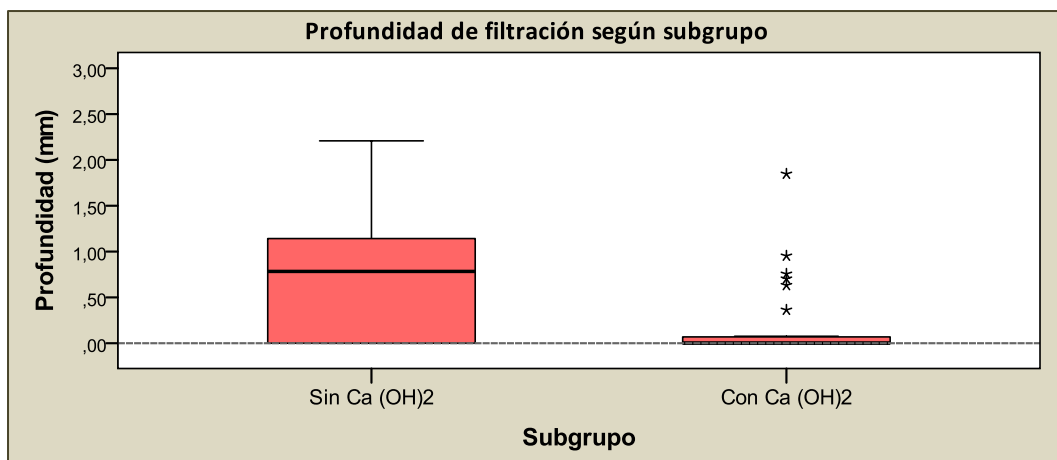
Cemento	No filtró		Filtró	
Ángelus	21	55,3%	17	44,7%
CPM	17	44,7%	21	55,3%
Total	38	50,0%	38	50,0%
Chi cuadrado: valor=0,674; Exacto de Fisher: $p=0,486$ ; $p>0,05$				

**Tabla 8.-** Filtración según cemento. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de chi cuadrado.



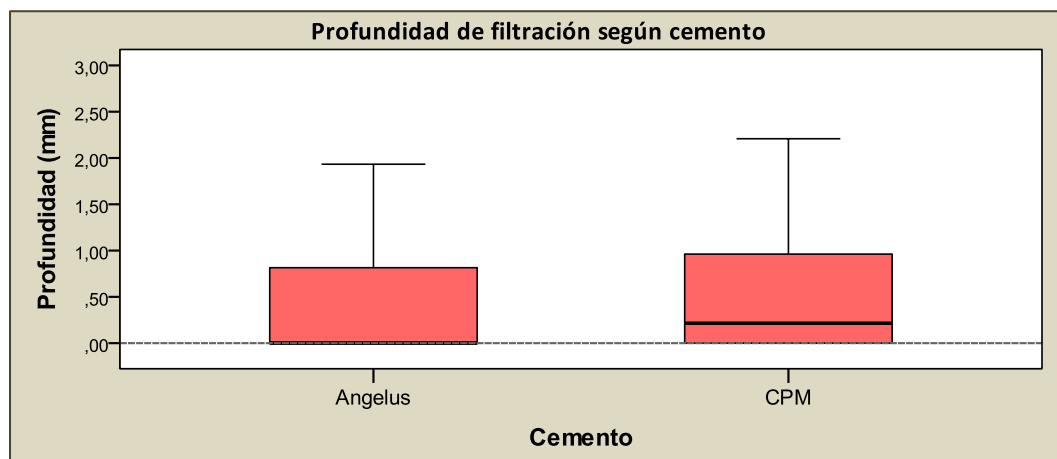


los dos grupos con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  registraron valores de tendencia central (mediana) inferiores que los grupos sin  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



**Fig. 40.-** Profundidad de filtración según agregado de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

En la figura 40 se manifiesta claramente la diferencia de profundidad de filtración en relación a la utilización o no de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , con excepción de algunos valores atípicos, el resto de las mediciones dentro del grupo con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  se mantuvo dentro de un rango reducido menor a 0,5mm, en contraste con el grupo sin pasta que registró valores más dispersos dentro de un rango mayor.



**Fig. 41.-** Profundidad de filtración según material.

Las diferencias en las distribuciones de valores de profundidad de filtración entre ambos cementos fueron escasas, con valores algo mayores dentro del grupo CPM-Egeo.

### Contraste estadístico

Para determinar el grado de influencia que los factores cemento y utilización de hidróxido de calcio tienen sobre los valores de profundidad de filtración se llevó a cabo el siguiente análisis lineal univariante (ANOVA) de dos vías o factores:

Origen	SC tipo III	gl	MC	F	Sig.
Subgrupo	13,69	1	13,69	8,336	<i>0,005</i>
Cemento	0,08	1	0,08	0,050	<i>0,823</i>
Subgrupo * Cemento	0,09	1	0,09	0,054	<i>0,816</i>
Error	113,31	69	1,64		

R cuadrado = 0,110 (R cuadrado corregida = 0,071)

**Tabla 10.-** De izquierda a derecha: Origen o fuente de los efectos; Suma de cuadrados tipo III; Grados de libertad (gl); Medias cuadráticas (MC); Estadístico F y significatividad estadística.

Las sumas de cuadrados tipo III se calcularon con el fin de descomponer la variabilidad total asociada a la variable evaluada (profundidad de filtración), según los factores Subgrupo y cemento y la interacción entre ellos, que se interpretan como las fuentes de variación de los efectos. A partir de estos valores y de los grados de libertad se calcularon las medias cuadráticas y posteriormente se obtuvieron los valores estadísticos F como el cociente entre las medias cuadráticas de los factores y la media cuadrática del error o residuo (1,64).

El factor subgrupo (uso de hidróxido de calcio), influyó significativamente en los valores de profundidad de filtración ( $F=8,336$ ;  $p=0,005$ ), en tanto que el factor cemento no influyó significativamente en los valores de profundidad de filtración ( $F=0,050$ ;  $p=0,823$ ).

No se verificó interacción entre factores ( $F=0,054$ ;  $p=0,816$ ), aunque el valor medio de profundidad de filtración fue menor en las muestras obturadas con Ángelus con pasta de hidróxido de calcio (Fig. 42).

El determinante  $R^2$ , (0,071 ó 7,1%), indica el grado de ajuste del modelo planteado, siendo el porcentaje restante (92,9%) atribuible al error, el cual engloba a todos los factores no controlados por el modelo experimental.

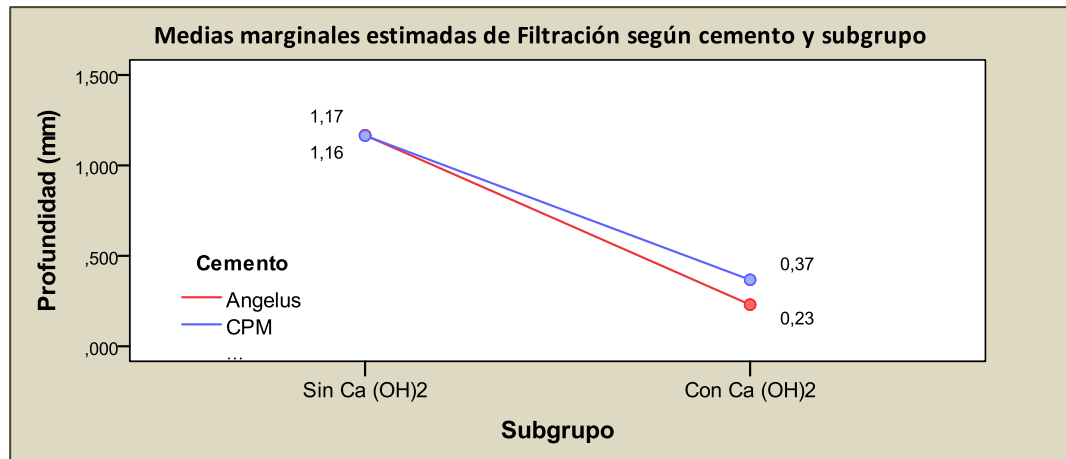


Fig. 42.- Profundidad de filtración según cemento y subgrupo.

## ESTUDIO 2

**Evaluación de la adaptación marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.**

### Estudio 2-A Observación a través del microscopio confocal. Evaluación inmediata

En la figura 43 se muestran los porcentajes de presencia de espacios entre el material y la pared dentinaria en ambos cementos con y sin uso previo de pasta de hidróxido de calcio y en la tabla de contingencia (tabla 11), se expresan los mismos porcentajes y los recuentos de casos.

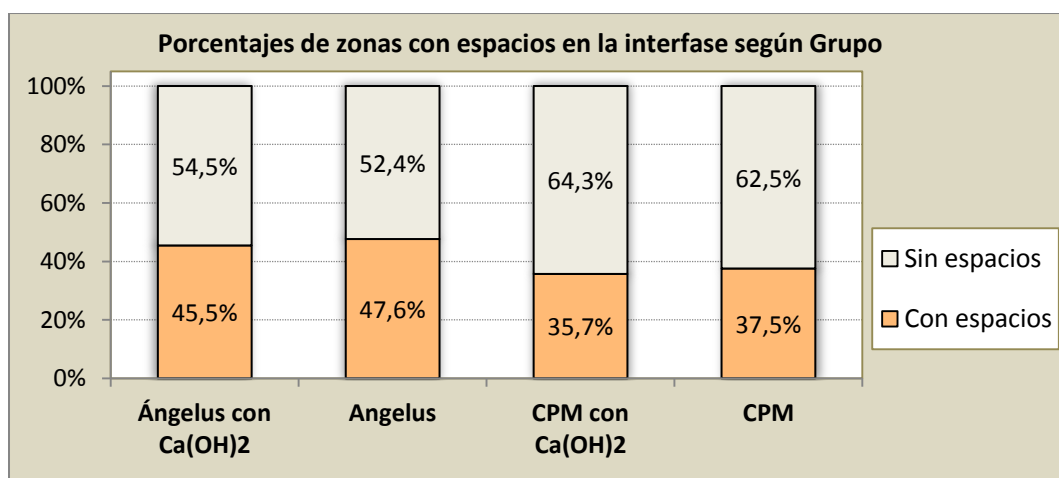


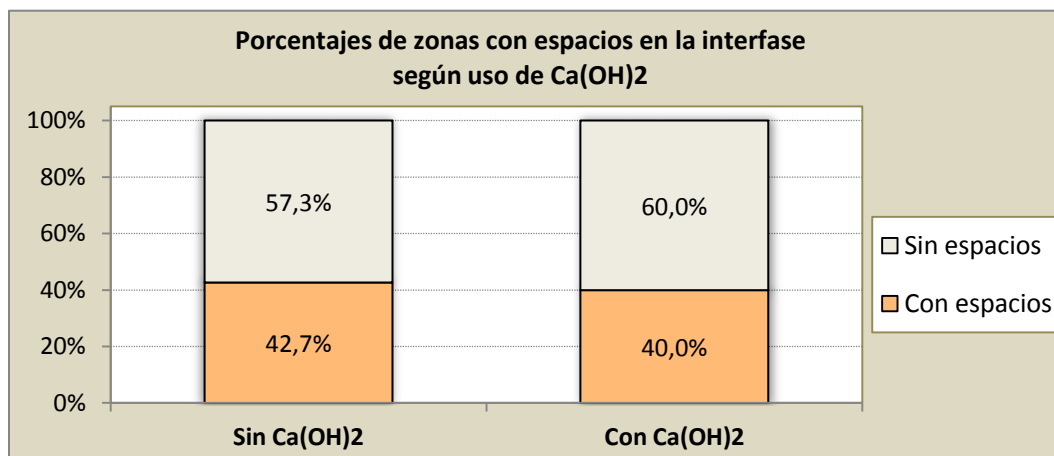
Fig. 43.- Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según grupo.

	Espacios en la pared			
	Sin espacios		Con espacios	
Ángelus con Ca(OH) <sub>2</sub>	18	54,5%	15	45,5%
Ángelus	22	52,4%	20	47,6%
CPM con Ca(OH) <sub>2</sub>	27	64,3%	15	35,7%
CPM	25	62,5%	15	37,5%
Total	92	58,6%	65	41,4%
Chi cuadrado: valor=1,704; (Chi <sup>2</sup> de Pearson) p=0,636; <b>p&gt;0,05</b>				

**Tabla 11.-** Espacios en la pared según subgrupo. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

El material CPM-Egeo presentó menor cantidad de espacios entre la pared dentinaria y el material en contraste con MTA-Ángelus, independientemente de la utilización previa de pasta de hidróxido de calcio. Se contrastaron los subgrupos mediante prueba de chi cuadrado, resultando no significativa la diferencia de proporciones entre ellos ( $p>0,05$ ).

#### Evaluación del factor hidróxido de calcio



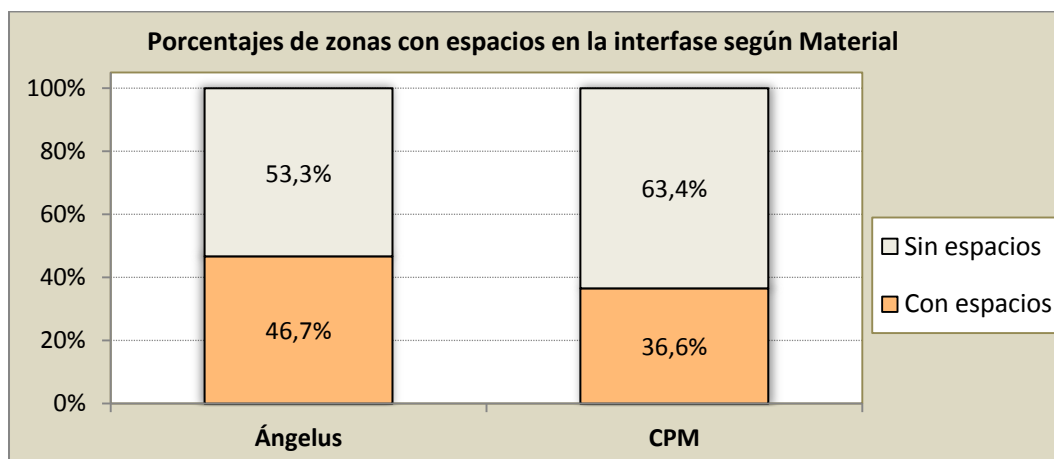
**Fig. 44.-** Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según uso de pasta de hidróxido de calcio.

	Espacios en la pared			
	Sin espacios		Con espacios	
Con Ca(OH) <sub>2</sub>	45	60,0%	30	40,0%
Sin Ca(OH) <sub>2</sub>	47	57,3%	35	42,7%
Total	92	58,6%	65	41,4%
Chi cuadrado: valor=0,116; (Exacto de Fisher) p=0,748; <b>p&gt;0,05</b>				

**Tabla 12.-** Espacios en la pared según uso de pasta de hidróxido de calcio. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

Se contrastaron los subgrupos (con y sin hidróxido de calcio), mediante prueba de chi cuadrado, resultando no significativa la diferencia de proporciones entre ellos ( $p>0,05$ ).

### Evaluación del factor material



**Fig. 45.-** Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según material.

	Espacios en la pared			
	Sin espacios		Con espacios	
Ángelus	40	53,3%	35	46,7%
CPM	52	63,4%	30	36,6%
Total	92	58,6%	65	41,4%
Chi cuadrado: valor=1,641; (Exacto de Fisher) p=0,256; <b>p&gt;0,05</b>				

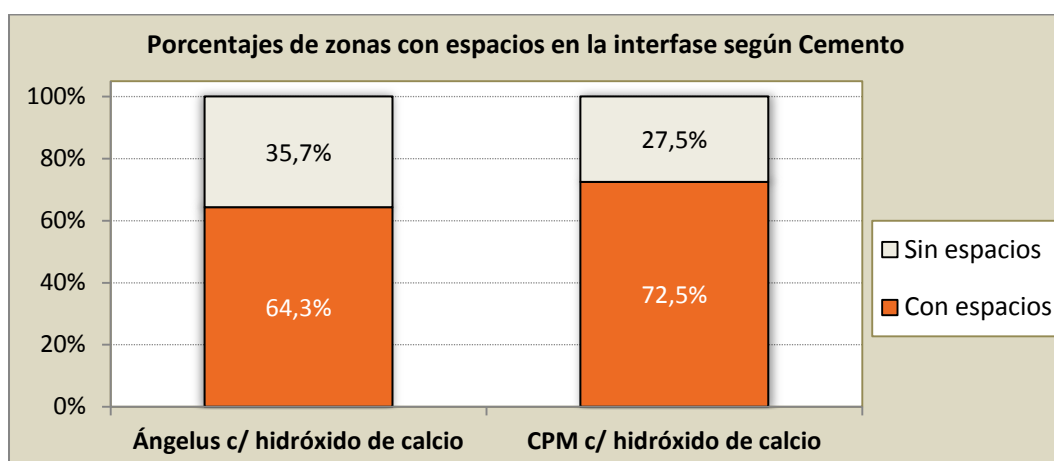
**Tabla 13.-** Espacios en la pared según material. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

Se contrastaron los porcentajes de presencia de espacios hallados entre la pared dentinaria y el material entre ambos materiales (Ángelus y CPM) mediante prueba de chi cuadrado, resultando no significativa la diferencia de proporciones entre ellos

( $p>0,05$ ), aunque tal como se mencionó anteriormente, la presencia de espacios fue menor en el material CPM (10% menos que Ángelus).

### Estudio 2-B Observación a través del microscopio confocal. Evaluación mediata

En la figura 46 se muestran los porcentajes de zonas evaluadas en las cuales se observaron presencia de espacios entre el material y la pared dentinaria, en cementos con obturación previa de pasta de hidróxido de calcio y en la tabla de contingencia (tabla 14), se expresan los mismos porcentajes y los recuentos de casos.



**Fig. 46.-** Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según cemento.

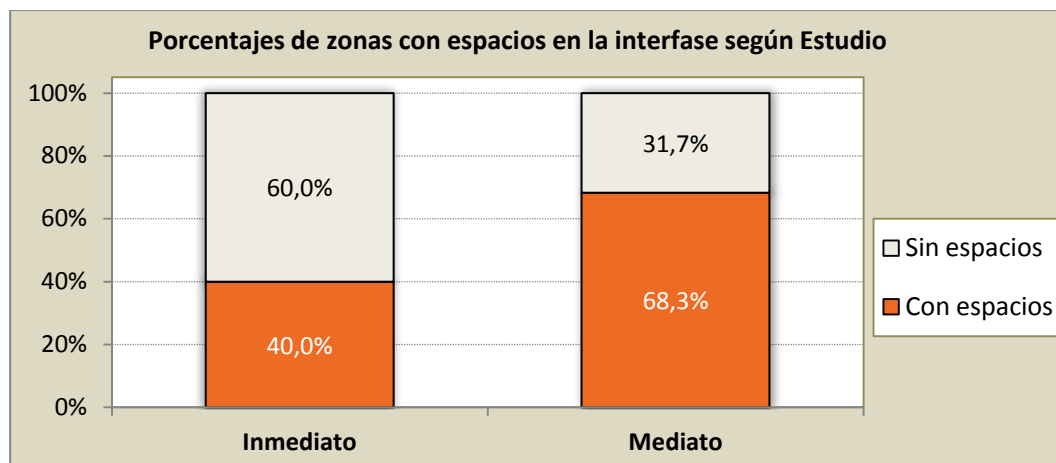
	Espacios en la pared			
	Sin espacios		Con espacios	
Ángelus c/ hidróxido de calcio	15	35,7%	27	64,3%
CPM c/ hidróxido de calcio	11	27,5%	29	72,5%
Total	26	31,7%	56	68,3%
Chi cuadrado: valor=0,638; (Exacto de Fisher) $p=0,482$ ; <b><math>p&gt;0,05</math></b>				

**Tabla 14.-** Espacios en la interfaz según cemento. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

Se contrastaron los porcentajes de muestras con espacios en la interfaz de ambos cementos, mediante prueba de chi cuadrado, resultando no significativa la diferencia de proporciones entre ellos ( $p>0,05$ ).

### Estudio 2-C Comparación entre estudios inmediato y mediato.

En este estudio se contrastaron los porcentajes de espacios en la interfaz de la pared dentinaria y el cemento de los estudios inmediato y mediato considerando los grupos que utilizaron pasta de hidróxido de calcio (Grupos A y C del estudio 2A y los grupos E y F del estudio 2B).



**Fig. 47.-** Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según estudio.

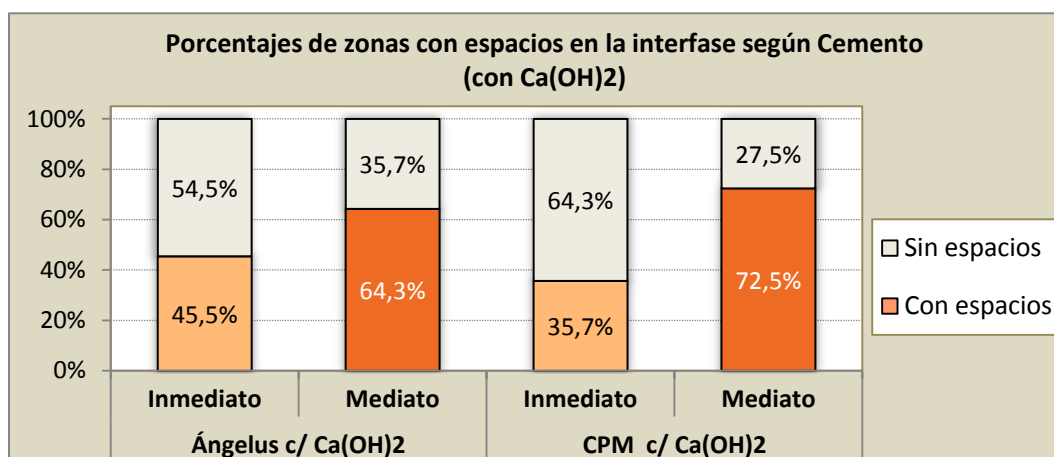
Estudio	Espacios en la pared			
	Sin espacios		Con espacios	
Inmediato	45	60,0%	30	40,0%
Mediato	26	31,7%	56	68,3%
Total	71	45,2%	86	54,8%
Chi cuadrado: valor=12,658; (Exacto de Fisher) p=0,0004; <b>p&lt;0,05</b>				

**Tabla 15.-** Espacios en la interfaz según estudio. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

Se contrastaron los resultados de ambos estudios (inmediato y mediato) mediante prueba de chi cuadrado resultando significativamente mayor la frecuencia de espacios en la interfaz pared-cemento en el estudio mediato respecto al inmediato ( $p<0,05$ ).

Posteriormente se evaluaron las diferencias entre los estudios en cada uno de los cementos, mediante prueba de chi cuadrado resultando significativamente mayor la frecuencia de espacios en la interfaz pared-cemento sólo al considerar el cemento CPM-Egeo ( $p<0,05$ ), no así al considerar el cemento MTA- Ángelus ( $p>0,05$ ) (tablas 16 y 17).





**Fig. 48.-** Porcentajes de zonas con presencia de espacios en la interfaz cemento/pared dentinaria según cemento y estudio.

Cemento	Estudio	Espacios en la pared			
		Sin espacios		Con espacios	
Ángelus c/ Ca(OH) <sub>2</sub>	Inmediato	18	54,5%	15	45,5%
	Mediato	15	35,7%	27	64,3%
Total		33	44,0%	42	56,0%
Chi cuadrado: valor=2,660; (Exacto de Fisher) p=0,159; <b>p&gt;0,05</b>					

**Tabla 16.-** Espacios en la interfaz según estudio en cemento Ángelus con Ca(OH)<sub>2</sub>. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

Cemento	Estudio	Espacios en la pared			
		Sin espacios		Con espacios	
CPM c/ Ca(OH) <sub>2</sub>	Inmediato	27	64,3%	15	35,7%
	Mediato	11	27,5%	29	72,5%
Total		38	46,3%	44	53,7%
Chi cuadrado: valor=11,149; (Exacto de Fisher) p=0,001; <b>p&lt;0,05</b>					

**Tabla 17.-** Espacios en la interfaz según estudio en cemento CPM con Ca(OH)<sub>2</sub>. Porcentaje y recuento de casos. Contraste de Chi cuadrado.

### ESTUDIO 3

#### Evaluación de la resistencia al desplazamiento de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

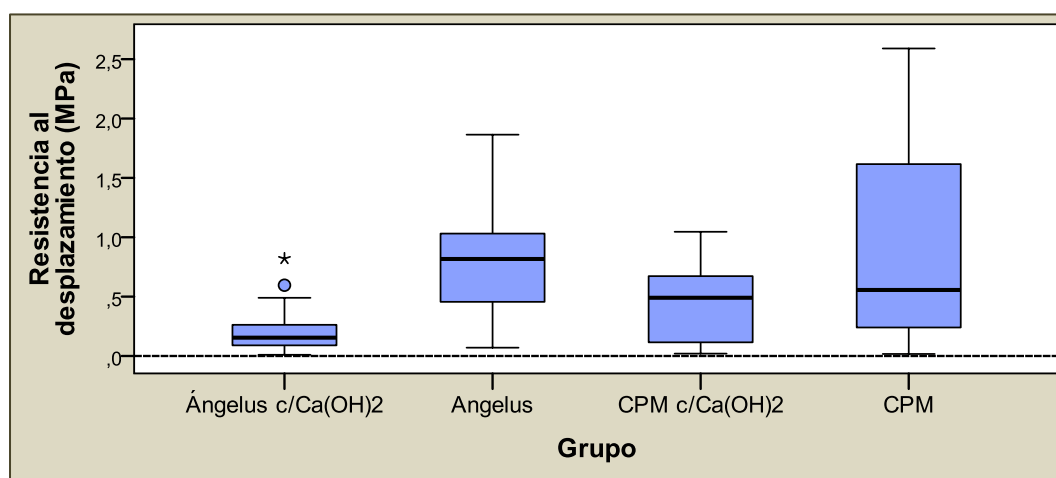
En este estudio se midió la fuerza necesaria para desalojar al material de la cavidad. Cada muestra se sometió a fuerzas perpendiculares. Se tuvieron en cuenta los siguientes factores y covariables\*:

- Cemento (MTA-Ángelus; CPM-Egeo)
- Con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio
- Conicidad de la muestra\*
- Espesor de la muestra\*
- Perímetro medio\*

#### Resúmenes de casos. Resistencia (MPa)

Grupo	n	Media	DE	Mediana	Rango
Ángelus con Ca(OH) <sub>2</sub>	23	<b>0,213</b>	0,198	<b>0,155</b>	0,810
Ángelus	17	<b>0,841</b>	0,566	<b>0,819</b>	1,794
CPM con Ca (OH) <sub>2</sub>	20	<b>0,439</b>	0,324	<b>0,492</b>	1,026
CPM	17	<b>0,832</b>	0,846	<b>0,558</b>	2,573
Total	77	<b>0,547</b>	0,575	<b>0,373</b>	2,580

**Tabla 18.-** Resistencia al desplazamiento según grupo: Recuento de casos (n); Media (MPa); Desviación estándar (DE); Mediana y Rango de valores.



**Fig. 49.-** Resistencia al desplazamiento según grupo.

En la figura 49 se muestran las distribuciones de valores de resistencia al desplazamiento según grupo. En la tabla 18 se evidencia que las obturaciones con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con obturación previa de pasta de hidróxido de calcio registraron valores de resistencia muy inferiores con respecto a aquellos obturados sólo con cemento.

### Contraste estadístico

Para determinar si los diversos factores: espesor del corte; superficie lateral de conducto; conicidad, material e hidróxido de calcio influían en los valores de resistencia registrados, se llevó a cabo un análisis multifactorial (ANOVA).

Variable dependiente: Resistencia al desplazamiento (MPa)

Fuente u origen de los efectos	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación (p-valor)
Cemento	0,15	1	0,15	0,55	0,460
Ca(OH) <sub>2</sub>	5,02	1	5,02	18,39	0,00006
Cemento * Ca(OH) <sub>2</sub>	0,29	1	0,29	1,07	0,304
Conicidad	0,15	1	0,15	0,54	0,465
Espesor	0,21	1	0,21	0,78	0,382
Perímetro medio	0,06	1	0,06	0,21	0,645
Error	19,12	70	0,27		
R cuadrado = 0,238 (R cuadrado corregida = 0,173)					

**Tabla 19.-** De izquierda a derecha: Origen o fuente de los efectos; Suma de cuadrados tipo III; Grados de libertad (gl); Medias cuadráticas (MC); Estadístico F y significatividad estadística.

Las sumas de cuadrados tipo III se calcularon con el fin de descomponer la variabilidad total asociada a la variable evaluada (resistencia al desplazamiento), según los diversos factores evaluados: uso de hidróxido de calcio; cemento; espesor; conicidad y perímetro y también la interacción entre los dos factores más relevantes de este estudio (cemento e hidróxido de calcio), que se interpretan como las fuentes de variación de los efectos. A partir de estos valores y de los grados de libertad se calcularon las medias cuadráticas y posteriormente se obtuvieron los valores estadísticos F como el cociente entre las medias cuadráticas de los factores y la media cuadrática del error o residuo (0,27).

El factor “cemento” no influyó significativamente en los valores de resistencia al desplazamiento (F=0,55; p=0,460), en tanto que el factor “hidróxido de calcio” sí influyó significativamente sobre el parámetro evaluado (F=18,39; p<0,001). (Fig. 50 y 51).

No se verificó interacción entre factores ( $F=1,07$ ;  $p=0,304$ ), aunque el valor medio de desplazamiento fue menor en las muestras obturadas con Ángelus con pasta de hidróxido de calcio (Fig. 52).

Respecto a las tres covariables introducidas en el modelo (conicidad, espesor de muestra y perímetro medio), en ningún caso resultó significativa la influencia respecto a los valores de resistencia ( $p>0,05$ ).

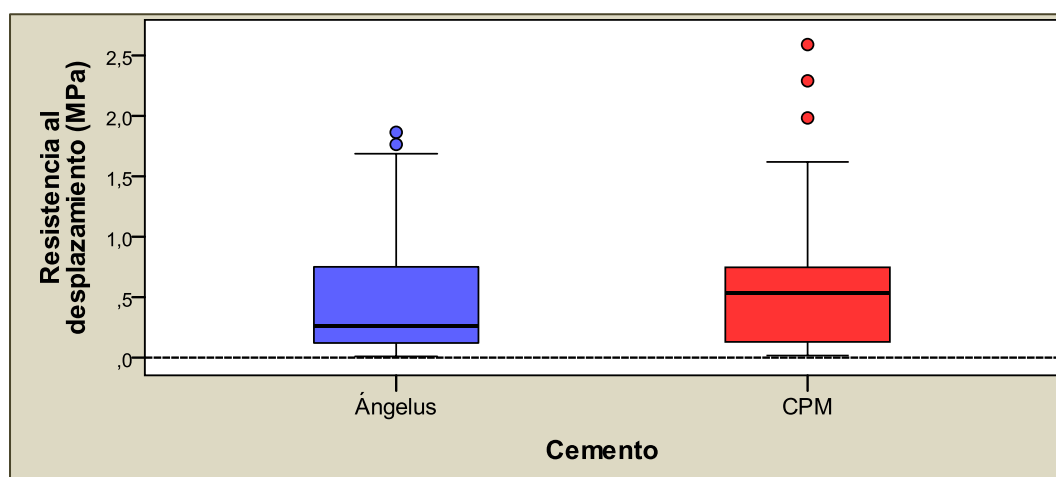
El determinante  $R^2$ , (0,173 ó 17,3%), indica el grado de ajuste del modelo planteado, siendo el porcentaje restante (82,7%) atribuible al error o residuo, el cual engloba a todos los factores no controlados por el modelo experimental.

A continuación se analizó en detalle cada factor y covariable del modelo.

- **Resistencia al desplazamiento según cemento**

Cemento	n	Media	DE	Mediana	RQI	Rango
Ángelus	40	0,480	0,503	0,263	0,664	1,854
CPM	37	0,619	0,643	0,533	0,641	2,573

**Tabla 20.-** Resistencia al desplazamiento según cemento: Recuento de casos (n); Media (MPa); Desviación estándar (DE); Mediana; Rango intercuartílico (RIQ) y Rango general.

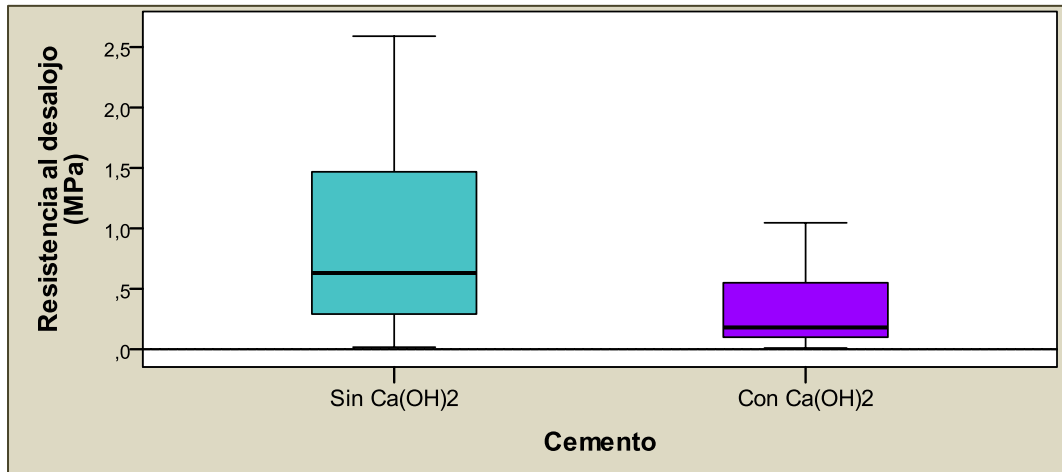


**Fig. 50.-** Resistencia al desplazamiento según cemento.

• Resistencia al desplazamiento según uso de hidróxido de calcio

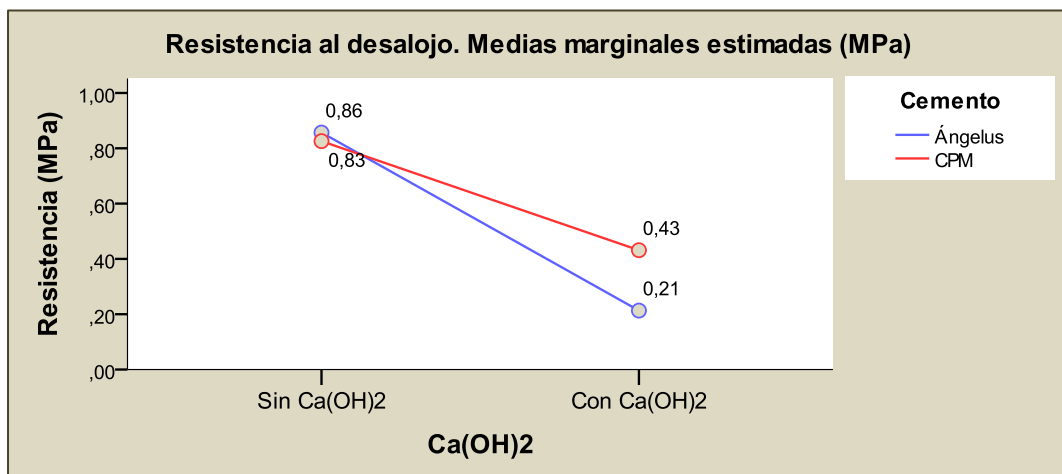
Ca(OH) <sub>2</sub>	n	Media	DE	Mediana	RQI	Rango
Sin Ca(OH) <sub>2</sub>	34	0,837	0,708697	<b>0,630</b>	<b>1,227</b>	2,573
Con Ca(OH) <sub>2</sub>	43	0,318	0,284912	<b>0,180</b>	<b>0,468</b>	1,036

**Tabla 21.-** Resistencia al desplazamiento según uso de Ca(OH)<sub>2</sub>: Recuento de casos (n); Media (MPa); Desviación estándar (DE); Mediana; Rango intercuartílico (RIQ) y Rango general.



**Fig. 51.-** Resistencia al desplazamiento según uso de hidróxido de calcio.

• Resistencia al desplazamiento según cemento y uso de hidróxido de calcio (interacción entre factores)



**Fig. 52.-** Resistencia al desplazamiento según cemento y uso de Ca(OH)<sub>2</sub>. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los siguiente valores: Espesor (mm)=1,855, Perímetro medio (mm)=7,535, Conicidad=0,230.

• **Correlación: Resistencia al desplazamiento (MPa) vs Conicidad**

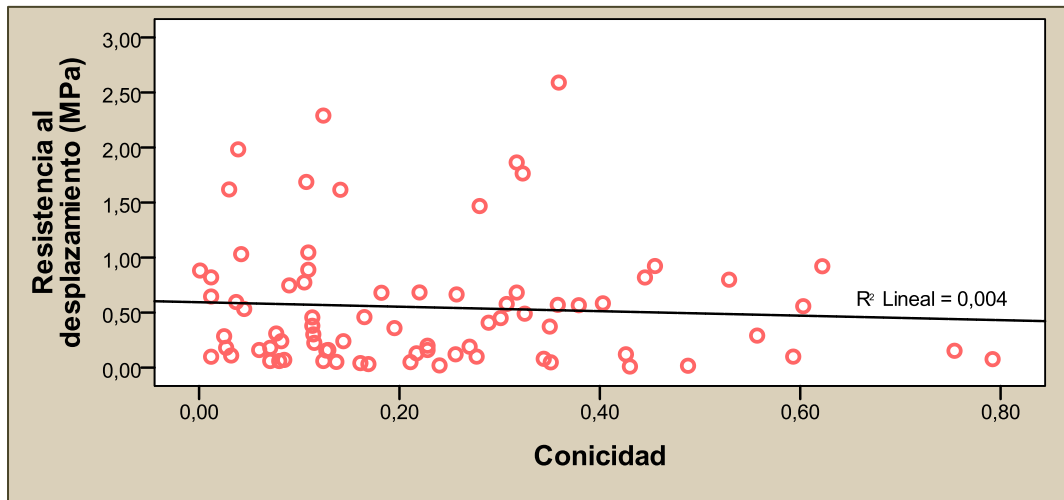


Fig. 53.- Correlación entre la resistencia al desplazamiento y la conicidad.

Correlación entre variables	n	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral) (p-valor)
Resistencia al desplazamiento vs Conicidad	77	-0,064	0,577

Tabla 22.- Correlación entre resistencia al desplazamiento y la conicidad. Recuento de casos (n); Valor estadístico de correlación (Corr. de Pearson) y significación estadística (p-valor).

Pese a observarse cierta tendencia a disminuir la resistencia a medida que se incrementa la conicidad, no es significativa la correlación entre estas variables ( $p > 0,05$ ). El grado de inclinación de la línea de ajuste (línea discontinua negra), representa la correlación entre variables, la tendencia hacia abajo, se expresa como un valor negativo en el estadístico de Pearson (-0,064), aunque no significativo.

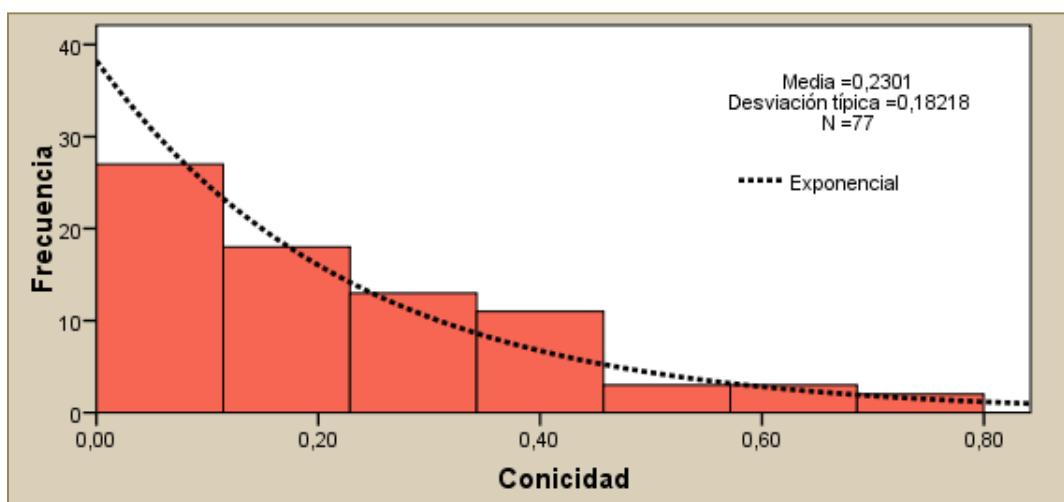


Fig. 54.- Histograma de distribución de valores de conicidad.

La mayoría de los casos tenían una conicidad leve o moderada (0 a 0,3), y la frecuencia fue decreciendo asintóticamente según el grado de conicidad (curva exponencial discontinua), como puede observarse en el histograma de distribución de datos del gráfico anterior.

• **Correlación: Resistencia al desplazamiento (MPa) vs Espesor de la muestra**

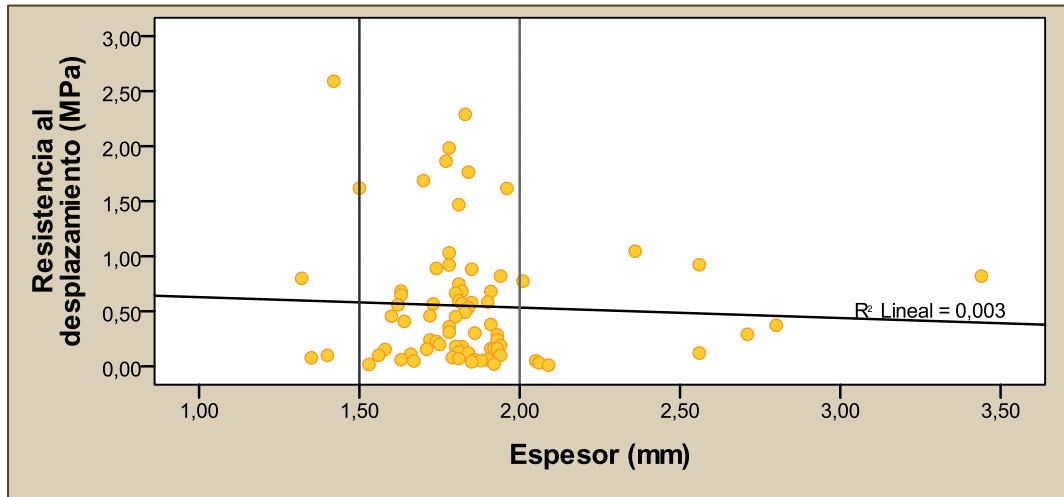


Fig. 55.- Correlación entre la resistencia al desplazamiento y el espesor de la muestra.

Correlación entre variables	n	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral) (p-valor)
Resistencia al desplazamiento vs Espesor	77	-0,052	0,654

Tabla 23.- Correlación entre resistencia al desplazamiento y el espesor. Recuento de casos (n); Valor estadístico de correlación (Corr. de Pearson) y significación estadística (p-valor).

No se observa correlación significativa entre las variables Espesor y Resistencia al desplazamiento ( $p > 0,05$ ).

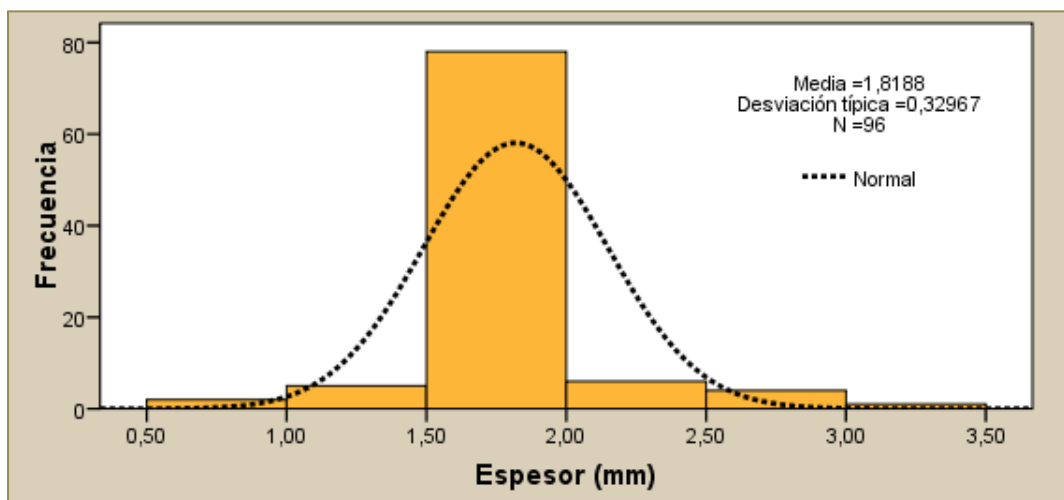
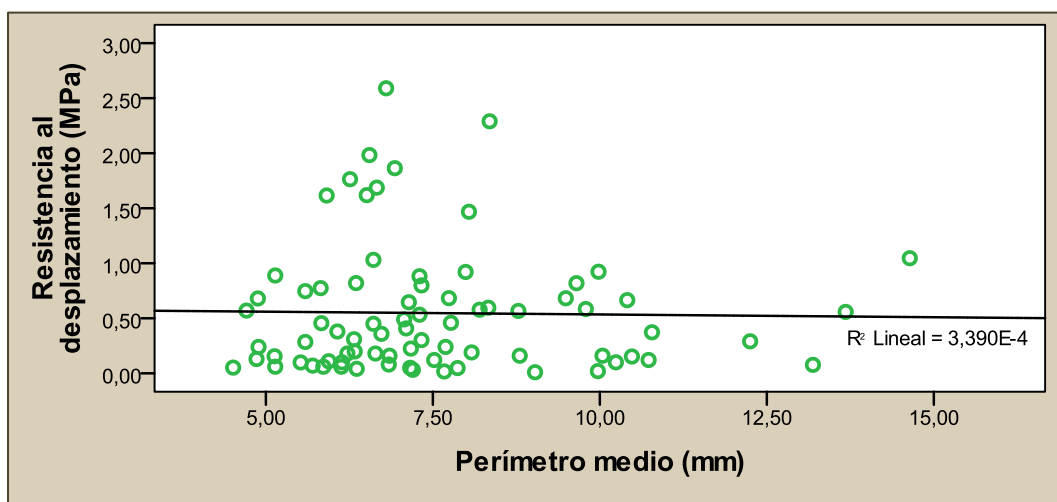


Fig. 56.- Histograma de distribución de valores de espesor de muestra.

En el 85% de los casos, el espesor de las muestras estaba dentro del rango de 1,5mm a 2mm, el resto de las muestras que estaban fuera de este rango, se incluyeron igualmente en el análisis, dado que el valor de espesor registrado en cada caso, es introducido indirectamente en el cálculo de resistencia ya que se utiliza para la obtención de la superficie lateral, la cual, como ya se mencionó, determina conjuntamente con la fuerza aplicada, el valor de resistencia al desplazamiento.(Fig. 56).

- **Correlación: Resistencia al desplazamiento (MPa) vs Perímetro medio**



**Fig. 57.-** Correlación entre la resistencia al desplazamiento y el perímetro medio.

Correlación entre variables	n	Correlación de Pearson	Sig. (bilateral) (p-valor)
Resistencia al desplazamiento vs Perímetro	77	-0,018	0,874

**Tabla 24.-** Correlación entre resistencia al desplazamiento y el perímetro medio. Recuento de casos (n); Valor estadístico de correlación (Corr. de Pearson) y significación estadística (p-valor).

No se observa correlación significativa entre las variables Perímetro medio y Resistencia al desplazamiento ( $p > 0,05$ ).

El perímetro medio de todas las muestras del ensayo fue de 7,39 mm, con una desviación estándar igual a 2mm, los tamaños mayores a 12mm fueron excepcionales (sólo 4 casos), dos de los cuales, mostraron separación entre el bloque cementicio y el conducto, pero los valores de resistencia estuvieron dentro del rango general, y como quedó demostrada la inexistente correlación entre las variables, sólo puede explicarse como un defecto superficial o de mínima influencia (Fig. 57).



## Cuadro integrador de resultados

ESTUDIO		FACTORES (valor y significación)					
Estudio 1 Microfiltración	Porcentajes	Material	%	Sig.	Ca(OH) <sub>2</sub>	%	Sig.
		Ángelus	44,7%	0,486	Con	28,9%	0,0002
		CPM	55,3%		Sin	71,1%	
	Profundidad	Material	Prof.(mm)	Sig.	Ca(OH) <sub>2</sub>	Prof.(mm)	Sig.
		Ángelus	0,70	0,823	Con	0,30	0,005
		CPM	0,77		Sin	1,17	
Estudio 2 Espacios en Interfase	2-A: Estudio Inmediato	Material	%	Sig.	Ca(OH) <sub>2</sub>	%	Sig.
		Ángelus	46,7%	0,256	Con	40,0%	0,748
		CPM	36,6%		Sin	42,7%	
	2-B: Estudio Mediato	Material	%	Sig.			
		Ángelus c/Ca(OH) <sub>2</sub>	64,7%	0,482			
		CPM c/Ca(OH) <sub>2</sub>	72,5%				
	2-C: Contrste Inmediato vs Mediato	Estudio	%	Sig.			
		Inmediato	40,0%	0,0004			
		Mediato	68,3%				
Estudio 3 Resistencia al desplazamiento	Material	Res (MPa)	Sig.	Ca(OH) <sub>2</sub>	Res (MPa)	Sig.	
	Ángelus	0,480	0,460	Con	0,180	0,00006	
	CPM	0,619		Sin	0,630		

Tabla 25.- Cuadro integrador de resultados

# DISCUSIÓN

Los dientes permanentes jóvenes, también denominados dientes con ápices inmaduros son aquéllos que aún no han completado la formación de sus raíces. *Erdogan G. (1997) y Fucks AB. (2000)*, describen a los dientes con ápices inmaduros como piezas dentarias con paredes delgadas, con mala relación corono-radicular y amplio foramen apical, mayor que el existente en los dientes maduros.

*Andreasen JO et al. (2002)* agregan que la delgadez de las paredes del conducto radicular puede predisponer a la fractura de la raíz, conceptos ampliamente difundidos y aceptados por los autores. *Walton RE et al. (2002)* afirman además que los dientes inmaduros con ápices abiertos y anchos, dificultan el sellado apical.

Dado que estas piezas dentarias erupcionan a temprana edad, son las más propensas a sufrir golpes o accidentes durante la práctica de deportes o juegos bruscos. *Andreasen JO et al. (2007)* expresan que el 20-30% de los niños de 12 años, en todo el mundo, sufren un trauma dental que puede ocasionar daños en el desarrollo de la dentición.

*Barnett F (2002) y Avery JK et al. (2006)*, aportan que cuando una lesión daña la vaina de Hertwig o causa la pérdida de vitalidad de la pulpa, el desarrollo de las raíces puede ser detenido.

Existe consenso en la mayoría de los autores, con lo expresado por *Holland GR et al. (2009)* respecto a que el daño pulpar como consecuencia de traumatismos o caries en dientes inmaduros puede conducir a la pérdida de la vitalidad y a la detención del desarrollo radicular, dando como resultado raíces cortas con paredes muy delgadas que aumenta el riesgo de fractura.

Completando estas afirmaciones, con las que concordamos, *Gani O (1997)* afirma que ante estas situaciones clínicas, la forma del conducto y sus dimensiones, dificultan los procedimientos endodónticos convencionales, debido a que el foramen abierto no proporciona una barrera anatómica capaz de contener el material de obturación.

Cuando estos dientes pierden la vitalidad pulpar, por sus características particulares ya mencionadas, requieren de tratamientos específicos. Uno de ellos es la apexificación, definida por la Asociación Americana de Endodoncia como "*un método para inducir la formación de una barrera calcificada en una raíz con ápice abierto o el desarrollo apical continuado de una raíz incompletamente formada en dientes con pulpa no vital*".

Uno de los objetivos del procedimiento de apexificación es establecer un tope apical en el conducto radicular para que pueda ser obturado con éxito.

Durante años, el hidróxido de calcio ha sido considerado el material de elección para este tratamiento.

La bibliografía consultada muestra los resultados exitosos de *Granath LE (1959)* que fue el primero en describir para el cierre apical el uso del hidróxido de calcio con para-mono-clorofenol-alcanforado (CMCP) como vehículo, que por inducción sobre los tejidos apicales forma una barrera calcificada en el ápice. Otros investigadores utilizaron diferentes vehículos con el objeto de disminuir la toxicidad del PMCA como, *Citrome GP et al. (1979)* que utilizó solución salina, *Michanowicz J et al. (1967)* agua estéril y *Binnie WH et al. (1973)*, agua destilada.

Concordamos, con los autores (*Heling I et al. 1999; Metzger Z et al. 2001 y Steinig TH et al. 2003*) en que la terapia de apexificación con hidróxido de calcio, tiene desventajas como la reabsorción gradual de la pasta que deja espacios vacíos, la imprevisibilidad del cierre apical y la variabilidad del tiempo del tratamiento, entre otras.

El tiempo que requiere esta terapéutica es una de las principales desventajas como lo expresan, *Witherspoon DE et al. (2001)* que observaron formaciones de barreras apicales entre los 12 y 18 meses, con riesgo de pérdida de la pieza dentaria por incumplimiento por parte del paciente de concurrir a los controles.

Al respecto, consideramos adecuada la advertencia de *Andreasen JO et al. (2002)* sobre la existencia de un elevado riesgo de fractura de la raíz en los dientes con apósitos de hidróxido de calcio a largo plazo. En sus numerosos estudios, demostraron que los dientes con obturaciones con pasta de hidróxido de calcio en un período de 12 meses, requieren el 50% menos de fuerza para fracturarse.

Otra situación de riesgo que debe contemplarse cuando se usa pasta de hidróxido de calcio y coincide con lo expresado por *Andreasen JO et al. (2006)*, es que el tratamiento requiere de varias sesiones, durante las cuales se reemplaza la pasta cuando se manifiestan espacios vacíos, producto de la reabsorción de la misma, período en el que la pieza dentaria sólo permanece protegida con una obturación coronaria provisoria que expone a los dientes a la contaminación bacteriana.

En consonancia con las observaciones de los numerosos autores mencionados, sostenemos que esta terapéutica a pesar de sus éxitos, presenta perjuicios claros y demostrados para el tratamiento de los dientes permanentes jóvenes afectados.

La aceptación difundida de las desventajas de la apexificación con pasta de hidróxido de calcio, impulsó la búsqueda de nuevas técnicas y materiales que promuevan el cierre apical en dientes con ápices inmaduros en menor tiempo y con los mismos resultados clínicos.

Lee et al. (1993) presentaron el MTA (compuesto de trióxido mineral) como un material apto para ser utilizado en distintas situaciones clínicas, entre ellas para el tratamiento de dientes con ápices inmaduros y pulpa no vital.

Lee et al. (1993) y Torabinejad M et al. (1995) demostraron que el tratamiento de las lesiones de la pulpa no vital en dientes con ápices incompletamente formados utilizando MTA, solo requiere de una o dos sesiones operatorias, a diferencia del tratamiento de apexificación con pasta de hidróxido de calcio. El procedimiento propuesto por Torabinejad M et al. (1994), se inicia con la limpieza y desinfección del conducto radicular, obturación con pasta de hidróxido de calcio durante una semana para luego, obturar el extremo apical con MTA que actúa como un tope artificial que sella el foramen abierto, para finalizar en una segunda sesión con la obturación definitiva del conducto con gutapercha y sellador endodóntico. De esta manera, en el periápice, se crea un medio apto para el depósito de osteocemento que cierre biológicamente el foramen.

En este trabajo se utilizaron dos compuestos de trióxido mineral, MTA-Ángelus y CPM-Egeo, con características físicas y químicas similares al Pro-Root MTA. Se evaluaron las obturaciones a nivel apical en dientes con ápices inmaduros, creados artificialmente.

Los materiales se evaluaron en cuanto al grado de microfiltración apical, la presencia de espacios vacíos entre la pared dentinaria y el material en un estudio inmediato y mediato y por último, la fuerza necesaria para desplazar al material de la cavidad dentinaria. En los tres estudios se valoró la idoneidad del material, con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

La metodología definida para realizar estos estudios imita a la propuesta por Torabinejad M et al. (1993), autor que al igual que Bidar M et al. (2011) consideran necesario el uso de pasta de hidróxido de calcio durante una semana, previa a la obturación con MTA, como medicación intracanal para reducir las bacterias de los conductos radiculares que pudieran haber quedado luego de la limpieza y desinfección y aumentar así, el éxito del tratamiento. Conceptos con los que concuerdan Siqueira JF Jr et al. (2003), Zehnder M et al. (2003) y Lima RK et al. (2012) que en sus estudios observaron que fue capaz de reducir significativamente las unidades formadoras de colonias (UFC) neutralizando los cultivos de *Candida albicans* y *Enterococcus faecalis*.

Para llevar a cabo los tres estudios se utilizaron 124 dientes humanos incisivos centrales superiores. Para un estudio similar Hachmeister DM et al. (2002) utilizaron premolares inferiores, Orosco F et al. (2009) incisivos centrales y laterales superiores. Otros autores como Torabinejad M et al. (1993), Stefopoulos S et al. (2008) y Gancedo

*Caravia E et al. (2005)*, mencionan que utilizaron raíces de dientes humanos unicanaliculares sin aclarar a que piezas dentarias correspondían. En nuestro estudio seleccionamos piezas dentarias con conductos de sección transversal más o menos circular, para eliminar variables anatómicas que pudieran influir en la adaptación del material y aunque luego se tallaran para simular un conducto inmaduro, su forma se mantendría circular.

Coincidiendo con la mayoría de los autores como *Giuliani V et al. (2002)*, *Lolayekar N et al. (2009)* y *Torabinejad M et al. (1993)* se prepararon los conductos con fresas Gates Glidden y fresa troncocónica de tal manera que simule un diente con ápice inmaduro, que imita el modelo experimental propuesto por *Hachmeister DM (2002)*.

En el Estudio 1, se evaluó la microfiltración marginal de la obturación apical con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

Los grupos obturados con pasta de hidróxido de calcio durante una semana fueron sometidos a una profusa irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5% con el objeto de eliminar la pasta. Con similares objetivos, *Giuliani V et al. (2002)* y *Hachmeister DR et al. (2002)* utilizaron la misma solución pero en una concentración mayor (5%) y *Orosco F. et al (2008)* con una concentración menor (1%) utilizando luego como complemento edtac al 17%.

Nosotros consideramos que una concentración de la solución al 2,5% es efectiva si el tiempo de exposición del líquido sobre los tejidos es como mínimo de 60" como demostró *Estrella C et al (2002)*, y no utilizamos edtac porque quisimos reproducir la misma secuencia de irrigación que utilizaríamos en una situación clínica, en la que se evita esta solución dado que el diente presenta el ápice abierto y podría dañar los tejidos ápico-periapicales.

Las muestras se insertaron en una esponja "oasis" impregnada con solución fisiológica que simula al tejido periodontal, imitando el procedimiento que utilizan *Torabinejad M et al (1993)*, *Hachmeister DR et al. (2002)*, *Al-Kahtani A et al. (2005)* y *Martín R et al. (2007)*. La esponja cumple una doble función: la sujeción de la muestra y la contención del material dentro del conducto y evitar la extrusión del mismo más allá del forámen. Además, reproduce la situación de humedad presente en los procedimientos clínicos de sellado de perforaciones y en la obturación del extremo apical. Al mismo tiempo, mantiene húmedo al MTA para favorecer el proceso de fraguado, ya que según *Torabinejad M et al. (1993; 1995c)* es un activador necesario de la reacción química para que frague y a la vez incrementa las propiedades físicas propias del material.

No obstante, *Sluyk SR et al. (1998)* no observaron diferencias estadísticamente significativas en la adaptación del MTA en las pruebas que realizaron con algodón seco y húmedo.

Para la obturación con MTA utilizamos limas tipo "K". Se cargó el material en la lima haciendo girar ésta en sentido horario y luego se depositó en el conducto, girando en sentido antihorario. Posteriormente se condensó suavemente con un cono grueso de papel.

*Hachmeister DR et al. (2002)* lleva el material al conducto con una pistola Messing (instrumento similar a un porta-amalgama) con la parte activa pequeña que permite el ingreso en el conducto para depositar el material, para finalmente condensarlo con conos de papel. En nuestra experiencia probamos esta técnica con resultados regulares, ya que el material es difícil de manipular, se separa, no tiene adhesión. Por ello optamos por la carga manual al igual que *Aminoshariae A et al. (2003)*.

*Orosco F et al. (2008)* describen en su estudio que el material es introducido al conducto con lentulo y *Lawley GR et al. (2004)* con ultrasonido. En nuestra opinión ambas técnicas podrían facilitar la extrusión del material fuera del conducto debido a la ausencia de tope apical. La extrusión del MTA fue una de las causas de fracaso mostrado por *Arzu Pinar E et al. (2008)*.

El espesor de la obturación se fijó entre 4-5mm de acuerdo con las sugerencias de *Al-Kahtani A et al. (2005)*, de *Giuliani V et al. (2002)* y *Lolayekar N et al. (2009)* que en sus estudios comprobaron que este es el menor espesor requerido para evitar la microfiltración. Con un espesor de 3mm, *Martin RL et al (2007)* observaron un sellado razonable que mejoró con el tiempo cuando se expusieron las muestras a fluidos que contienen fosfatos, situación que no puede reproducirse en la clínica

Las muestras obturadas se mantuvieron en estufa a 37°C y 100% de humedad durante 72h., tiempo requerido para asegurar el completo fraguado del MTA-Ángelus y CPM-Egeo como aconsejan *Sluyk SR et al. (1998)*, *Hardy I et al. (2004)* y *DeAngelis L et al. (2013)*.

*Lolayekar N et al. (2009)* las mantuvieron a 37°C durante 4 semanas para mejorar según su opinión la adaptación del material. En nuestro estudio siempre quisimos imitar el procedimiento clínico que destaca sobre todo, la posibilidad de realizar la terapia de apexificación en dos sesiones y que no supere las 72h.

Para acondicionar las muestras para ser incluídas en el colorante se empleó la técnica de *Orosco F et al. (2010)*. Cada muestra se cubre con una capa de cera pegajosa y dos capas de esmalte para uñas dejando libre hasta 1mm. del ápice.

Se sumergieron en colorante fucsina al 0,2% durante 48h.

*Lolayekar N et al. (2009)* usaron azul de metileno y lo mantuvieron a temperatura ambiente.

No utilizamos azul de metileno porque *Wu MK et al. (1998)*, *Moraes IG et al. (2005)* y *Tanomaru Filho et al. (2005)* mostraron que es inestable en presencia de materiales alcalinos como el MTA y según *Matloff IR et al. (1982)* usando como colorante azul de metileno para evidenciar la filtración de un material, los resultados observados duplican a los obtenidos con otros métodos.

Para la observación de la penetración de colorante se realizaron cortes longitudinales con una cortadora metalográfica de precisión ISOMET Buehler low speed (que consta de una sierra circular diamantada de 0,3mm de espesor) a 300rpm con una carga de 50g, obteniendo dos mitades.

Alcanzando los mismos resultados que nosotros, *Orosco F. et al (2010)* realizaron los cortes de las muestras por proximal con disco de carborundum y *Lolayekar N et al. (2009)* con discos de diamante. No obstante, consideramos que el uso de la cortadora ISOMET Buehler es más seguro para el operador, ya que tiene un aditamento que fija la muestra en posición, además como el corte se efectúa a baja velocidad, permite controlar su dirección y realizar correcciones si fuera necesario.

Para analizar la microfiltración, se escanearon ambas mitades de cada muestra enfrentadas apicalmente sobre la superficie del cristal con un escáner gráfico HP G-3110 a una resolución de 1200dpi y 24 bytes de profundidad de color. En este aspecto observamos cierta similitud en la obtención de las imágenes comparando lo realizado por otros autores. *Stefopoulos S et al. (2008)* obtuvieron las imágenes de las mitades de cada muestra a través de un video-microscopio a 35x y 100% de magnificación. *Orosco F et al. (2008)* con una cámara Canon (EOS rebel 300D) con el agregado de una regla milimetrada alineada a cada muestra.

Para efectuar la medición, en el trabajo de *Stefopoulos S et al. (2008)* midieron la penetración de colorante (fucsina al 1%) a través de un software (Adobe Photoshop 7.0), *Orosco F et al. (2008)* con rodamina al 0,2%, a través del software Image Tool 3.0 y *Lolayekar N et al. (2009)* midieron dicha penetración con una cuadrícula con escala de 0 a 100 y un estereomicroscopio a una ampliación de 20x.

En nuestro trabajo la medición se realizó utilizando un método científico creado para el presente estudio. Se evitó la evaluación de la imagen a través de la visión directa porque por tratarse de una sensación subjetiva, puede mostrar errores.



El método usado se basa en el espacio colorimétrico HSL, constituido por coordenadas de un espacio tridimensional que contienen los tres atributos psico-físicos básicos del color: luminosidad, saturación y tonalidad. Se obtuvo el valor medio de tonalidad (H) de la fucsina al 0,2% en grados.

Luego se analizaron cada una de las mitades de las muestras mediante herramientas específicas provistas por el software Image Pro-Plus v.4.5 que expusieron las áreas teñidas con fucsina que marcaron las zonas filtradas. Los resultados fueron los siguientes: mayor porcentaje de filtración estadísticamente significativa, en los grupos obturados sin pasta de hidróxido de calcio, tanto en el grupo de MTA-Ángelus (57,9%) como en el de CPM-Egeo (84,2%), comparados con los grupos con obturación previa con pasta de hidróxido de calcio, que registraron menores porcentajes de filtración en ambos cementos: 31,6% en MTA-Ángelus y 26,3% en CPM-Egeo.

Estos resultados muestran que la presencia de pasta de hidróxido de calcio residual es un factor a considerar. Los restos que no pudieron ser eliminados actuaron como una barrera que evitó el paso del colorante.

Coincidiendo con nuestros resultados, *Porkaew P et al. (1990)* y *Çalt S et al. (1999)* observaron una significativa disminución en la filtración en los conductos medicados con pasta de hidróxido de calcio también en un estudio inmediato, y concluyeron en que el hidróxido de calcio reacciona para formar carbonato de calcio, proporcionando una disminución inicial en la permeabilidad y adaptación de los materiales.

*Lolayekar N et al. (2009)* en obturaciones sin pasta de hidróxido de calcio obtuvieron el porcentaje medio de fugas de colorantes para el grupo con MTA (55,5%) y para el grupo con MTA-Ángelus (53,25%).

En este trabajo se realizaron tres estudios. Se evaluó la microfiltración de las obturaciones con MTA-Ángelus y CPM-Egeo, la presencia o ausencia de espacios vacíos entre los materiales y la pared dentinaria y la fuerza necesaria para desplazar la obturación. En las tres experiencias la mitad de las muestras se obturaron con pasta de hidróxido de calcio y se mantuvieron durante 7 (siete) días a 100%, cumplido el tiempo establecido fueron sometidas a una intensa limpieza e irrigación con hipoclorito de sodio al 2,5%. Aún así, observamos residuos de pasta de hidróxido de calcio en las paredes dentinarias de todas las muestras estudiadas, situación que concuerda con los resultados obtenidos por *Lambrianidis T et al. (1999)* que utilizaron además del hipoclorito de sodio, Edta, y para intensificar la limpieza activaron las soluciones con ultrasonido. Pese a ello no se logró eliminar totalmente la pasta de hidróxido de calcio.

En estudios similares, *Hachmeister D et al. (2002)* afirman que tampoco pudieron eliminar totalmente la pasta de hidróxido de calcio, y que ella permanece en las paredes dentinarias limitando la adhesión mecánica del material de obturación.

En cambio, *Bidar M et al. (2011)* que también observaron restos de hidróxido de calcio, afirman que no tienen efecto adverso, en el corto y largo plazo, en el sellado marginal del MTA.

Al igual que nosotros, *Stefopoulos S et al. (2008)* confirman que el pre-tratamiento con pasta de hidróxido de calcio actúa como un obstáculo mecánico para la adaptación del material a las paredes dentinarias.

Situación que también observaron *Rahimi S et al. (2008)* utilizando como colorante tinta china.

En disidencia con nuestros resultados *Adel M et al. (2014)* en un estudio similar, observaron que las muestras con pasta de hidróxido de calcio tenían una frecuencia significativamente mayor de microfiltración apical comparadas con aquellas en las que se obtura solo con MTA.

Otros autores como *Estrela C et al. (1999)*, *Basson NJ et al. (2001)*, *Basrani B et al. (2003)* no están de acuerdo con la necesidad de utilizar pasta de hidróxido de calcio como medicamento intracanal, ya que en sus estudios, mostraron su ineficacia contra el *enterococcus faecalis*, cepa más frecuentemente aislada en la terapia endodóntica.

Además, según lo expresan *Holland R et al. (1999)* y *Fridland M et al (2003)* el MTA por sí solo estimula la deposición de tejido duro, dado que contiene en su composición química óxido de calcio y fosfato de calcio, que al reaccionar con el agua o los fluidos del tejido, forman hidróxido de calcio.

En clara oposición con nuestras observaciones, destacados investigadores como *Lee SJ et al. (1993)*, *Torabinejad M et al. (1993)*, *Higa R et al. (1993)* y *Martell B et al. (2002)* *Silva Neto UX et al. (2003)* *Matt GD et al. (2004)* *Xavier CB et al. (2005)* afirman que el MTA es un material con buena adaptación a las paredes dentinarias y bajo índice de filtración. No obstante debemos tener en cuenta que, estas afirmaciones se basan en los resultados obtenidos en estudios donde se comparan las cualidades del MTA con amalgama y SuperEBA.

Por otro lado, no estamos de acuerdo con lo expuesto por *García Barbero E et al. (2003)* cuando afirma que el tapón apical creado con MTA no es poroso, y asegura que logra un cierre completo al colocar el material de obturación definitiva sobre él.

Nuestra experiencia en este estudio muestra un grado de microfiltración de colorante (fucsina al 0,02%) alto en las obturaciones con MTA sin hidróxido de calcio. Esta situación creemos que se debe, por un lado, como dijimos anteriormente a que el MTA no tiene adhesión a las paredes dentinarias y por otro, a que la masa del material no es compacta y permite el paso de colorante a través de ella.

Con resultados opuestos a los nuestros, *Lee SJ et al. (1993)* y *Aqrabawi J et al. (2000)* hallaron en un estudio de microfiltración utilizando como marcador, azul de metileno, en obturaciones retrógradas con MTA, que el 100% ellas no mostraron microfiltración de colorante.

Otro aspecto para destacar de MTA es la dificultad para evitar su extrusión al periápice durante el procedimiento de obturación. Para ello *Al-Kahtani A et al. (2005)*, aplicaron el MTA en dos etapas consecutivas, lo cual no mejoró el sellado, probablemente porque este material no tiene cohesión, y resultó en la microfiltración de todas las muestras.

Esta situación también la observamos en nuestro estudio, ya que en algunas obturaciones, que fueron posteriormente descartadas, detectamos una fisura horizontal en el interior de la masa del material, considerada un error técnico, situación que nos advirtió sobre su falta de cohesión y podría ser la causa del alto porcentaje de microfiltración observada en las muestras, con y sin pasta de hidróxido de calcio.

Al respecto, concordamos con *Hachmeister D et al. (2002)* cuando afirman que el sellado marginal de MTA podría ser óptimo, siempre y cuando se mejore la técnica de manipulación, de espatulado y de condensación del material. Una opción para ello podría ser la propuesta de *Escribano-Escrivá B et al. (2016)* que mostraron en sus estudios que la activación ultrasónica indirecta mejora la adaptación del MTA y por consiguiente la microfiltración de colorantes disminuye considerablemente.

Para completar este estudio se midió la profundidad de la filtración. Para ello se estableció la zona a evaluar, se excluyó la porción coronaria de la raíz y el primer milímetro apical, con el propósito de medir específicamente las zonas de interés para este estudio. Las mediciones se realizaron en dos puntos de cada mitad de muestra, correspondientes a las zonas de mayor profundidad de filtración, se llevaron a cabo mediante el software Image Pro-Plus v.4.5. De acuerdo a los valores medios obtenidos, los grupos con pasta de hidróxido de calcio previa (MTA-Ángelus con Ca(OH)<sub>2</sub> 0,23mm y CPM-Egeo con Ca(OH)<sub>2</sub> 0,37mm.), registraron menores profundidades de filtración que los grupos sin pasta.(MTA-Ángelus 1,17mm y CPM-Egeo 1,16mm).

El uso de hidróxido de calcio, es un factor que influyó significativamente en los valores de profundidad de la microfiltración ( $F=8,336$ ;  $p=0,005$ ), resultado que concuerda con los obtenidos al evaluar su frecuencia, en tanto que no observamos influencia significativa en los valores entre un cemento y otro ( $F=0,050$ ;  $p=0,823$ ).

Coincidiendo con nuestros resultados, *Orosco F et al. (2008)* en su experiencia con los mismos materiales, pero sin pasta de  $\text{Ca(OH)}_2$ , observaron importante microfiltración con los siguientes resultados MTA-Ángelus (3,39mm) de profundidad en la penetración del colorante y CPM-Egeo (4mm).

*Yazdizadeh M et al. (2013)* también mostró una penetración de colorante de 5,8mm de profundidad en obturaciones con MTA.

*Torabinejad M et al. (1993)* observaron también microfiltraciones en las obturaciones con MTA pero de menor profundidad en la comparación con los resultados obtenidos con amalgama de plata libre de cinc y SuperEBA.

En el estudio 2, se evaluó la adaptación marginal de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio, en forma inmediata y mediata a través del microscopio confocal.

En general, la mayoría de los estudios relacionados con la adaptación de materiales de obturación se evalúan a través del microscopio electrónico. Un ejemplo de ello son los estudios realizados por *Torabinejad M et al. (1993)* y *Stabholz A et al. (1985)* que midieron la presencia o ausencia de espacios entre MTA, amalgama e IRM y la pared dentinaria a través del microscopio electrónico. Estos autores destacaron las limitaciones de este estudio. Advierten de posibles errores técnicos en la preparación de material biológico, cuando se incluye la muestra en resina y la evaporación con alto vacío que puede provocar resecamiento del diente y luego mostrar grietas que conduzcan a interpretaciones erróneas, como así también, que el material y/o el tejido dentario sufra contracciones o expansiones.

En nuestro estudio, optamos por la evaluación de la adaptación marginal de los materiales, a través del microscopio confocal (Olympus modelo Lext OLS4000) ya que ofrece mayores ventajas frente a la microscopía óptica tradicional, proporcionando imágenes de mayor nitidez, contraste y mayor resolución vertical y horizontal. Así también, si lo comparamos con el SEM, el microscopio confocal no requiere ninguna preparación previa de las muestras, y sobre todo permite obtener "secciones ópticas" que resultan en imágenes tridimensionales.

El software del microscopio confocal permite realizar mediciones de profundidad, longitud etc. En una primera observación detectamos que ambos materiales e incluso el

tejido dentinario presentaban irregularidades o rugosidades propias dentro de rangos próximos a 20µm. Por esta razón se estableció un criterio asociado a la profundidad del espacio observado en cada sub-zona. Se fijó en 20µm el límite de profundidad como valor a partir del cual se considera como “espacio” entre la pared dentinaria y el material. Complementariamente, se utilizó la escala colorimétrica, incorporada al software del microscopio, correlacionada con la profundidad, como guía para determinar el lugar exacto a medir.

En la observación inmediata, visualizamos la presencia de espacios vacíos en la interfase de MTA y la pared dentinaria, como así también en el interior de la masa del material, en un alto porcentaje de las muestras evaluadas, tanto en aquellas con pasta de hidróxido de calcio previa, como en las obturadas solo con MTA. Este resultado, corrobora y complementa las conclusiones arribadas en el estudio de microfiltración, donde observamos gran penetración de colorante en todos los grupos estudiados.

El CPM-Egeo presentó menor cantidad de espacios entre la pared dentinaria y el material (con Ca (OH)<sup>2</sup> 35,7 % y sin 37,5%) en contraste con MTA-Ángelus (con Ca(OH)<sup>2</sup> 45,5% y sin 47,6%). No obstante no hubo diferencias estadísticamente significativas, independientemente de la utilización o no de pasta de hidróxido de calcio.

En coincidencia con *Holland R et al. (1999a y 2002 a y b)*; *Torabinejad M et al. (1995c; 1997a)*, *Fridland M et al. (2003)* y *Estrada PF et al. (2006)* mostraron también, pero a través del microscopio electrónico de barrido, la porosidad del material una vez fraguado, posiblemente por la incorporación de burbujas de aire microscópicas durante el espatulado, o a causa de la estructura amorfa y capilar que presenta el MTA una vez fraguado. También, *Sluyk SR et al. (1998)* observaron a través del microscopio de luz con un aumento a 40x, espacios vacíos entre las obturaciones con MTA y las paredes cavitarias.

En la misma línea de investigación, *Xavier CB et al. (2005)* observaron, siempre en comparación con otros materiales (amalgama y Vitremer en este caso, que el MTA presentó filtración media y excelente adaptación a las paredes y concluyen en que no hay correlación directa entre microfiltración y adaptación marginal.

En este aspecto disentimos con las conclusiones del autor ya que creemos, como expresamos, que la presencia de espacios vacíos en la estructura interna del material, ya sea por deficiencias en la manipulación o por sus características propias, podrían explicar el alto grado de microfiltración observado en nuestros estudios. El colorante penetra en la interfaz de la pared dentinaria/cemento y también en el interior de la masa del cemento.

Estamos de acuerdo con las observaciones de *Holland R et al. (1999a y 2002 a y b)*; *Torabinejad M et al. (1995c; 1997a)* en que el MTA es un material fácilmente influenciado en su estructura por el pH, la temperatura y la humedad del ambiente, la técnica de espatulado, la relación polvo/líquido, el tiempo transcurrido entre la preparación de la mezcla y la colocación en la cavidad.

Por lo mencionado, las muestras obturadas con ambos cementos y pasta de hidróxido de calcio fueron sumergidas en agua destilada durante noventa (90) días para estimar el comportamiento del material en una evaluación mediata. Para ello nuevamente limitamos la superficie en zonas y sub-zonas de igual manera que en el estudio inmediato, y observamos, a través del microscopio confocal, que la brecha entre la pared dentinaria y el MTA era mayor que en el estudio inmediato, espacio que suponemos dejó la pasta de hidróxido de calcio al disolverse.

Los resultados sin significación estadística fueron los siguientes: para CPM-Egeo 72,5% de muestras con espacios vacíos y para MTA-Ángelus el 64,3%.

En clara oposición, *Torabinejad M (1999)*, *Hachmeister D et al. (2002)*, *Bidar M et al. (2011)* y *Mirhadi H et al (2016)* también en un estudio a largo plazo mostraron que la pasta de hidróxido de calcio no tenía efecto adverso en el sellado del material.

Para completar nuestra evaluación de la interfaz material/pared dentinaria, se contrastaron los resultados de ambos estudios (inmediato y mediato) resultando estadísticamente significativa la diferencia, siendo mayor la frecuencia de espacios en la interfaz pared-cemento en el estudio mediato (68%) respecto al inmediato (40,0%).

*Martin RL et al. (2007)* aceptando la falta de adhesión del MTA, y la imposibilidad de eliminar totalmente la pasta de hidróxido de calcio, afirman que lograron mejorar el sellado del MTA después de cuatro semanas. Argumentan, que esta situación es posible por la expansión del material en un ambiente húmedo.

En el Estudio 3, se evaluó la resistencia al desplazamiento de la obturación con MTA-Ángelus y con CPM-Egeo con y sin obturación previa con pasta de hidróxido de calcio.

Se midió la fuerza necesaria para desalojar al material de la cavidad, se valoraron los diferentes factores que podían influenciar la retención del material, como la conicidad, el espesor y el perímetro medio de la muestra, como así también la presencia de residuos de hidróxido de calcio.

Las muestras se cortaron transversalmente con una cortadora metalográfica de precisión ISOMET Buehler low speed, con planos de cortes perpendiculares al eje

mayor de la raíz y paralelos entre sí. El propósito de esto es conseguir, con un método sencillo, un grosor uniforme de dentina en todos los especímenes.

Este método de obtención de secciones de diente es el mismo que emplean otros trabajos para aplicar el test de extrusión (*Patierno JM et al. 1996* y *Gncedo Caravia L et al. 2005*).

*Sluyk SR et al. (1998)* para evaluar también la fuerza necesaria para desalojar el material talló una cavidad de 1,6mm de diámetro en el piso de la cámara pulpar de molares inferiores que simula una perforación de furca, luego cortó la corona por encima del piso de la cámara y en la zona interradicular por debajo de la cámara. De tal manera obtuvo muestras de 2mm de espesor, pero con un método más complicado.

En nuestro estudio evaluamos la fuerza para desalojar el material en dientes con divergencia apical, como se presentan en las piezas dentarias con ápices inmaduros. Por esta razón es que realizamos dos cortes por raíz, obteniéndose 24 (veinticuatro) muestras de cada grupo. Cada muestra presenta una mínima diferencia de perímetro, con paredes extrusivas.

Se obtuvieron imágenes digitales de los cortes transversales con un escáner gráfico HP G-3110 con resolución 1200dpi por ambos lados de las muestras, a partir de las cuales se realizaron las mediciones del perímetro de la pared del conducto, con el objeto de evaluar si este factor (perímetro) influye en los resultados.

Los autores anteriormente mencionados no tuvieron en cuenta éstas variables ya que evaluaron la resistencia al desplazamiento en una cavidad estandarizada.

Posteriormente cada muestra se sometió a fuerzas perpendiculares mediante el ensayo denominado *Push out test* o test de extrusión, en una máquina de ensayo Universal Digimess MX-5000, también utilizada por *Sluyk SR et al. (1998)* *Gancedo Caravia L et al. (2005)* y *Hachmeister D et al. (2002)*.

*Sluyk SR et al. (1998)* y *Gancedo Caravia L et al. (2005)* incluyeron las muestras en resina y luego realizaron las obturaciones pertinentes. Para el estudio confeccionaron un aditamento especial para sostener la muestra en la máquina Instrom.

*Hachmeister D et al. (2002)* fabricaron una plantilla de aluminio para cada muestra y la fijaron con acrílico.

Para nuestro estudio se confeccionó una platina de acero pulido con 4 (cuatro) perforaciones de diferentes diámetros para contener las muestras y 4 (cuatro) punzones con una punta tallada que se corresponden a los diámetros que presenta la platina.

Se llevó a cabo un análisis multifactorial para determinar si los diversos factores: espesor del corte, superficie lateral del conducto, conicidad, material e hidróxido de calcio influían en los valores de resistencia registrados,

Respecto a las tres covariables introducidas en el modelo (conicidad, espesor de muestra y perímetro medio), en ningún caso resultó significativa la influencia respecto a los valores de resistencia ( $p > 0,05$ ).

Luego de analizar cada factor en forma independiente, observamos que los residuos de pasta de hidróxido de calcio mostraron una influencia estadísticamente significativa en los resultados, con una marcada disminución en la retención del MTA a las paredes dentinarias, comparadas con las obturaciones solo con MTA.

Cuando se analizaron los resultados de resistencia al desplazamiento comparando ambos cementos, observamos que no hay diferencias significativas en los valores registrados. ( $F=0,55$ ;  $p=0,460$ ). (MTA-Ángelus 2,60MPa y CPM-Egeo 3,60MPa).

En tanto, cuando se evaluaron las muestras con y sin pasta de hidróxido de calcio sí observamos una diferencia significativa en los resultados sobre el parámetro evaluado ( $F=18,39$ ;  $p < 0,001$ ).

MTA-Ángelus con Ca(OH) 0,81MPa y sin pasta 1,80MPa.

CPM-Egeo con Ca(OH) 1,03MPa y sin pasta 2,57MPa.

En un estudio similar, *Hachmeister DR (2002)* observó que la resistencia al desplazamiento es mayor cuando la obturación tiene un espesor de 4mm. Pero no considera que la presencia de restos de hidróxido de calcio actúe de forma negativa.

*Reyes-Carmona JF et al (2010)* coincide con nuestras observaciones y aconseja cubrir la obturación con una solución salina que produce biomineralización y mejora la unión del MTA a la pared dentinaria.

*VanderWeele RA et al. (2006)* para medir la resistencia al desplazamiento del Pro-Root MTA mezclaron el polvo con lidocaína, agua estéril y suero salino y lo utilizaron para reparar perforaciones de furca. En sus resultados observaron mejor resistencia al desplazamiento del MTA de la furca reparada a los 7 días que a las 24-72h.

En nuestro estudio las evaluaciones se realizaron 72h después del fraguado y observamos que en las muestras con pasta de hidróxido de calcio previa, el material se despega fácilmente de la pared dentinaria, cuando se ejerce una fuerza perpendicular, pero en ningún caso se observó su fractura.



# **CONCLUSIONES**

## **Conclusiones**

- Los compuestos de trióxido mineral MTA-Ángelus y CPM-Egeo, muestran evidencia de microfiltración positiva similares, sin diferencias estadísticamente significativas entre ellos.
- La utilización de pasta de hidróxido de calcio, demostró ser un factor que disminuye significativamente el proceso de microfiltración, tanto en frecuencia como en profundidad, en las condiciones experimentales del presente estudio.
- La interfaz entre la pared dentinaria y el material de obturación aumenta con el paso del tiempo debido a la pérdida paulatina del hidróxido de calcio.
- La utilización de pasta de hidróxido de calcio reduce la resistencia al desplazamiento de los materiales evaluados en este estudio, en tanto que los demás factores considerados: conicidad, superficie de contacto y espesor no mostraron influencia significativa.

# **BIBLIOGRAFÍA**

**Bibliografía**

- Abdullah D, Ford T, Papaioannou S, Nicholson J, McDonald F (2002) An evaluation of accelerated Portland cement as a restorative material. *Biomaterials*; 23:4001-10.
- Adamo HL, Buruiana R, Schertzer L, Boylan RJA (1999) comparison of MTA, super-EBA, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *Int Endod J*; 32: 197-203.
- Adel M, Nima MM, Shivaie Kojoori S, Norooz Oliaie H, Naghavi N, Asgary S. (2012) Comparison of endodontic biomaterials as apical barriers in simulated open apices. *ISRN Dent*. 2012: 359873.
- Adel M, Majd NM, Samani Y (2014) Effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on sealing ability of MTA plugs. *Gen Dent*. 62(4): 34-6.
- Aguilar P, Linsuwanont P (2011) Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod*. 37(5):581-7.
- Aqrabawi J (2000) Sealing ability of amalgam, super EBA cement, and MTA when used as retrograde filling materials. *Br J Dent*. 188 (5): 266-8.
- Al Ansary MA, Day PF, Duggal MS, Brunton PA (2009) Interventions for treating traumatized necrotic immature permanent anterior teeth: inducing a calcific barrier & root strengthening. *Dent Traumatol*; 25: 367–79.
- Al-Nazhan S, Al-Judai A (2003) Evaluation of antifungal activity of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 29: 826-827.
- Alhaddad Alhamoui F, Steffen H, Splieth CH (2014) The sealing ability of ProRoot MTA when placed as an apical barrier using three different techniques: an in-vitro apexification model. *Quintessence Int*. 45(10):821-7.
- Al-Hezaimi K, Al-Hamdan K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JHS, Rotstein, I (2005) Effect of white colored mineral trioxide aggregate in different concentrations on *Candida albicans* in vitro. *J Endod*. 31: 684-686.
- Al-Hezaimi K, Naghshbandi J, Oglesby S, Simon JHS, Rotstein I (2006) Comparison of antifungal activity of white-colored and grey-colored mineral trioxide aggregate (MTA) at similar concentrations against *Candida albicans*. *J Endod*. 32: 365-367.
- Al-Kahtani A, Shostad S, Schifferle R, Bhambhani S (2005) In-vitro evaluation of microleakage of an orthograde apical plug of mineral trioxide aggregate in permanent teeth with simulated immature apices. *J Endod*. 31 (2): 117-9.
- American Association of Endodontists. (1998) Glossary. Contemporary Terminology for Endodontics, 6<sup>th</sup> ed. Chicago, IL.
- Aminoshariae A, Hartwell GR, Moon PC. (2003) Placement of mineral trioxide aggregate using two different techniques. *J Endod*; 29:679–82.
- Anand S, Taneja S, Kumari M (2014) Effect of accelerants on the immediate and the delayed sealing ability of mineral trioxide aggregate when used as an apical plug: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 17(1): 45-8.

- Andelin WE, Browning DF, Hsu GH, Roland DD, Torabinejad M (2002) Microleakage of resected MTA. *J Endod.* 28(8): 573-4.
- Andreasen JO, Farik B, Munksgaard EC (2002) Long-term calcium hydroxide as a root canal dressing may increase risk of root fracture. *Dent Traumatol.* 18: 134–7.
- Andreasen JO, Munksgaard EC, Bakland LK (2006) Comparison of fracture resistance in root canals of immature sheep teeth after filling with calcium hydroxide or MTA. *Dent Traumatol.* 22: 154–6.
- Andreasen JO, Andreasen FM, Andersson L. (2007) Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth, 4th edn. Oxford: Blackwell Munksgaard.
- Arnold JW, Rueggeberg FA, Anderson RW, Weller RN, Borke JL, Pashley DH (1997) The disintegration of superEBA cement in solutions with adjusted pH and osmolality. *J Endod.* 23(11):663-8.
- Avery JK, Chiego DJ. (2006) Essentials of oral histology and embryology: a clinical approach, 3rd edn. St. Louis: Mosby.
- Ballal S, Venkateshbabu N, Nandini S, Kandaswamy D (2008) An in vitro study to assess the setting and surface crazing of conventional glass ionomer cement when layered over partially set mineral trioxide aggregate *J Endod.* 34(4):478-80.
- Ballesio I, Marchetti E, Mummolo S, Marzo G (2006) Radiographic appearance of apical Closure in apexification: follow-up after 7–13 years. *Eur J Paediatr Dent.* 7: 29 –34.
- Balto H (2004) Attachment and morphological behavior of human periodontal ligament fibroblasts to mineral trioxide aggregate: a scanning electron microscope study. *J Endod.* 30: 25-29.
- Barnett F. (2002) The role of endodontics in the treatment of luxated permanent teeth. *Dent Traumatol*; 18:47–56.
- Bates CF, Carnes DL, Del Rio CE (1996) longitudinal sealing ability of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 22(11):575-8.
- Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, Friedman S. (2003) Efficacy of chlorhexidine-and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* Nov; 96(5):618-24.
- Basson NJ, Tait CM. (2001) Effectiveness of three root canal medicaments to eliminate *Actinomyces israelii* from infected dentinal tubules *in vitro*. *SADJ.* ; 56:499–501.
- Bernabé PF, Holland R, Morandi R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Dezan Junior E, Gomes-Filho JE (2005) Comparative study of MTA and other materials in retro filling of pulpless dogs' teeth. *Braz Dent J.* 16 (2):149-55.
- Bidar M, Disfani R, Gharagozloo S, Akbari M, Rouhani A (2011) The Effect of Calcium Hydroxide on the Short and Long-Term Sealing Properties of MTA Apical Barrier. *Iran Endod J.* 6(1): 6-10.
- Bonson S, Jeansonne BG, Lallier LE (2004) Root end filling materials alter fibroblast differentiation. *J Dent Res.* 83; 408-413.

- Chhabra N, Singbal KP, Kamat S (2010) Successful apexification with resolution of the periapical lesion using mineral trioxide aggregate and demineralized freeze-dried bone allograft. *J Conserv Dent.* 13:106-9.
- Binnie WH, Rowe AH (1973) A histological study of the periapical tissues of incompletely formed pulpless teeth filled with calcium hydroxide. *J Dent Res.* 52(5):1110-6.
- Bonte E, Beslot A, Boukpepsi T, Lasfargues JJ (2015) MTA versus Ca (OH)<sub>2</sub> in apexification of non-vital immature permanent teeth: a randomized clinical trial comparison. *Clin Oral Investig.* 19(6):1381-8.
- Bortoluzzi EA, Juárez N, Monteiro C, Brãndao R, Gomes I, Bernardineli N (2006) Sealing ability of MTA and radiopaque Portland cement with or without calcium chloride for root-end filling. *J Endod.* 32: 897-900.
- Bücher K, Meier F, Diegritz C, Kaaden C, Hickel R, Kühnisch J (2016) Long-term outcome of MTA apexification in teeth with open apices. *Quintessence Int.* 47(6):473-82.
- Bystrom A, Claesson R, Sundqvist G (1985) The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol.* 1(5):170-5.
- Çalt S, Serper A (1999) Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod.* 25: 431-3.
- Camilleri J, Montesin FE, Papaioannou S, McDonald F, Pitt Ford TR (2004) Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 37: 699-704.
- Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR (2005) The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J.* 38: 834-842.
- Canalda C (2001) Tratamiento del diente con el ápice inmaduro. En: Canalda C. Brau E. editores. *Endodoncia. Técnicas clínicas y bases científicas.*; Editorial Masson: pp245-55.
- Casassa F, Sari S (2006) Aplicación del sistema Sie-Lab a los vinos tintos. Correlación con algunos parámetros tradicionales. *Revista Enología N° III.* 10-15.
- Cehreli ZC, Sara S, Uysal S, Turgut MD (2011) MTA apical plugs in the treatment of traumatized immature teeth with large periapical lesions. *Dent Traumatol.* Feb. 27(1): 59-62.
- Cetenović B, Marković D, Petrović B, Perić T, Jokanović V (2013) Use of mineral trioxide aggregate in the treatment of traumatized teeth in children. two case reports. *Vojnosanit Pregl.* 70(8):781-4.
- Chala S, Abouqal R, Rida S (2011) Apexification of immature teeth with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: systematic review and meta-analysis *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 112(4): 36-42.
- Chang SW, Oh TS, Lee W, Cheung GS, Kim HC (2013) Long-term observation of the mineral trioxide aggregate extrusion into the periapical lesion: a case series. *Int J Oral Sci.* 5(1):54-7.
- Chosack A, Sela J, Cleaton-Jones P (1997) A histological and quantitative histomorphometric study of apexification of non-vital permanent incisors of vervet monkeys after repeated root filling with a calcium hydroxide paste. *Endod Dent Traumatol.* 13 (5):211-7.

- Citrome G, Kaminski E, Heuer MA (1979) comparative study of tooth apexification in the dogs. *J Endod.*10: 290-97.
- Cohen S, Burns R (1994) *Los Caminos de la pulpa*. 5º ed. Editorial Panamericana. México
- Cooke C, Rowbotham TC. (1960) Root canal therapy in non-vital teeth with open apices. *Br Dent J*; 108:147–50.
- Costa GM, Soares SM, Marques LS, Gloria JC, Soares JA (2013) Strategy for apexification of wide-open apex associated with extensive periapical lesion in a weakened root. *Gen Dent.*61 (3):2-4.
- Cvek M, Mejàre I, Andreasen JO (2004) Conservative endodontic treatment of teeth fractured in the middle or apical part of the root. *Dent Traumatol.* 20(5): 261-9.
- Damle SG, Bhattal H, Loomba A (2012) Apexification of anterior teeth: a comparative evaluation of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide paste. *J Clin Pediatr Dent.* 36(3): 263-8.
- Damle SG, Bhattal H, Damle D, Dhindsa A, Loomba A, Singla S (2016) Clinical and radiographic assessment of mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide as apexification agents in traumatized young permanent anterior teeth: A comparative study. *Dent Res J (Isfahan).* 13(3):284-91.
- Dammaschke T, Gerth H, Zunchner H, Schafer E (2005) Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. *Dental Materials.* 21: 731-8.
- Danesh G, Dammaschke T, Gerth HUV, Zandbiglari T, Schäfer, E (2006) A comparative study of selected properties of Pro-Root mineral trioxide aggregate and two Portland cements. *Int Endod J.* 39: 213-219.
- Das S (1980) Apexification in a non-vital tooth by control of infection. *J Am Dent Assoc.* 100(6): 880-1.
- Da Silva GN, Braz MG, de Camargo EA, Salvadori DMF, Ribeiro DA (2006) Genotoxicity in primary human peripheral lymphocytes after exposure to regular and white mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 102(5):50-4.
- DeAngelis L, Chockalingam R, Hamidi-Ravari A, Hay S, Lum V, Sathorn C, Parashos P (2013) In vitro assessment of mineral trioxide aggregate setting in the presence of interstitial fluid alone. *J Endod.* 39(3): 402-5.
- Dhaimy S, Lahlou K, Karami M, Elmerini H, Elouazzani A (2013) Periapical regeneration. About one case of necrotic immature tooth treated with mineral trioxide aggregate (MTA). *Odontostomatol Trop.* 36(143): 39-44.
- Dixit S, Dixit A, Kumar P, Arora S (2014) Root End Generation: An Unsung Characteristic Property of MTA-A Case Report. *J Clin Diagn Res.* 8(1): 291-3.
- Dominguez Reyes A, Muñoz Muñoz L, Aznar Martín T (2005) Study of calcium hydroxide apexification in 26 young permanent incisors. *Dent Traumatol.* 21: 141–5.
- Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA. (2005) Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *J Endod.* 31:895–7.

- Duarte MA, Demarchi ACCO, Yamashita JC, Kuga MC, Fraga SC (2003) pH and calcium ion release of 2 root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*; 95: pp345-7. 29
- Dylewski JJ (1971) Apical closure of non vital teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 32(1):82-9.
- Economides N, Pantelidou O, Kokkas A, Tziafas D (2003) Short-term periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate (MTA) as root-end filling material. *Int Endod J*. 36:44-48.
- Eldeniz AU, Hadimli HH, Ataoglu H, Orstavik D (2006) Antibacterial effect of selected root-end filling materials. *J Endod*; 32: 345-349.
- El-Meligy OA, Avery DR (2006) Comparison of apexification with mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide. *Pediatr Dent*. 28:248 –53.
- Erdem AP, Sepet E (2008) Mineral trioxide aggregate for obturation of maxillary central incisors with necrotic pulp and open apices. *Dent Traumatol*. 24(5):38-41.
- Erdogan G (1997) The treatment of non-vital immature teeth with calcium hydroxide-sterile water paste: two case reports. *Quint Int*. 28:681-86.
- Escribano-Escrivá B, Micó-Muñoz P, Manzano-Saiz A, Giner-Lluesma T, Collado-Castellanos N, Muwaquet-Rodríguez S (2016) MTA apical barrier: In vitro study of the use of ultrasonic vibration. *J Clin Exp Dent*. 1; 8(3):e318-21.
- Estrada PF, Angelo L T, Gomes JE, Hamata CTM, Galera D, Otoboni JA, Juvenal M (2006) Evaluación *in vitro* de la capacidad selladora marginal de materiales retro obturadores: estudio del cemento Sealapex adicionado con MTA. *Med Oral México*. 8: 61-67
- Estrela C (1997) Eficacia antimicrobiana de pastas de hidróxido de cálcio. (Tese de Livre-Docência). Ribeirão Preto: Faculdade de Odontologia da Universidade de São Paulo - USP
- Estrela C, Pimenta FC, Ito IY, Bammann LL. (1999) Antimicrobial evaluation of calcium hydroxide in infected dentinal tubules. *J Endod*. ; 25:416–418.
- Estrela C, Bammann LL, Estrela CRA, Silva RS, Pécora JD (2000) Antimicrobial and chemical study of MTA, Portland cement, and calcium hydroxide paste, Sealapex and Dycal. *Braz Dent J*. 11:3-9
- Estrela C, Estrela CRA, Bammann LL, Pécora JD (2001) Two methods to evaluate the antimicrobial action of calcium hydroxide paste. *J Endod*. 27:720–23
- Estrello AO, Poblano RD, Rivera V, Noriega JB, Morales LA (2006) Sellado apical con cemento Portland y agregado trióxido mineral en obturaciones retrógradas. *Med Oral (México)*; 8: 13-16.
- Farhad A, Mohammadi Z (2005) Calcium hydroxide: a review. *Int Dent J*. 55:293–301.
- Felipe WT, Felipe MC, Rocha MJ (2006) The effect of mineral trioxide aggregate on the apexification and periapical healing of teeth with incomplete root formation. *Int Endod J*. 39(1):pp2-9.
- Fischer EJ, Arens DE, Miller CH (1998) Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as compared with zinc-free amalgam, intermediate restorative material, and super-EBA as a root end filling material. *J Endod*. 24: 176-179.



- Floratos SG, Tsatsoulis IN, Kontakiotis EG (2013) Apical barrier formation after incomplete orthograde MTA apical plug placement in teeth with open apex--report of two cases. *Braz Dent J.* 24(2): 163-6.
- Fogel HM, Peikoff MD (2001) Microleakage of root-end filling materials. *J Endod.* 27: 456-458.
- Frank AL (1966) Therapy for the divergent pulpless tooth by continued apical formation. *J Am Dent Assoc.* 72:87-93
- Fridland M, Rosado R (2003) Mineral trioxide aggregate (MTA) solubility and porosity with different water-to-powder ratios. *J Endod.* 29: 814-817.
- Fridland M, Rosado R (2005) MTA solubility: a long term study. *J Endod.* 31: 376-379.
- Fucks AB (2000) Tratamiento de la pulpa para las denticiones primarias y permanentes juvenil. *Dent Clin North Am.* 44(3) 571-96.
- García Barbero E, Vera González J, Velázquez Cano J, Baldonado Rodríguez JL, Rodríguez Muñoz A, González Losada C (2000) Nuevas posibilidades terapéuticas en endodoncia. *Revista Europea de Odonto-Estomatología.* XII (6): 325-30.
- García Barbero E, Arias Gonzalez JR, Borao Fernandez E, Bravo Marc D, Moreno Morales J (2003) Apicoformación: MTA versus hidróxido de calcio. *Endodoncia,* 21(4): 246-255.
- Gancedo-Caravia L, García Barbero E (2006) Influence of humidity and setting time on the push-out strength of mineral trioxide aggregate obturations. *JOE* 32-9:894-6.
- Gani O (1997) Problemática en el tratamiento de la pulpa viva en el 1° molar inferior permanente joven. *Jornadas Aniversario Facultad de Odontología.* UNC. 27-36.
- Gawthaman M, Vinodh S, Mathian VM, Vijayaraghavan R, Karunakaran R (2013) Apexification with calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate: Report of two cases. *J Pharm Bioallied Sci.* 5(Suppl 2): S 131-4.
- Ghoddusi J, Forghani M, Parisay I (2014) New approaches in vital pulp therapy in permanent teeth. *Iran Endod J.* 9(1): 15-22.
- Gilheany PA, Figdor D, Endo D, Tyas MJ (1994) Apical dentin permeability and microleakage associated with root end resection and retrograde filling. *J Endod;* 20: 22-26.
- Giuliani V, Baccetti T, Pace R, Pagavino G (2002) The use of MTA in teeth with necrotic pulps and open apices. *Dental Traumatology;* 18: 217-221.
- Gomes BP, Ferraz CC, Garrido FD, Rosalen PL, Zaia AA, Teixeira FB, de Souza-Filho FJ. (2002) Microbial susceptibility to calcium hydroxide pastes and their vehicles. *J Endod.* ; 28: 758-761.
- Gomes-Filho JE, Watanabe S, Bernabé PF, de Moraes Costa MT (2009) A mineral trioxide aggregate sealer stimulated mineralization. *J Endod.* 35 (2): 256-60.
- Guven G, Cehreli ZC, Ural A, Serdar MA, Basak F (2007) Effect of mineral trioxide aggregate cements on transforming growth factor  $\beta$ 1 and bone morphogenetic protein production by human fibroblasts *in vitro.* *J Endod;* 33: 447-450.
- Gupta S, Goswami M (2013) Use of mineral trioxide aggregate in surgical and conventional endodontics: a report of five cases. *Int J Clin Pediatr Dent.* 6(2):134-9.

- Hachmeister D, Schindler W, Walker W, Denee T (2002) The Sealing Ability and Retention Characteristics of Mineral Trioxide Aggregate in a Model of Apexification. *J Endod.* 28(5): 386-90.
- Hakki SS, Bozkurt SB, Hakki EE, Belli S (2009) Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and bio mineralization of cementoblasts *J Endod.* 35(4):513-9.
- Hardy I, Liewehr FR, Joyce AP, Agee K, Pashley DH (2004) Sealing ability of one-up bond and MTA with and without a secondary seal as furcation perforation repair materials. *J Endod.* 30: 658-661
- Hargreaves KM, Diogenes A, Teixeira FB, (2013) Treatment Options: Biological Basis of Regenerative Endodontic Procedures *J Endod.* 39(3s):30-43.
- Hatibović-Kofman S, Raimundo L, Zheng L, Chong L, Friedman M, Andreasen JO (2008) Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol.* 24(3):272-6.
- Heithersay GS (1970) Periapical repair following conservative endodontic therapy. *Aust Dent J.* 15(6):511-8.
- Heling I, Lustmann J, Hover R, Bichacho N (1999) Complications of apexification resulting from poor patient compliance: report of case. *ASDC J Dent Child.* 66(6):415-8.
- Hernández E P, Botero TM, Mantellini MG, McDonald NJ, Nör JE (2005) Effect of Proroot MTA mixed with chlorhexidine on apoptosis and cell cycle of fibroblasts and macrophages *in vitro.* *Int Endod J.* 38: 137-143.
- Higa R, Torabinejad M (1993) Comparison of leakage between dry and wet filled retrograde cavities. Abstract Nº 15. American Association of Endodontists. 50th Annual Session. *J Endod;* 19: 189-191.
- Holland R, De Souza V, Nery MJ, Otoboni Filho JA, Bernabé PFE, Dezan JE (1999) Reaction of dogs' teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *J Endod.* 25:728–30.
- Holland R, de Souza V, Nery MJ, Otoboni JA, Bernabé P F E, Dezan E Jr (1999a) Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. *J Endod.* 25: 161-165.
- Holland R, De Souza V, Nery MJ, Otoboni JA, Bernabé, P F E, Dezan E.Jr, Murata SS. (2002b) Calcium salts deposition in rat connective tissue after the implantation of calcium hydroxide containing sealers. *J Endod.* 28: 173-176.
- Holland R, Otoboni-Filho JA, De Souza V, Nery MJ, Bernabé PFE, Dezan-Jr E (2003) A comparison of one versus two appointment endodontic therapy in dogs' teeth with apical periodontitis. *J Endod.* 29(2):121-4. .
- Holt DM, Watts JD, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2007) The antimicrobial effect against *E. faecalis* and the compressive strength of two types of MTA mixed with sterile water or 2% chlorhexidine liquid. *J Endod.*33 (7):844-7.
- Huang T, Shie M, Kao C, Ding S (2008) The Effect of Setting Accelerator on Properties of Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics.* 34: 590- 593.
- Ingle JL, Bakland L. (2004) *Endodoncia.* Traducción de la 5º edición en inglés. Ed Interamericana. México.

- Islam I, Chng H, Yap A (2006) Comparison of the physical and mechanical properties of MTA and Portland cement. *Journal of Endodontics*. 32: 193-7.
- John AD, Webb TD, Imamura G, Goodell GG (2008) Fluid flow evaluation of Fuji Triage and gray and white Pro-Root mineral trioxide aggregate intraorifice barriers. *J Endod*. 34(7): 830-2.
- Karanth P, Manjunath MK; Roshni, Kuriakose ES (2013) Reaction of rat subcutaneous tissue to mineral trioxide aggregate and Portland cement: a secondary level biocompatibility test *J Indian Soc Pedod Prev Dent*. 31(2):74-81.
- Kazem M, Eghbal MJ, Asgary S (2010) Comparison of bacterial and dye microleakage of different root-end filling materials. *Iran Endod J*. 5(1):17-22.
- Kazem M, Mahjour F, Dianat O (2013) Root-end filling with cement-based materials: An in vitro analysis of bacterial and dye microleakage *Dent Res J (Isfahan)*. 10 (1): 46-51.
- Klein SH, Levy BA (1974) Histologic evaluation of induced apical closure of a human pulpless tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 38(6):954-9.
- Kofman S, Raimundo L, Zheng L, Chong L, Friedman M, Andreasen JO (2008) Fracture resistance and histological findings of immature teeth treated with mineral trioxide aggregate. *Dent Traumatol*. 24: 272-276.
- Kogan P, He J, Glickman G, Watanabe I (2006) The effects of various additives on setting properties of MTA. *Journal of Endodontics*. 32: 569-572.
- Koh ET, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Brady K, McDonald F (1997) Mineral trioxide aggregate stimulates a biological response in human osteoblasts. *J Biomed Mater Res*. 37:432-9.
- Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M (1998) Cellular response to mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 24: 543-547.
- Kvinnsland SR, Rdsen A, Fristad I (2010) Apexogenesis after initial root canal treatment of an immature maxillary incisor-a case report. *Int Endod J*. 43: 76-83.
- Laghios CD, Benson BW, Gutman JL (2000) Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *Int. Endod J*. 33:311-5.
- Lamb EL, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH (2003) Effect of root resection on the apical sealing ability of mineral trioxide aggregate. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*; 95: 732-735.
- Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P (1999) Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *J Endod*; 25:85-8.
- Lawley GR, Schindler WG, Walker WA, Kolodrubetz D (2004) Evaluation of ultrasonically Placed MTA and fracture resistance with intracanal composite resin in a model of apexification. *J Endod*; 30:167-72.
- Lee SJ, Monsef M, Torabinejad M (1993) Sealing ability of a mineral trioxide aggregate for repair of lateral root perforations. *J Endod*. 19 (11): 541-4.
- Leonardo MR (2005) Endodontia-tratamento de canais radiculares. *Principios técnicos e biológicos*. 4º ed. Sao Pablo: Artes Médicas.

- Lima RK, Guerreiro-Tanomaru JM, Faria-Júnior NB, Tanomaru-Filho M. (2012) Effectiveness of calcium hydroxide-based intracanal medicaments against *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J.*; 45:311–316.
- Loxley EC, Liewehr FR, Buxton TB, McPherson JC (2003) The effect of various intracanal oxidizing agents on the push-out strength of various perforation repair materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 95: 490-494.
- Lolayekar N, Bhat SS, Hegde S. (2009) Sealing ability of ProRoot MTA and MTA-Angelus simulating a one-step apical barrier technique--an in vitro study. *J Clin Pediatr Dent* 33(4):305-10.
- Luddin N, Aly Ahmed HM (2013) The antibacterial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: a review on agar diffusion and direct contact methods. *Journal of Conservative Dentistry.* ; 16(1):9–16.
- Mah T, Basrani B, Santos JM, Pascon EA, Tjäderhane L, Yared G, Lawrence HP, Friedman S (2003) Periapical inflammation affecting coronally-inoculated dog teeth with root fillings augmented by white MTA orifice plugs. *J Endod.* 29: 442-446.
- Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR. (2007) Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *J Endod*; 33:272-5.
- Martell B, Chandler NP (2002) Electrical and dye leakage comparison of three root-end restorative materials. *Quintessence Int.* 33: 30-34.
- Martin RL, Monticelli F, Brackett WW, Loushine RJ, Rockman RA, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR. (2007) Sealing properties of mineral trioxide aggregate orthograde apical plugs and root fillings in an in vitro apexification model. *J Endod*; 33:272-5.
- Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A (1982) A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 53:203-208.
- Matt GD, Thorpe JR, Strother JM, McClanahan SB (2004) Comparative study of white and grey mineral trioxide aggregate (MTA) simulating a One or Two Step Apical Barrier Technique. *J Endod.*; 30: 876-879.
- Mente J, Hage N, Pfefferle T, Jean MK, Dreyhaupt J, Staehle HJ, Friedman S (2009) Mineral Trioxide Aggregate Apical Plugs in Teeth with Open Apical Foramina: A Retrospective Analysis of Treatment Outcome. *J Endod*; 35(10): 1354-8.
- Mehrvarzfar P, Akhavan H, Ghasemi S, Khodaei F, Tour Savadkouhi S, Dianat O (2014) Mineral Trioxide Aggregate Mixed with Normal Saline, Calcium Chloride or KY Jelly as Apical Plug in Simulated Open Apices: An In vitro Microleakage Study. *Iran Endod J.* 9(1):45-9.
- Metzger Z, Solomonov M, Mass E (2001) Calcium hydroxide retention in wide root canals with flaring apices. *Dent Traumatol*; 17:86-92.
- Michanowicz JP, Michanowicz AE (1967) A conservative approach and procedure to fill an incompletely formed root using calcium hydroxide as an adjunct. *J Dent Child.* 34(1):42-7.
- Milani AS, Shakouie S, Borna Z, Sighari Deljavan A, Asghari Jafarabadi M, Pournaghi Azar F (2012) Evaluating the Effect of Resection on the Sealing Ability of MTA and CEM Cement. *Iran Endod J.* 7(3):134-8.

- Mirhadi H, Moazzami F, Safarzade S (2014) The Effect of Acidic pH on Microleakage of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium-Enriched Mixture Apical Plugs. *Iran Endod J.* Fall; 9(4):257-60.
- Mirhadi H, Moazzami F, Rangani S, Safarzade S (2016) The Effects of Alkaline pH on Microleakage of Mineral Trioxide Aggregate and Calcium Enriched Mixture Apical Plugs *J Dent (Shiraz)*. 17 (1): 16-20.
- Mitchell PJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M, McDonald F (1999) Osteoblast biocompatibility of mineral trioxide aggregate. *Biomaterials*; 20:167–73.
- Mohammadi Z, Modaresi J, Yazdizadeh M (2006) Evaluation of the antifungal effects of mineral trioxide aggregate materials. *Aust Endod J.* 32: 120-122.
- Mohammadi Z, Dummer PM (2011) Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology *Int Endod J.* 44(8):697-730.
- Mohammadi Z, Shalavi S, Yazdizadeh M (2012) Antimicrobial activity of calcium hydroxide in endodontics: a review. *Chonnam Med J.* 48(3):133-40.
- Moore A, Howley MF, O'Connell A (2011) Treatment of open apex teeth using two types of white mineral trioxide aggregate after initial dressing with calcium hydroxide in child *Dental Traumatology.* 27: 166–173.
- Morfis AS, Siskos G (1991) Apexification with the use of calcium hydroxide: a clinical study *Clin Pediatrics Dent*, 16:13–9.
- Mutal L, Gutierrez M, Jerez MI, Llombart L, Marega G, Giordano S, Villalba C (2008) Application of mineral trioxide aggregate in pulpotomy treatments for young and adolescent patients. Libro de resumes de la International Association for dental Reserch. Abstract N° 0184.
- Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC (1998) Perforation repair comparing mineral trioxide aggregate and amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *J Endod.* 24(3):184-6.
- Nandini S, Ballal S, Kandaswamy D (2007) Influence of glass-ionomer cement on the interface and setting reaction of mineral trioxide aggregate when used as a furcal repair material using laser raman spectroscopic analysis. *J Endod.* 33:167-172.
- Namazikhah MS, Nekoofar MH, Sheykhrezae MS, Salariyeh S, Hayes SJ, Bryant ST, Mohammadi MM, Dummer PHH (2008) The effect of pH on surface hardness and microstructure of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 41: 108-116.
- Nekoofar MH, Adusei G, Sheykhrezae MS, Hayes SJ, Bryant (2007) The effect of condensation pressure on selected physical properties of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J.* 40: 453-461.
- Nicoloso GF, Pötter IG, Rocha RO, Montagner F, Casagrande L (2016) A comparative evaluation of endodontic treatments for immature necrotic permanent teeth based on clinical and radiographic outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Int J Paediatr Dent.* doi: 10.1111/ipd.12261.
- Nosrat A, Nekoofar MH, Bolhari B, Dummer PMH (2012) Unintentional extrusion of mineral trioxide aggregate: a report of three cases. *Int Endod J.* 0: 1-12.
- Olczak K, Pawlicka H (2015) Mineral trioxide aggregate in treatment of permanent teeth with open apex and endo-perio lesions. *Eur J Paediatr Dent.* 16(4): 287-9.

- Orosco F, Bramante C, Garcia R, Bernadineli N, Moraes I (2008) Sealing ability of gray MTA Angelus, CPM TM and MBPc used as apical plugs. *Journal of Applied Oral Science*. 16(1):50-4.
- Orosco F, Bramante CM, García R, Bernardineli N, DeMoraes I (2010) Sealing ability, marginal adaptation and their correlation using three root-end filling materials as apical plugs. *Appl Oral Sci*. 18(2):127-34.
- Osorio RM, Hefti A, Vertucci FJ, Shawley AL (1998) Cytotoxicity of endodontic materials. *J Endod*; 24: 91-96.
- Oviir T, Pagoria D, Ibarra G, Geurtsen W (2006) Effects of gray and white mineral trioxide aggregate on the proliferation of oral keratinocytes and cementoblasts. *J Endod*. 32(3):210-3.
- Pace R, Giuliani V, Pini Prato L, Baccetti T, Pagavino G. (2007) Apical plug technique using mineral trioxide aggregate: results from a case series. *Int Endod J*. 40(6):478-84.
- Paranjpe A, Smoot T, Zhang H, Johnson JD (2011) direct contact with mineral trioxide aggregate activates and differentiates human dental pulp cells. *J Endod*. 37(12):1691-5.
- Parirokh M, Torabinejad M. (2010a) Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-Part I: chemical, physical and antibacterial properties. *J Endod*. 36:16-27.
- Parirokh M, Torabinejad M (2010b) Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review - Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod*; 36:pp400–13.
- Patierno JM, Rueggeberg FA, Anderson RW, Weller RN, Pashley DH. (1996) Push-out strength and SEM evaluation of resin composite bonded to internal cervical dentin. *Endod Dent Traumatol*. 12 (5):227-36.
- Pérez AL, Spears R, Gutmann JL, Opperman LA (2003) Osteoblasts and MG-63 osteosarcoma cells behave differently in contact with ProRoot MTA and White MTA. *Int Endod J*. 36: 564-570.
- Peters CI, Peters OA (2002) Occlusal loading of EBA and MTA root-end fillings in a computer-controlled masticator: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*. 35(1):22-9
- Phillips M, McClanahan S, Bowles WA (2015) titration model for evaluating calcium hydroxide removal techniques. *J Appl Oral Sci*. 23 (1):94-100.
- Piekoff MD, Trott JR (1976) Apexification: report of case. *J Endod*. 2(6):182-5.
- Pineda Mejia M (2007) Clinical use of mineral trioxide aggregate (MTA) in periapical lesions and the treatment of root perforations *Odontol. Sanmarquina*. 10(1): 21-24
- Pistorius A, Willershausen B, Briseño B (2003) Effect of apical root-end filling materials on gingival fibroblasts. *Int Endod J*. 36: 610-615.
- Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasam SP (1996) Using mineral trioxide aggregate as a pulp-capping material. *J Am Dent Assoc*. 127: 1491- 94.
- Poggio C, Lombardini M, Alessandro C, Simonetta R. (2007) Solubility of root end filling materials: a comparative study. *J Endod*; 33: pp1094-97.

- Porkaew P, Retief H, Barfield RD, Lacefield WR, Soong S (1990) Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal. *J Endodontic*. 16:369–74.
- Purra AR, Ahangar FA, Chadgal S, Farooq R (2016) Mineral trioxide aggregate apexification: A novel approach. *J Conserv Dent*. 19(4):377-80.
- Rafter M (2005) Apexification: a review. *Dent Traumatol*. 21:1–8.
- Rahimi S, Shahi S, Lotfi M, Yavari HR, Charehjoo ME (2008) Comparison of microleakage with three different thicknesses of mineral trioxide aggregate as root-end filling material. *J Oral Sci*. Sep; 50(3):273-7.
- Ribeiro DA, Matsumoto MA, Duarte MAH (2005) In vitro biocompatibility tests of two commercial types of mineral trioxide aggregate. *Braz Oral Res*. 19: 183-187.
- Reyes-Carmona JF, Felipe MS, Felipe WT. (2010) The biomineralization ability of mineral trioxide aggregate and Portland cement on dentin enhances the push-out strength. *J Endod*. Feb;36(2):286-91
- Rezende TMB, Vargas DL, Cardoso FP, Sobrinho APR, Vieira LQ (2005) Effect of mineral trioxide aggregate on cytokine production by peritoneal macrophages. *Int Endod J*. 38: 896-903.
- Rezende TMB, Vieira LQ, Cardoso FP, Oliveira RR, Oliveira LQ (2007) The effect of mineral trioxide aggregate on phagocytic activity and production of reactive oxygen, nitrogen species and arginase activity by M1 and M2 macrophages. *Int Endod J*. 40: 603-611.
- Roberto M, Comelli R (1994) Alteraciones pulpares. Semiología, diagnóstico clínico e indicaciones de tratamiento. En: Leonardo M, Leal J, editores. Endodoncia. *Tratamiento de los conductos radiculares*. 2da edición. Buenos Aires. Editorial Médica-panamericana. 32-43.
- Roberts HW, Toth J, Berzins D, Charlton D (2008) Mineral trioxide aggregate material use in endodontic treatment: A review of the literature. *Dental Materials*. 24(2):149-64.
- Rosenberg B, Murray PE, Namerow K (2007) The effects of calcium hydroxide root filling on dentin fracture strength. *Dent Traumatol*. 23: 26-29.
- Roy CO, Jeansonne BG, Gerrets TF (2001) Effect of an acid environment on leakage of root-end filling materials. *J Endod*. 27(1):7-8.
- Roydhouse RH (1970) Punch-shear test for dental purposes. *J Dent Res*. 49: 131-6
- Rule D, Patel S (1999) Endodoncia en niños. En: Pitt Ford. *Endodoncia en la práctica clínica*.
- Safavi KE, Nichols FC (1994) Alteration of biological properties of bacterial lipopolysaccharide by calcium hydroxide treatment. *J Endod*. 20:127-129.
- Sarkar NK, Caicedo R, Ritwik P, Moiseyeva R, Kawashima I (2005) Physicochemical basis of the biologic properties of mineral trioxide aggregate. *J Endod*. 31(2):97-100.
- Sarris S, Tahmassebi JF, Duggal MS, Cross IA (2008) A clinical evaluation of mineral trioxide aggregate for root-end closure of non-vital immature permanent incisors in children- a pilot study. *Dent Traumatol*. 24 (1): 79-85.
- Schwartz RS, Mauger M, Clement DJ, Walker WA (1999) Mineral trioxide aggregate: a new material for endodontics. *J Am Dent Assoc*. 130: 967-75.

- Scheerer SQ, Steiman HR, Cohen JA (2001) comparative evaluation of three root-end filling materials: an in vitro leakage study using *Prevotella nigrescens*. *J Endod.* 27: 40-42.
- Schumacher JW, Rutledge RE (1993) An alternative to apexification. *J Endod.* 19:529-31.
- Shabahang S, Torabinejad M, Boyne P, Abedi H, McMillan PA (1999) comparative study of root end induction using osteogenic protein-1, calcium hydroxide, and Mineral trioxide aggregate in dogs. *J Endod.* 25(1) 1-5.
- Shahy PMM, Chong BS, Sidhu SK, Pitt Ford TR (1996) Radiopacity of potential root-end filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 81: 476-479.
- Shahi S, Rahimi S, Yavari HR, Shakouie S, Nezafati S, Abdolrahimi M (2007) Sealing ability of white and gray mineral trioxide aggregate mixed with distilled water and 0.12% chlorhexidine gluconate when used as root-end filling materials. *J Endod.* 33: 1429-32.
- Sheehy EC, Roberts GJ (1997) Use of calcium hydroxide for apical barrier formation and healing in non-vital immature permanent teeth: a review. *Br Dent J.* 183:241–6.
- Shipper G, Grossman ES, Botha AJ, Cleaton-Jones PE (2004) Marginal adaptation of mineral trioxide aggregate (MTA) compared with amalgam as a root-end filling material: a low-vacuum (LV) versus high-vacuum (HV) SEM study. *Int Endod J.* 37(5):325-36.
- Silva D, Andrade LM, Méndez V, Medellín FJ, Benavidez MV, González V (2000) physical and chemical analysis of mineral trioxide aggregate (MTA) by X-ray diffraction, calorimetry and SEM. *Revista ADM.* 57: 125-131.
- Silva Neto UX; Moraes IG. (2003) Sealing capacity by some materials when utilized under furcation perforations of human molars. *J Appl Oral Sci.*; 11(1):27-33.
- Silva RV, Silveira FF, Nunes E (2015) Apexification in non-vital teeth with immature roots: report of two cases. *Iran Endod J.* 10(1):79-81.
- Sluyk SR, Moon PC, Hartwell GR (1998) Evaluation of setting properties and retention characteristics of mineral trioxide aggregate when used as a furcation perforation repair material. *J Endod.* 24:768-71.
- Siqueira JF Jr, Rôças IN, Abad EC, Castro AJR, Gahyva SM, Favieri A (2001) Ability of three root-end filling materials to prevent bacterial leakage. *J Endod.* 27: 673-75.
- Siqueira JF Jr, Rôças IN, Lopes HP, Magalhães FA, de Uzeda M. (2003) Elimination of *Candida albicans* infection of the radicular dentin by intracanal medications. *J Endod.* ;29:501–504
- Simon S, Rilliard F, Berdal A, Machtou P (2007) The use of mineral trioxide aggregate in one-visit apexification treatment: a prospective study. *Int Endod J.* 40:186 –97.
- Soares I, Golberg F. (2002) Tratamiento de los dientes con rizogenesis incompleta. *Endodoncia Técnicas y Fundamentos*. Editorial. Panamericana. Buenos Aires .211-21
- Soares J, Santos S, Cesar C, Silva P, Sa M, Silveira F, Nunes E (2008) Calcium hydroxide induced apexification with apical root development: a clinical case report. *Int Endod J.* 41: 710–9.
- Sonali K, Suresh AV, Abhishek P, Jenish P (2016) Altered Apical Morphology (Reverse Architecture): Use of Indirect Ultrasonic Technique for Orthograde MTA Placement in Maxillary Premolars. *Case Rep Dent.*; doi: 10.1155/2016/1046405.



- Song JS, Mante FK, Romanow WJ, Kim S (2006) Chemical analysis of powder and set forms of Portland cement, gray ProRoot MTA, white ProRoot MTA, and gray MTA-Angelus. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 102: 809–15.
- Souza M, Cecchin D, Farina AP et al. (2012) Evaluation of chlorhexidine substantivity on human dentin: a chemical analysis. *Journal of Endodontics.* ; 38(9):1249–1252.
- Spyridon S, Tsatsas D, Kerezoudis N, Eliades G (2008) Comparative in vitro study of the sealing efficiency of white vs grey ProRoot mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. *Dental Traumatology.* 24: 207–213.
- Steiner JC, Dow PR, Cathey GM (1968) Inducing root end closure of non-vital permanent teeth. *J Dent Child.* 35(1):47-54.
- Steinig TH, Regan JD, Gutmann JL (2003) The use and predictable placement of Mineral Trioxide Aggregate in one-visit apexification cases. *Aust Endod J.* 29:34-42.
- Stefopoulos S, Tsatsas DV, Kerezoudis NP, Eliades G (2008) Comparative in vitro study of the sealing efficiency of white vs grey Pro-Root mineral trioxide aggregate formulas as apical barriers. *Dent Traumatol.* 24:207-13.
- Stewart G (1975) Calcium hydroxide-induced root healing. *J Am Dent Assoc.* 90(4):793-800.
- Storm B, Eichmiller FC, Tordik PA, Goodell GG (2008) Setting expansion of grey and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod.* 34: 80-82.
- Stowe TJ, Sedgley CM, Stowe B, Fenno JC (2004) the effects of chlorhexidine gluconate (0, 12%) on the antimicrobial properties of tooth-colored ProRoot mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 30: 429-431.
- Stuart KG, Miller CH, Brown CE, Jr, Newton CW. (1991) The comparative antimicrobial effect of calcium hydroxide. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* ; 72:101–104.
- Tabrizzade M, Asadi Y, Sooratgar A, Moradi S, Sooratgar H, Ayatollahi F (2014) Sealing ability of mineral trioxide aggregate and calcium-enriched mixture cement as apical barriers with different obturation techniques. *Iran Endod J.* 9(4):261-5.
- Tamse A, Katz A, Kablan F (1998) Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J.* 31: 333-37.
- Tang HM, Morrow SG, Kettering JD (1997) Endotoxin leakage of four root end filling materials. *J Endod.* 23:259-64
- Tang HM, Torabinejad M, Kettering JD (2002) Leakage evaluation of root end filling materials using endotoxin. *J Endod.* 28:5-7.
- Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR (1993) Sealing ability of a mineral trioxide aggregate when used as a root-end filling material. *J Endod.* 19: 591-95.
- Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR (1994) Dye leakage of four root-end filling materials: Effects of blood contamination. *J Endod.* 20: 159-63.
- Torabinejad M, Pitt Ford TR (1995a) Use of mineral trioxide aggregate or repair of furcal perforations, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod London, England* 79(6):756-63.
- Torabinejad M, Hong CU (1995b) Physical and chemical properties of a new root end filling material, *J. Endod.* 21(7):349-53.

- Torabinejad M, Rastegar, A (1995c) Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root end filling material, *J. Endod.* 21(3):109-12.
- Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR (1995 d) Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod.* 21(7):349-53.
- Torabinejad M, Smith P, Kettering J, Pitt-Ford T (1995 e) Comparative investigation of marginal adaptation of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of Endodontic.* 21: 295-99.
- Torabinejad M, Hong ChU, Pitt Ford TR, Kettering JD (1995f) Antibacterial effects of some root-end filling materials. *J Endod.* 21:403-406.
- Torabinejad M, Hong Chu, Pitt Ford TR, Kariyawasam SP (1995h) Tissue reaction to implanted Super-EBA and mineral trioxide aggregate in the mandible of guinea pigs: a preliminary report. *J Endod.* 21:569-571.
- Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR (1995i) Bacterial leakage of mineral trioxide aggregate as a root-end filling material. *J Endod.* 21:109-112.
- Torabinejad M, Chivian N (1999) Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endodontics.* 25(3):197-205
- Torabinejad M, Parirokh M (2010) Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review-Part II: leakage and biocompatibility investigations. *J Endod;* 36:190-202.
- Torabinejad M, Walton RE (2010) *Endodoncia. Principios y Práctica Clínica.* 4º Ed. Elsevier Saudens España.
- Torabinejad M (2014) Mineral Trioxide Aggregate: *Properties and Clinical Applications.* Ed: Offices. USA. 1 edition.114-125.
- Tselnik M, Baumgartner JC, Marshall JG (2004) Bacterial leakage with mineral trioxide aggregate or a resin-modified glass ionomer used as a coronal barrier. *J Endod.* 30: 782-784.
- Ulfohn SM, Gani O (2004) Capacidad de sellado inmediato y a distancia de MTA, cemento de Portland y amalgama en perforaciones del piso cameral. Tesis doctoral. Facultad de Odontología. UNC.
- Umashetty G, Patil B, Rao N, Ajaonkar N (2015) Apical Closure of Non vital Permanent Teeth: 15 Months Follow-up Study of Four Cases. *J Int Oral Health.* 7(5):71-3.
- Valois CRA, Costa E D Jr (2004) Influence of the thickness of mineral trioxide aggregate on sealing ability of root-end fillings in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 97:108-111.
- VanderWeele RA, Schwartz SA, Beeson TJ (2006) Effect of blood contamination on retention characteristics of MTA when mixed with different liquids. *J Endod.* 32: 421-424.
- Van Hassel HJ, Natkin E (1970) Induction of root end closure. *J Ont Dent Assoc.*47 (8):194-6.
- Veríssimo DM, do Vale MS (2006) Methodologies for assessment of apical and coronal leakage of endodontic filling materials: a critical review. *J Oral Sci.* 48(3):93-98.

- Vijayran M, Chaudhary S, Manuja N, Kulkarni AU (2013) Mineral trioxide aggregate (MTA) apexification: a novel approach for traumatized young immature permanent teeth. *BMJ Case Rep.* Jan 10. bcr2012008094.
- Walton RE, Torabinejad M (1990) *Endodoncia. Principios y Práctica Clínica.* 3°. Ed Interamericana. México. 397-412
- Walton RE, Torabinejad M. (2002) *Principles and practice of endodontics*, 3rd edn. USA: Saunders. 334–6.
- Walker MP, Diliberto A, Lee C (2006) Effect of setting conditions on mineral trioxide aggregate flexural strength. *J Endod*; 32:334-336.
- Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2007a) Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of white and grey mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 33(8): 970-973.
- Watts JD, Holt DM, Beeson TJ, Kirkpatrick TC, Rutledge RE (2007b) Effects of pH and mixing agents on the temporal setting of white and grey mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 33:970-973.
- West NM, Lieb RJ (1985) Biologic root-end closure on a traumatized and surgically resected maxillary central incisor: an alternative method of treatment. *Endod Dent Traumatol.* 1(4):146-9.
- Wiltbank K, Schwartz S, Schindler W (2007) Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endodontics.* 33: 12-35.
- Witherspoon DE, Ham K (2001) One-visit apexification: technique for inducing root-end barrier formation in apical closures. *Br Dent J.* 13:455–460.
- Witherspoon DE, Small JC, Regan JD, Nunn M (2008) Retrospective analysis of open apex teeth obturated with mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 34(10):1171-1176.
- Wu MK, Kontakiotis EG, Wesselink PR (1998) Long-term seal provided by some root-end filling materials. *J Endod.* 24(8):557-560.
- Xavier CB, Weismann R, Oliveira MG, Demarco FF, Pozza DH (2005) Root-end filling materials: apical microleakage and marginal adaptation. *J Endod.* 31: 539-542.
- Yang SF, Yang ZP, Chang KW (1990) Continuing root formation following apexification treatment. *Endod Dent Traumatol.* 6(5):232-5.
- Yatsushiro JD, Baumgartner JC, Tinkle JS (1998) Longitudinal study of the microleakage of two root-end filling materials using a fluid conductive system. *J Endod.* 24 (11):716-719.
- Yazdizadeh M, Bouzarjomehri Z, Khalighinejad N, Sadri L (2013) Evaluation of Apical Microleakage in Open Apex Teeth Using MTA Apical Plug in Different Sessions. *ISRN Dent.* Jun 24; 2013:959813.
- Zehnder M, Grawehr M, Hasselgren G, Waltimo T. (2003) Tissue-dissolution capacity and dentin-disinfecting potential of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* ; 96:608–613.