

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

**Estudio comparativo *in vitro* de la adaptación marginal de
dos materiales biocerámicos en obturaciones retrógradas**

Od. José Francisco Menéndez Sanchón

**Dra. Silvana Terán Ayala
Director de Trabajo de Titulación**

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Especialista en Endodoncia

Quito, 30 de octubre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Estudio comparativo *in vitro* de la adaptación marginal de dos materiales biocerámicos en obturaciones retrógradas

Od. José Francisco Menéndez Sanchón

Dr. José Eduardo Maldonado Paredes

Especialista en Endodoncia

Director del Programa de Endodoncia

Dra. Paulina Aliaga Sancho

Especialista en Cirugía Oral y Maxilofacial

Decano de la Escuela de Odontología

PhD. Hugo Burgos

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, octubre 2020

© Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombre del estudiante: José Francisco Menéndez Sanchón

Código de estudiante: 00203306

C. I.: 0925700452

Quito, octubre de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación *in vitro* fue comparar la adaptación marginal del Endosequence Root Repair Material (ERRM) y del Bio-C Repair cuando son utilizados en obturaciones retrógradas. Veinte dientes unirradiculares extraídos fueron estandarizados a 15 milímetros. Las raíces remanentes fueron instrumentadas empleando el sistema WaveOne Gold; posteriormente, fueron obturadas con gutapercha y cemento AH Plus mediante la técnica de onda continua. Luego, con una fresa Zekrya, fueron seccionados los 3 mm apicales de la raíz. La preparación retrógrada ulterior se realizó con puntas ultrasónicas E32D (NSK). A continuación, los 20 especímenes se dividieron aleatoriamente en dos grupos: Grupo A, en el cual las muestras se retrobturaron con ERRM en pasta; y Grupo B, en el que se usó Bio-C Repair para la obturación retrógrada. Por intermedio de un microscopio electrónico de barrido, se obtuvieron microfotografías a diferentes magnificaciones con el fin de medir, en ambos grupos, los espacios entre el material de retrobturación y las paredes de dentina. Los resultados indicaron que el ERRM en pasta presentó un espacio medio de 6.43 micras, mientras que para el Bio-C Repair, el espacio medio fue de 7.5 micras. Las pruebas estadísticas indicaron que no hubo diferencias significativas entre los dos grupos, incluso a diferentes niveles. En conclusión, el Endosequence Root Repair Material y el Bio-C Repair presentan una adaptación marginal similar cuando se utilizan en obturaciones retrógradas.

Palabras clave: Obturación retrógrada, adaptación marginal, Endosequence Root Repair Material, Bio-C Repair.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare marginal adaptation of Endosequence Root Repair Material (ERRM) and Bio-C Repair, as root-end filling materials. Twenty extracted, single-rooted teeth were standardized to 15 millimeters. The remaining roots were prepared using the WaveOne Gold system; subsequently, they were obturated with gutta-percha and AH Plus sealer using the continuous wave technique. Then, the apical 3 mm of the root was sectioned with a Zekrya bur. Root-end preparation was done with E32D ultrasonic tips (NSK). Samples were randomly allocated in two groups: Group A, in which root-end cavities were filled with ERRM paste; and Group B, in which Bio-C Repair was used for root-end filling. Scanning electron microscope (SEM) images at different magnifications were used in order to measure the gaps between both retrofilling materials and dentin walls. Results showed that ERRM paste showed a mean gap of 6.43 μm , while for Bio-C Repair, the mean gap was 7.5 μm . Statistical analysis revealed that there were no significant differences between the two groups, even at different levels. In conclusion, Endosequence Root Repair Material paste and Bio-C Repair have similar marginal adaptation when used as root-end fillings.

Key words: Root-end filling, marginal adaptation, Endosequence Root Repair Material, Bio-C Repair.

TABLA DE CONTENIDO

1.- INTRODUCCIÓN	16
1.1.- Justificación	19
1.2.- Objetivos.....	22
1.2.1.- Objetivo General.....	22
1.2.2.- Objetivos Específicos	22
1.3.- Hipótesis	23
1.3.1.- Hipótesis nula	23
1.3.2.- Hipótesis alternativa	23
2.- REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	24
2.1.- Endodoncia: concepto, objetivo, pronóstico	24
2.2.- Fracaso en el tratamiento de Endodoncia.....	25
2.3.- Cirugía apical	26
2.3.1.- Objetivo	26
2.3.2.- Pronóstico.....	26
2.3.3.- Indicaciones	27
2.3.4.- Contraindicaciones	27
2.3.5.- Pasos	27
2.3.5.1.- Anestesia	28
2.3.5.2.- Incisión y levantamiento de colgajo	28
2.3.5.3.- Hemostasia.....	30
2.3.5.4.- Osteotomía	30
2.3.5.5.- Curetaje.....	31
2.3.5.6.- Resección radicular	32
2.3.5.7.- Preparación radicular	32

2.3.5.8.- Obturación retrógrada	33
2.3.5.8.1.- Objetivos de la obturación retrógrada.....	33
2.3.5.8.2.- Propiedades ideales del material de obturación retrógrada.....	34
2.3.5.8.3.- Materiales de obturación retrógrada	35
2.3.5.8.3.1.- Agregado trióxido mineral (MTA).....	36
2.3.5.8.3.2.- Endosequence Root Repair Material.....	40
2.3.5.8.3.3.- Biodentine	50
2.3.5.8.3.4.- iRoot BP Plus.....	53
2.3.5.8.3.5.- Bio-C Repair	55
2.3.5.8.3.6.- Otros materiales de obturación retrógrada	61
2.3.5.9.- Reposicionamiento del colgajo	62
2.3.5.10.- Sutura.....	62
2.4.- Adaptación marginal	63
3.- METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	64
3.1.- Tipo de investigación.....	64
3.2.- Población y muestra	64
3.3.- Criterios de inclusión	65
3.4.- Criterios de exclusión	65
3.5.- Criterios de eliminación.....	66
3.6.- Operacionalización de las variables	66
3.7.- Listado de materiales y equipos utilizados	67
3.8.- Procedimiento	69
3.8.1.- Recolección y preparación de las muestras	69
3.8.2.- Estandarización de las muestras.....	70
3.8.3.- Evaluación radiográfica de las muestras	71
3.8.4.- Instrumentación de las raíces.....	72
3.8.5.- Obturación de las raíces	75
3.8.6.- Preparación retrógrada	79
3.8.8.- Obturación retrógrada.....	81
3.8.9.- Seccionamiento de muestras	85

3.8.10.- Preparación de muestras previo a la observación en SEM	87
3.8.11.- Método para la observación de las muestras en el SEM	90
3.8.12.- Observación de muestras en SEM y selección de microfotografías.....	92
3.8.13.- Medición de espacios	96
4.- RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS	97
5.- DISCUSIÓN.....	112
6.- CONCLUSIONES.....	122
7.- RECOMENDACIONES.....	123
8.- REFERENCIAS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. ProRoot MTA gris y ProRoot MTA blanco	37
Figura 2. Endosequence Root Repair Material en putty.....	40
Figura 3. Endosequence Root Repair Material en pasta inyectable.....	41
Figura 4. Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty (Brasseler USA)	42
Figuras 5 y 6. Porción de Endosequence Root Repair Material en putty lista para ser llevada a la cavidad.....	47
Figuras 7, 8, 9 y 10. Colocación, condensación, eliminación de excesos y verificación de posición del Endosequence Root Repair Material	48
Figura 11. Biodentine	50
Figura 12. iRoot BP Plus	53
Figura 13. Bio-C Repair.....	55
Figura 14. Porción de Bio-C Repair	60
Figura 15. Muestras seleccionadas	69
Figura 16. Establecimiento de longitud de las muestras en 15 mm.....	70
Figura 17. Corte transversal de las muestras con disco de diamante	70
Figuras 18 y 19. Radiografías periapicales iniciales del primer grupo de muestras.....	71
Figura 20 y 21. Radiografías periapicales iniciales del segundo grupo de muestras.....	71
Figura 22. Permeabilización con lima #10	72
Figura 23. Irrigación	72
Figura 24. Verificación de longitud de lima K #10 en un mini endo-bloc	73
Figura 25. Lima ProGlider.....	73
Figuras 26 y 27. Calibración e instrumentación con limas WaveOne Gold Large	74
Figura 28. Cono principal Figura 29. Cemento AH Plus.....	75
Figura 30. Corte de cono principal.....	76
Figura 31. Remoción de gutapercha con heat plugger azul (60/06)	76
Figura 32. Backfill con el sistema de obturación BeeFill 2 en 1	77
Figura 33. Compactación de la gutapercha termoplastificada	77
Figuras 34 y 35. Obturación del primer grupo de muestras.....	78

Figuras 36 y 37. Obturación del segundo grupo de muestras.....	78
Figura 38. Seccionamiento de los 3 mm. apicales de la raíz.....	79
Figura 39. Punta ultrasónica E32D (NSK)	79
Figura 40. Preparación retrógrada con punta ultrasónica E32D (NSK)	80
Figura 41. Endosequence Root Repair Material en pasta	81
Figura 42. Colocación del Endosequence Root Repair Material en pasta.....	81
Figura 43. Bio-C Repair.....	82
Figura 44. Aplicación de Bio-C Repair	82
Figura 45. Obturación retrógrada del primer grupo de muestras.....	83
Figura 46. Obturación retrógrada del segundo grupo de muestras.....	83
Figura 47. Envase para muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta	84
Figura 48. Envase para muestras de Bio-C Repair	84
Figura 49. Corte longitudinal de las muestras	85
Figura 50. Muestra seccionada obturada de forma retrógrada con ERRM.....	85
Figura 51. Muestra seccionada obturada de forma retrógrada con Bio-C Repair	86
Figura 52. Muestras listas para ser sometidas a procedimientos de laboratorio	86
Figura 53. Muestras colocadas sobre una capa de cinta de carbono.....	87
doble faz en portamuestras y separadas por grupo	87
Figura 54. Muestras colocadas sobre el soporte del evaporizador de oro	88
Figura 55. Evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R	89
Figura 56. Recubrimiento de las muestras con oro	89
Figura 57. Material de obturación retrógrada dividido por niveles	90
Figura 58. Material de obturación retrógrada dividido por cuadrantes	91
Figura 59. Microfotografía a 263x en la que se observan los 3 mm. del material de retrobturación.....	92
Figura 60. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 1° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A).....	93
Figura 61. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 1° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B).	93
Figura 62. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 2° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A).....	94
Figura 63. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 2° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B)	94

Figura 64. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 3° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A).....	95
Figura 65. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 3° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B)	95
Figura 66. Medición de espacios en la interfase material de obturación retrógrada-dentina con el programa Image J	96
Figura 67. Distribución normal de los espacios a nivel del 3° mm de las muestras	101
Figura 68. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 3° mm de las muestras	102
Figura 69. Distribución normal de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras de Endosequece Root Repair Material	102
Figura 70. Distribución normal de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras de Bio-C Repair.....	103
Figura 71. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras	103
Figura 72. Distribución normal de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras de Endosequence Root Repair Material	104
Figura 73. Distribución normal de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras de Bio-C Repair.....	104
Figura 74. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables	66
Tabla 2. Espacios promedio en muestras de grupo A.....	97
Tabla 3. Espacios promedio en muestras de grupo B.....	98
Tabla 4. Espacio promedio final entre dentina y material de obturación retrógrada según grupo de estudio	99
Tabla 5. Espacios promedio entre dentina y material de obturación retrógrada a 1, 2 y 3 mm, por grupo de estudio.....	99
Tabla 6. Prueba de Shapiro-Wilk de normalidad de distribución de datos	100
Tabla 7. Prueba T de Student para muestras independientes comparando los espacios promedio en el grupo A y en el grupo B.....	106
Tabla 8. Pruebas T Student para muestras independientes. Comparación intergrupar por nivel	108
Tabla 9. Pruebas T Student para muestras relacionadas. Comparación intragrupal ERRM.....	110
Tabla 10. Pruebas T Student para muestras relacionadas. Comparación intragrupal Bio-C Repair.....	110

1.- INTRODUCCIÓN

La terapia endodóntica tiene como fin último eliminar la enfermedad pulpar y periapical, de tal manera que se pueda promover la reparación del tejido perirradicular. Existen situaciones en las cuales los métodos ortógrados (endodoncia convencional y retratamiento no quirúrgico) no llegan a tener éxito por distintos motivos, por lo que se recurre a una cirugía periapical como última alternativa para preservar la pieza dentaria. La cirugía periapical consta de tres técnicas básicas: el legrado apical, la apicectomía y la obturación retrógrada (Canalda Sahli & Aguade, 2019).

La obturación retrógrada o retrobturación se refiere a la colocación de un material restaurador en una preparación efectuada en la parte apical de la raíz del diente durante una cirugía periapical. Su objetivo es establecer un sellado hermético para prevenir la salida de microorganismos y sus toxinas del espacio del conducto hacia los tejidos perirradiculares (Abusrewil, 2018).

A través de los años, se han utilizado una gran variedad de materiales de obturación retrógrada; sin embargo, el MTA, a causa de sus propiedades superiores corroboradas en estudios *in vivo* e *in vitro*, ha sido considerado como el prototipo ideal por muchos años. Este producto, creado por Mahmoud Torabinejad en 1993, ha demostrado poseer una excelente biocompatibilidad, un buen sellado, realza la proliferación celular y promueve la mineralización (Rifaey et al., 2016).

Además, el estudio de Çalışkan reportó un elevado porcentaje de reparación en un lapso entre 2 a 6 años en los casos de microcirugía apical en los que se usó MTA (Çalışkan et al., 2016). Por otra parte von Arx reveló que, cuando el MTA se empleó como agente retrobturador, se alcanzó un porcentaje de éxito del 81.5% a los diez años, lo que se considera bastante aceptable (von Arx et al., 2019).

A pesar de las ventajas ofrecidas por el MTA, también tiene ciertas características indeseables como: dificultad para colocar en las cavidades de preparación retrógrada, tiempo de endurecimiento tardío, y una posible discromía de la estructura dental remanente (M. R. Kohli et al., 2015).

Para superar estas limitaciones, se introdujeron al mercado distintos materiales, uno de ellos es el Endosequence Root Repair Material (Brasseler, Savannah, GA, USA). Este es un cemento a base de silicato de calcio con propiedades clínicas deseables: es biocompatible, estable químicamente, es de fácil manipulación y exhibe actividad antibacteriana contra el *Enterococcus faecalis* (Shinbori et al., 2015). Los fabricantes afirman que tiene propiedades físicas y mecánicas comparables a las del MTA, pero con características de endurecimiento y manipulación superiores (Nair et al., 2011).

Otro material, lanzado hace poco tiempo al mercado, es el Bio-C Repair (Angelus, Londrina, PR, Brasil). Este es un cemento biocerámico cuya consistencia es en forma de *putty*, que posee mejoras en términos de manipulación e inserción con relación al MTA (López-García et al., 2019). Su composición incluye: silicato de calcio, óxido de calcio, óxido de hierro, dióxido de silicio y un agente dispersante (Benetti et al., 2019).

Un factor muy importante que tiene incidencia en el éxito de una cirugía apical, es la adaptación marginal de los materiales de obturación retrógrada a ser utilizados. Esta propiedad determinará si el material es adecuado para su uso clínico (Nagesh et al., 2016); además, nos proporcionará información sobre su capacidad de sellado (Noushin Shokouhinejad et al., 2014), lo cual es esencial para un pronóstico favorable (Jung et al., 2020).

Los estudios que comparan la adaptación marginal del Endosequence Root Repair Material y del Bio-C Repair como agentes de obturación retrógrada son prácticamente inexistentes. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación será comparar *in vitro*, mediante el uso del microscopio electrónico de barrido, la adaptación marginal de estos dos cementos.

1.1.- Justificación

En la actualidad, la cirugía apical es considerada como una opción de tratamiento predecible para poder salvar una pieza dental con patología apical que no haya podido ser resuelta mediante un abordaje no quirúrgico. Por intermedio de la cirugía apical, se debe establecer un sellado óptimo para prevenir la filtración de irritantes hacia los tejidos periapicales y crear de esta manera un entorno favorable para la reparación. Este sellado se puede alcanzar mediante la aplicación de un material de obturación retrógrada (Torul et al., 2018).

Es comprensible entonces, que uno de los requerimientos más importantes que deben cumplir los materiales de obturación retrógrada es su capacidad de sellado (Solanki et al., 2018). Para esto, deberían adaptarse firmemente a la dentina, de tal forma que puedan impedir el egreso de toxinas bacterianas e irritantes microbianos al periodonto adyacente (El-Aziz, 2017) para así, evitar el fracaso del tratamiento (Tesis, 2014).

En otras palabras, el pronóstico de una cirugía apical se verá afectado por fallas en la adaptación marginal del material retrobturador, así como por la existencia de espacios en su interfase con la dentina (Oliveira et al., 2013).

Por lo tanto, un sellado hermético entre el material de retrobturación y las paredes de los conductos radiculares constituye un factor significativo que influye favorablemente en el éxito de este tipo de intervención quirúrgica (Jung et al., 2020).

Estas afirmaciones coinciden con los hallazgos de Taschieri, quien reportó que la causa más común de fracaso en cirugía apical incluyen la ausencia de un material de obturación retrógrada y también, la presencia de espacios entre el agente de retrobturación y la dentina (Taschieri et al., 2011).

La evaluación de la adaptación marginal, por medio del microscopio electrónico de barrido (SEM), puede proporcionar información valiosa con respecto a la habilidad de los agentes de retrobturación de proveer un sellado apical adecuado (Noushin Shokouhinejad et al., 2014) (Mahmoud Torabinejad & Rubinstein, 2017).

Este equipo es muy útil para visualizar la adaptación de un material restaurador a los márgenes de la cavidad, debido a su profundidad de enfoque adecuada y a su mayor magnificación. Además, permite mejor visualización de estructuras irregulares en la dentina radicular, sin alterar el enfoque y permite generar datos de forma digital (Bansal et al., 2019). Por estas razones, y también por su disponibilidad, este equipo es una opción viable para poder desarrollar la presente investigación.

Uno de los cementos biocerámicos desarrollados recientemente es el Bio-C Repair. Este material ha estado disponible comercialmente por muy poco tiempo, por lo que hay insuficiente información sobre sus distintas propiedades, incluyendo todo lo relacionado a su rol como material de obturación retrógrada.

Por otra parte, en la única investigación publicada sobre la adaptación marginal del Endosequence Root Repair Material en pasta (Shokouhinejad et al., 2014), los resultados no fueron satisfactorios, debido a que la adaptación material de este material resultó deficiente. Será necesario entonces corroborar este hecho mediante investigaciones adicionales.

Dado que ningún material de obturación retrógrada cumple con todos los requerimientos necesarios para ser utilizado en cirugía apical (Rotstein & Ingle, 2019), es evidente que resulta fundamental encontrar agentes que sean capaces de reunir todas las propiedades consideradas ideales, de tal manera que puedan servir como alternativas al MTA. Un avance significativo sería determinar qué tipo de cemento tiene mejor adaptación marginal, lo que puede dar una idea de la calidad de su sellado.

En la siguiente investigación se decidió analizar un nuevo material biocerámico, el Bio-C Repair, junto con uno de los agentes más prometedores en la actualidad, que es el Endosequence Root Repair Material. Este trabajo permitirá comprobar qué tan idóneos son ambos productos para conseguir un correcto sellado durante una cirugía apical. De esta forma, se podrá aportar con evidencia para confirmar o descartar su uso como materiales de retrobturación.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo General

Comparar *in vitro*, mediante microscopio electrónico de barrido, la adaptación marginal de dos materiales biocerámicos: Endosequence Root Repair Material en pasta (ERRM) y Bio-C Repair, cuando son aplicados en obturaciones retrógradas.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Registrar en micras los espacios entre la dentina y los dos cementos a nivel del tercio apical.
- Determinar si existen diferencias entre los espacios de la interfase ERRM-dentina con los espacios de la interfase Bio-C Repair-dentina a tres niveles: 1, 2 y 3 milímetros de la cavidad retrógrada.
- Hallar posibles diferencias intragrupalas en los espacios de la interfase material de obturación retrógrada-dentina en las muestras de ERRM y Bio-C Repair.

1.3.- Hipótesis

1.3.1.- Hipótesis nula

La adaptación marginal del Endosequence Root Repair Material en pasta y del Bio-C Repair es similar en obturaciones retrógradas

1.3.2.- Hipótesis alternativa

La adaptación marginal del Endosequence Root Repair Material en pasta y del Bio-C Repair es diferente en obturaciones retrógradas

2.- REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1.- Endodoncia: concepto, objetivo, pronóstico

La Endodoncia es la rama de la odontología que se ocupa de la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental y los tejidos perirradiculares. Su estudio y práctica abarca las ciencias clínicas y básicas, incluyendo la biología normal de la pulpa. Asimismo, comprende la etiología, diagnóstico, prevención y tratamiento de las enfermedades y lesiones de la pulpa, con sus afecciones perirradiculares asociadas (American Association of Endodontists, 2016). El objetivo principal de la terapia endodóntica es evitar la infección periapical o revertirla en caso de estar presente, de tal forma que se pueda restaurar la integridad del tejido periapical, para así, mantener la funcionalidad de la pieza dental (Nascimento et al., 2018).

El tratamiento endodóntico inicial es altamente exitoso cuando el diagnóstico y los aspectos técnicos son ejecutados cuidadosamente. Muchos estudios han reportado una tasa de supervivencia superior al 90% para los dientes sometidos a este tratamiento. Por ejemplo, Lazarski reportó una tasa de supervivencia funcional del 94% para 44,613 casos durante 3 años y medio en los Estados Unidos (Lazarski et al., 2001). En otra publicación, Salehrabi y Rotstein hicieron un seguimiento durante ocho años de 1'462,936 dientes endodonciados e informaron que el 97% permanecía retenido en la cavidad oral (Salehrabi & Rotstein, 2004). Chen, por su parte, advirtió una supervivencia del 93% en un periodo de 5 años para 1.5 millones de dientes con un tratamiento de endodoncia inicial (Chen et al., 2007).

2.2.- Fracasos en el tratamiento de Endodoncia

En ocasiones, a pesar de un correcto diagnóstico y un procedimiento ejecutado cuidadosamente, el tratamiento de Endodoncia puede fracasar. Es decir, puede haber una recurrencia de signos y síntomas clínicos, junto con la presencia de una radiolucidez periapical (Tabassum & Khan, 2016). Esta periodontitis perirradicular puede persistir por causas microbianas o no microbianas (Rotstein & Ingle, 2019).

Las causas microbianas incluyen: remoción inadecuada de la infección intrarradicular durante los procedimientos operatorios, infección endodóntica extrarradicular y una posible filtración coronal a causa de una restauración inadecuada. La eliminación deficiente de los contenidos sépticos del sistema de conductos radiculares es generalmente debido a la presencia de complejidades anatómicas no fácilmente accesibles, procedimientos de limpieza, desinfección y obturación inadecuados, accidentes intraoperatorios y conductos sin tratar. Las causas no microbianas son las siguientes: depósitos de cristales de colesterol en lesiones perirradiculares, quistes verdaderos, y reacciones a cuerpos extraños debido a la extrusión de materiales en el área perirradicular. Asimismo, la presencia de cracks o fracturas radiculares no visibles en la radiografía, una reabsorción radicular extensa o una severa lesión endoperiodontal también pueden ser causas de fracaso del tratamiento de Endodoncia (Rotstein & Ingle, 2019).

Cuando la endodoncia inicial fracasa, la opción primaria para salvar la pieza dental, en la mayoría de casos, es un retratamiento no quirúrgico (Nepal et al., 2020). No obstante, este abordaje también puede fallar o puede que no sea factible de realizar. Es entonces que se realiza una cirugía apical para tratar de solucionar la patología periapical persistente.

2.3.- Cirugía apical

La cirugía apical es un procedimiento perteneciente al campo de la cirugía endodóntica, que involucra mucho más que el corte del ápice radicular y la aplicación de un material en la cavidad retrógrada. Es una opción viable para tratar aquellas piezas dentales que presenten signos y/o síntomas clínicos/radiográficos persistentes después de haber fracasado el manejo endodóntico no quirúrgico (Chan et al., 2020).

2.3.1.- Objetivo

El propósito de una cirugía apical es sellar todos los portales de salida desde el sistema de conductos radiculares, eliminando microorganismos y otros antígenos para evitar la contaminación de la zona periapical, proporcionando así un ambiente favorable para la reparación de la zona afectada, con lo que se conseguirá mantener la dentición natural (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.2.- Pronóstico

En un metanálisis, Seltzer reportó que la tasa de éxito de la cirugía endodóntica moderna es del 94% (Setzer et al., 2012). Más recientemente, un estudio de cohorte retrospectivo concluyó que la microcirugía endodóntica resulta en elevados porcentajes de reparación (78.3%) y supervivencia (95.2%) (Huang et al., 2020).

2.3.3.- Indicaciones

Una cirugía apical podría estar indicada en aquellos casos previamente tratados y que presentan complejidades anatómicas que impiden una adecuada limpieza, conformación y obturación del sistema de conductos radiculares a través de un acceso coronal. Estas complejidades incluyen curvatura severa, dens in dente, calcificaciones del conducto, etc. Otra situación en que se puede realizar una cirugía apical es cuando existe algún poste o material de obturación cuya remoción podría poner en riesgo la integridad estructural del diente. También, cuando la pieza dental permanece sintomática después de haber sido tratada por vía ortógrada. Por último, se puede considerar hacer un abordaje quirúrgico en casos de escalones, instrumentos separados o sobreobturaciones (Rotstein & Ingle, 2019)

2.3.4.- Contraindicaciones

Cuando el diente no tiene función (no tiene antagonista o no tiene importancia estratégica, es decir, como pilar en una prótesis fija), cuando no es restaurable, cuando tiene soporte periodontal inadecuado o cuando se detecta una fractura vertical (von Arx, 2011).

2.3.5.- Pasos

La secuencia de pasos en una cirugía apical son: anestesia, incisión y levantamiento de colgajo, hemostasia, acceso al ápice radicular a través de una osteotomía, resección radicular, preparación retrógrada, sellado del sistema de conductos con un material de obturación retrógrada, reposicionamiento del colgajo y sutura (Mahmoud Torabinejad et al., 2014).

2.3.5.1.- Anestesia

Una anestesia profunda es esencial para una cirugía apical. Tiene tres propósitos: crear un completo confort en el paciente, conseguir hemostasia durante el procedimiento quirúrgico, y controlar el dolor. Obtener una anestesia local profunda y establecer una hemostasia efectiva depende de la selección de la solución anestésica local, del uso adecuado de un vasoconstrictor, de utilizar una técnica de inyección adecuada, de la velocidad de inyección y del suministro de una inyección suplementaria cuando sea necesario (Rotstein & Ingle, 2019).

La solución anestésica de elección para una cirugía apical es lidocaína al 2% con una concentración de epinefrina de 1:50 000. Es preferible esta alta concentración de epinefrina porque produce una vasoconstricción efectiva y duradera a través de la activación de los receptores α -adrenérgicos en el músculo liso de las arteriolas. Esto evita que el anestésico salga prematuramente por la microcirculación (Kim & Kratchman, 2017).

2.3.5.2.- Incisión y levantamiento de colgajo

Un diseño apropiado del colgajo y un correcto manejo de los tejidos blandos son muy importantes para poder ejecutar una cirugía periapical. El propósito primario del diseño y elevación del colgajo es proporcionar un acceso quirúrgico adecuado al hueso subyacente y a la estructura radicular. Además, debe promover una reparación de los tejidos blandos sin que queden cicatrices (Kim & Kratchman, 2017).

La incisión y el diseño del colgajo deben ser elegidos de acuerdo con parámetros clínicos y radiográficos. Los parámetros clínicos incluyen: condición, biotipo y ancho de los tejidos gingivales, presencia de un margen de restauración, y demandas estéticas del paciente. Los parámetros radiográficos consisten en la ubicación y extensión de la lesión periapical, así como el estado del periodonto marginal (von Arx, 2011). Otros factores importantes a considerar durante el diseño de los colgajos son: localización de la línea del labio, profundidad del vestíbulo, inserciones musculares, localización del frenillo, número de dientes involucrados en la cirugía, longitud de los dientes a tratar y la proximidad de estructuras vitales (Rotstein & Ingle, 2019).

Existen cuatro diseños principales de colgajo en microcirugía endodóntica: colgajo rectangular submarginal, indicado en zonas donde la estética es primordial; colgajo triangular submarginal, utilizado cuando se tratan dientes anteriores con raíces cortas y restauraciones coronarias; colgajo rectangular sulcular, cuando los dientes no están recubiertos con coronas o para exponer alguna fractura vertical; y colgajo triangular sulcular, empleado en dientes posteriores (Kim & Kratchman, 2017).

La incisión debe ser desarrollada cortando completamente a través de la encía adherida, mucosa y periostio hacia el hueso. Idealmente, esto debería ser realizado en un solo movimiento. Las incisiones generalmente se ejecutan con una hoja de bisturí 15C. Una vez realizada la incisión, con instrumentos especiales se separa la mucosa del periostio y se eleva el colgajo, el cual se mantiene en posición con retractores apropiados (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.5.3.- Hemostasia

La obtención de hemostasia local durante una endodoncia quirúrgica es esencial para manejar exitosamente este procedimiento. La hemostasia durante la cirugía periapical se logra principalmente por medio de la epinefrina presente en el anestésico local (Rotstein & Ingle, 2019).

Los agentes hemostáticos locales utilizados durante la intervención endodóntica quirúrgica son buenos complementos para la hemostasia y están destinados a controlar el sangrado de pequeños vasos sanguíneos. Muchos agentes hemostáticos han sido sugeridos para usar durante una cirugía apical. El mecanismo de acción, la capacidad para controlar el sangrado y el efecto de estos agentes sobre la reparación varían considerablemente. Generalmente ayudan en la coagulación al inducir rápidamente el desarrollo de un coágulo sanguíneo (Rotstein & Ingle, 2019).

Los agentes hemostáticos más utilizados en cirugía endodóntica son: cera para hueso, pellets de epinefrina, sulfato férrico, sulfato de calcio, materiales a base de colágeno, Surgicel, Gelfoam, cloruro de aluminio y HemCon (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.5.4.- Osteotomía

La osteotomía consiste en la remoción del hueso cortical y esponjoso para exponer el ápice a tratar. Es fundamental una tomografía de haz cónico (CBCT) previa para determinar la localización y el tamaño de las lesiones periapicales (Rotstein & Ingle, 2019).

Asimismo, la CBCT será importante para establecer la proximidad con estructuras vitales (agujero mentoniano, nervio mandibular, seno maxilar, etc.) y el grosor del hueso cortical (Rotstein & Ingle, 2019).

Una vez que se ha localizado con exactitud el ápice, el hueso cortical es removido lenta y cuidadosamente bajo una abundante irrigación de agua. Usualmente se utiliza una fresa redonda con unos movimientos ligeros de cepillado. También se puede emplear una fresa Lindemann montada en una pieza de mano quirúrgica cuya angulación sea de 45 grados (Kim & Kratchman, 2017).

La extensión de la osteotomía depende del tamaño de los instrumentos. Es decir, debe ser lo suficientemente amplia para permitir la manipulación de las puntas ultrasónicas dentro de la cripta ósea. Considerando que la longitud de una punta ultrasónica es de 3 mm., el diámetro ideal de una osteotomía es de aproximadamente 4 mm., dejando un espacio suficiente para manipular la punta ultrasónica y los microinstrumentos dentro de sus confines (Kim & Kratchman, 2017).

2.3.5.5.- Curetaje

El objetivo del curetaje periapical es la remoción del tejido blando patológico que rodea el ápice. Este procedimiento permite un acceso óptimo y visibilidad de la zona quirúrgica. El tejido blando se debe despegar cuidadosamente con unas curetas adecuadas, tales como: curetas óseas de Lucas #86, curetas periodontales Columbia 11/12 y curetas periodontales 13/14 (Rotstein & Ingle, 2019).

La cavidad debe examinarse bajo magnificación para asegurar una cripta ósea limpia y sin restos de tejido. La inyección de un anestésico local facilita la remoción de la lesión, reduce el dolor y las molestias durante el resto de la operación (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.5.6.- Resección radicular

Una vez que se ha eliminado el tejido de granulación, es necesario extirpar 3 mm de la punta del ápice en sentido perpendicular al eje longitudinal de la raíz. Kim y Kratchman sugirieron 3 mm. porque de esta manera se incluye el 98% de las ramificaciones apicales y el 93% de los conductos laterales. No se recomienda remover más de 3 mm., para poder preservar entre 7 y 9 mm. de longitud de la raíz, necesarios para la estabilidad del diente (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.5.7.- Preparación radicular

La preparación radicular consiste en crear una cavidad de clase I de por lo menos 3 mm. en la dentina radicular, con paredes paralelas dentro del contorno anatómico dentro del espacio del conducto radicular. Para este fin se utilizan puntas ultrasónicas, cuyas ventajas sobre las fresas rotatorias son: permiten una preparación con una profundidad uniforme, facilidad de preparar el istmo, siguen la dirección de los conductos, limpian mejor la superficie de los canales, producen preparaciones apicales más pequeñas, y ocasionan menos fatiga para el operador (Kim & Kratchman, 2017) (Rotstein & Ingle, 2019).

2.3.5.8.- Obturación retrógrada

La obturación retrógrada consiste en la aplicación de un material restaurador en una cavidad preparada en la parte apical de la raíz, para así mejorar el sellado del conducto radicular (American Association of Endodontists, 2016). El Sayed asegura que este es el paso más importante para lograr que la cirugía apical sea un éxito (El Sayed & Saeed, 2012).

2.3.5.8.1.- Objetivos de la obturación retrógrada

El propósito de la obturación retrógrada es crear un sellado físico hermético para prevenir la salida de microorganismos o sus subproductos desde el sistema de conductos radiculares hacia los tejidos perirradiculares (Chong & Pitt Ford, 2005). Esto es razonable tomando en cuenta que la mayoría de fracasos en endodoncia ocurren como consecuencia de la filtración de irritantes y microbios desde los conductos radiculares infectados (Priyanka, 2013). Por lo tanto, los materiales que sean colocados en la cavidad retrógrada deben bloquear las vías de comunicación entre el sistema de conductos radiculares y los tejidos adyacentes para asegurar el éxito de la endodoncia a largo plazo (Wang, 2015).

El éxito definitivo de la cirugía apical se basa en la regeneración del aparato de inserción periodontal funcional, incluyendo el cemento sobre la superficie radicular seccionada, ligamento periodontal y hueso alveolar (Solanki et al., 2018).

Para alcanzar este objetivo, se recomienda que el material de obturación retrógrada, además de prevenir el egreso de bacterias y sus subproductos remanentes, también permita el desarrollo de un periodonto normal a través de su superficie (Solanki et al., 2018).

2.3.5.8.2.- Propiedades ideales del material de obturación retrógrada

Los requerimientos de un material de obturación retrógrada ideal se encuentran bien documentados en la literatura. Casi todos los materiales restauradores odontológicos o cementos disponibles en algún momento fueron sugeridos para ser empleados en una retrobturación. Como resultado, hay un sinnúmero de estudios cuyos resultados a veces son conflictivos o inconsistentes (Chong & Pitt Ford, 2005).

Uno de los requerimientos más importantes para cualquier material de obturación retrógrada es la adhesión a la estructura dentaria. El material debe ser capaz de unirse completamente a las paredes dentinarias para poder sellar herméticamente la preparación radicular, de tal forma que se impida la entrada o salida de bacterias desde el sistema de conductos radiculares (Kim, 2018).

Otra propiedad importante es la biocompatibilidad. Dado que los materiales de retrobturación entran en contacto con los tejidos perirradiculares, resulta crucial conocer la respuesta que provocan en los tejidos. Un producto tóxico es inaceptable para ser empleado en una obturación retrógrada sin importar que tenga otras propiedades deseables (Chong & Pitt Ford, 2005).

El material debería también ser estable dimensionalmente. Esto quiere decir que debe mantener a largo plazo su integridad estructural al fraguar y no disolverse o corroerse en contacto con los fluidos tisulares. No debe verse afectado por la humedad en ninguno de sus estados (Kim & Kratchman, 2017).

Otra acción que debería cumplir un material de obturación retrógrada es inhibir, o al menos, no promover el crecimiento de microorganismos. Lo que significa que debería ser bacteriostático o preferiblemente bactericida (Kim & Kratchman, 2017).

Considerando que el éxito de la cirugía endodóntica depende de la reconstitución completa del hueso y ligamento periodontal, el material de retrobturación debería también promover la formación de dentina y cemento en la superficie radicular seccionada (Kim & Kratchman, 2017).

Otras características deseables de los materiales de obturación retrógrada son: radiopacidad, facilidad de manipulación, tiempo de trabajo adecuado, no debe causar tinción en los dientes o los tejidos perirradiculares. Además, no deben ser carcinogénicos, deben tener una larga vida útil y tener un precio razonable. Así, las propiedades ideales deberían satisfacer criterios biológicos, físicos, económicos y prácticos (Chong & Pitt Ford, 2005) (Wang, 2015).

2.3.5.8.3.- Materiales de obturación retrógrada

A través de la historia, se han utilizado una gran variedad de materiales para obturaciones retrógradas. Algunos ejemplos son: amalgama, cavit, gutapercha, cemento de ionómero de vidrio, cemento de policarboxilato de zinc, IRM, Super EBA, entre otros. La mayoría de estos productos han dejado de emplearse regularmente debido a sus múltiples desventajas, así como por la aparición de otros materiales con mejores propiedades. En esta sección, se presentan únicamente los materiales de retrobturación contemporáneos, siendo los biocerámicos el eje central en que se fundamenta la presente investigación.

2.3.5.8.3.1.- Agregado trióxido mineral (MTA)

El MTA (Mineral Trioxide Aggregate, en castellano Agregado Trióxido Mineral) es un material que pertenece a la primera generación de biocerámicos utilizados en Endodoncia (M. Kohli & Karabucak, 2019) (Kim & Kratchman, 2017) (Trope et al., 2015) y que fue desarrollado originalmente por Torabinejad a inicios de la década de los 90's (Abusrewil, 2018).

Este producto fue vendido inicialmente como ProRoot MTA y fue fabricado por Dentsply International. En Estados Unidos llegó a estar disponible comercialmente desde el año 1999 (Abusrewil, 2018).

Esencialmente este material es cemento Portland con óxido de bismuto en una proporción de 4:1. La patente original detalla los componentes del MTA de la siguiente manera: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrito tetracálcico y óxido de bismuto, añadido como agente radiopacificador. Este primer producto de MTA lanzado al mercado era de un color gris, tonalidad impartida por el aluminoferrito del polvo del MTA. Este componente era considerado importante para controlar las características del fraguado del material (Storm et al., 2008).

No obstante, existió preocupación por lo perjudicial que podría ser este color gris para la estética. Es por esto que en el año 2002 se desarrolló una nueva fórmula a la que se denominó MTA blanco (White MTA). Este producto se diferencia principalmente del MTA original en que el hierro está ausente en esta presentación (Kim & Kratchman, 2017).

Desde su entrada al mercado endodónico, el MTA ha conseguido un extenso uso como recubrimiento pulpar, en pulpotomías, en la formación de barreras apicales, en reparación de perforaciones, en apexificaciones, pero, sobre todo, como material de obturación retrógrada en cirugía apical (Wang, 2015).



Figura 1. ProRoot MTA gris y ProRoot MTA blanco (Torabinejad, 2015)

2.3.5.8.3.1.1.- Ventajas como material de obturación retrógrada

El MTA se acerca a ser un material de obturación retrógrada ideal, ya que, además de su excelente biocompatibilidad, tiene también la capacidad de promover la formación de hueso, dentina y de regenerar cemento (Baek et al., 2005) (Mahmoud Torabinejad, 2014).

El MTA tiene la capacidad de fraguar bajo condiciones de humedad, excepto en ambientes con sangrado excesivo o al contacto con agua. Esta insensibilidad a la presencia de humedad es ventajosa en la mayoría de las condiciones quirúrgicas porque es casi imposible obtener un ambiente completamente seco, a pesar de los esfuerzos para controlar la hemorragia con distintos métodos (Mahmoud Torabinejad, 2014).

El MTA parece ser el material de obturación retrógrada más resistente a la tinción, a los fluidos y a la penetración bacteriana en comparación a la amalgama, el IRM o el Súper EBA. Sin embargo, la excelente capacidad de sellado del MTA solo existe cuando se logra un fraguado adecuado (Kim & Kratchman, 2017).

Investigaciones recientes muestran la formación de una capa de hidroxiapatita en la superficie del MTA que está en contacto con el fluido tisular durante el fraguado, hecho que se conoce como biomineralización. Se anticipa que esta capa de hidroxiapatita cree un sellado biológico entre la interfaz del MTA y la dentina, lo que mejoraría la capacidad de sellado del MTA a largo plazo (Kim & Kratchman, 2017).

2.3.5.8.3.1.2.- Desventajas como material de obturación retrógrada

Las principales desventajas del MTA son las dificultades en su manipulación, la presencia de metales pesados en el polvo, su prolongado tiempo de fraguado, el alto costo y una posible pigmentación de la estructura dental remanente. Dado que el MTA preparado posee una consistencia arenosa, es algo difícil de colocar en las retrocavidades (Kim & Kratchman, 2017).

Además de esta dificultad, el MTA recién mezclado puede ser desalojado de la cavidad si es expuesto a fluidos excesivos debido al extenso tiempo de fraguado, ocasionando un efecto perjudicial sobre su capacidad de sellado. La contaminación con saliva durante la colocación del MTA blanco contribuye a un aumento de la filtración bacteriana (Kim & Kratchman, 2017).

El tiempo de fraguado del MTA es aproximadamente de 3 a 4 horas, lo que es considerado como una desventaja en muchas situaciones clínicas. Este amplio lapso puede provocar una solubilidad incrementada, afectando la habilidad de sellado de este material (Torabinejad, 2014).

2.3.5.8.3.1.3.- Pronóstico. Estudios clínicos

Un estudio prospectivo evaluó clínica y radiográficamente la reparación periapical en 97 casos con periodontitis apical persistente que recibieron un tratamiento de microcirugía endodóntica, con ProRoot MTA blanco como material de obturación retrógrada. En un año de seguimiento, se logró el éxito general en el 92.8% de los pacientes (90 casos). Por el contrario, solo 7 casos fueron clasificados como fracasos (7.2%) (Shen et al., 2016).

Un estudio publicado recientemente evaluó los resultados a largo plazo de 195 dientes sometidos a una cirugía apical. En todos los casos el material de obturación retrógrada fue el MTA. Los dientes fueron sometidos a exámenes clínicos y radiográficos a los 12 meses, a los 5 y 10 años después de efectuado el procedimiento quirúrgico. De los 119 dientes disponibles para el análisis a los 10 años, 97 fueron clasificados como reparados, lo que constituyó el 81.5%. Se concluyó que el MTA mostró un porcentaje aceptable de casos exitosos a los diez años (von Arx et al., 2019).

2.3.5.8.3.2.- Endosequence Root Repair Material

En el año 2010, la compañía Brasseler introdujo un nuevo material biocerámico en el área de Endodoncia: el Endosequence Root Repair Material (ERRM). Según su fabricante, este agente se compone de silicato de calcio, fosfato de calcio monobásico, óxido de zirconio, óxido de tántalo. Puede utilizarse como material de obturación retrógrada, y también como reparador de la raíz (Shinbori et al., 2015).

El Endosequence Root Repair Material se encuentra disponible en 2 consistencias: en putty, el cual es condensable; y en pasta, presentación que es inyectable por la incorporación de puntas especiales para facilitar su colocación (Wang, 2015).



Figura 2. Endosequence Root Repair Material en putty (Wang, 2015)



Figura 3. Endosequence Root Repair Material en pasta inyectable (Brasseler USA)

2.3.5.8.3.2.1.- Propiedades físico-químicas

El Endosequence Root Repair Material tiene un tiempo de trabajo de 30 minutos y aproximadamente un tiempo de fraguado de 4 horas (Wang, 2015). Esta última propiedad es inconsistente, ya que algunos estudios afirman que el tiempo de fraguado varía en un rango que va desde las 4 horas hasta más de 48 horas (Charland et al., 2013)

Kim en su libro coincide en que el tiempo de trabajo es de 30 minutos, no obstante, afirma que para que el material complete su fraguado se requieren 2 horas (Kim, 2018). Lo que sí es definitivo, es lo importante que resulta la presencia de humedad para que el material se endurezca (Wang, 2015).

En búsqueda de mejorar el tiempo de fraguado, Brasseler lanzó al mercado un nuevo producto, el Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty. Este material, según el fabricante, mantiene las mismas propiedades que el putty original, a excepción de que el método de aplicación es por medio de una jeringa. Esto permite dispensar una dosis única (Alsubait, 2016).

La ventaja de esta forma de presentación es que no se necesita mezclar, no hay desperdicio de material y no hay contaminación cruzada. Estas son características importantes, pero lo más novedoso del Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty es que necesita solo 20 minutos para fraguar completamente. Este rápido tiempo de endurecimiento se debe a que el tamaño de la partícula es significativamente más pequeño, lo que acelera la reacción de fraguado (Alsubait, 2016).

Por lo tanto, esta nueva formulación del Endosequence Root Repair Material resulta ideal para pulpotomías, protecciones pulpares, obturaciones retrógradas, reparación de perforaciones y reparación de defectos de reabsorción (Nasseh, 2014).



Figura 4. Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty (Brasseler USA)

Se ha reportado que el valor pH del Endosequence Root Repair Material puede llegar a 12.4, lo que probablemente contribuye en una actividad antibacteriana contra el *Enterococcus faecalis* durante su reacción de fraguado (Lovato & Sedgley, 2011). Hansen comparó los cambios de pH en defectos radiculares simulados que fueron reparados con MTA y ERRM. Concluyó que la colocación de MTA resultó en un pH más alto que con ERRM (Hansen et al., 2011).

Hace pocos años, Kohli investigó la discromía dentaria coronal inducida por varios materiales utilizados en endodoncia. Concluyó que varios agentes, entre los que constaban el Endosequence Root Repair Material en putty y el Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty, no ocasionaron un cambio de color perceptible en la estructura dentaria cuando fueron dejados en la cámara pulpar por un periodo de seis meses (M. R. Kohli et al., 2015).

Alsubait comparó el potencial de decoloración del Endosequence Root Repair Material Fast Set Putty con el ProRoot MTA en dientes humanos extraídos por un periodo de 4 meses. Los resultados indicaron que los dientes en los que se usó ProRoot MTA exhibieron un cambio de coloración progresivo, mientras que aquellas piezas en las que se colocó ERRM Fast Set Putty mantuvieron una estabilidad en el color. La ausencia de óxido de bismuto podría explicar esta situación, ya que este componente es el causante de la discromía en el MTA. El radiopacificador en el ERRM Fast Set putty es el óxido de zirconio (Alsubait et al., 2017).

2.3.5.8.3.2.2.- Propiedades biológicas

La citotoxicidad del Endosequence Root Repair Material ha sido evaluada en varios estudios (AlAnezi et al., 2010), (Damas et al., 2011), (Ciasca et al., 2012).

Alanezi comparó la citotoxicidad del ERRM con el MTA gris y el MTA blanco utilizando el ensayo MTT. Los resultados mostraron que el ERRM tuvo una citotoxicidad similar tanto con el MTA fraguado, como con el MTA recién preparado (Alanezi et al., 2010).

Damas demostró que el ERRM tiene un nivel de citotoxicidad similar al ProRoot MTA y al MTA Angelus, Todos los materiales evaluados tuvieron una viabilidad celular superior al 91.8% (Damas et al., 2011). En otro estudio, tanto el ERRM como el MTA exhibieron niveles mínimos de citotoxicidad. Además, ambos fueron capaces de expresar citoquinas como las IL-1, IL-6 y IL-8 (Ciasca et al., 2012).

Modareszadeh informó que la bioactividad de las células osteoblásticas, así como la actividad de la fosfatasa alcalina, disminuyeron significativamente después de la exposición al ERRM en casi todos los periodos de tiempo estudiados. El MTA no causó cambios en ninguna de estas variables (Modareszadeh et al., 2012).

Shokouhinejad analizó la bioactividad de varios materiales: Bioaggregate, Endosequence Root Repair Material en putty y ProRoot MTA. Se encontró que hubo precipitación de cristales de apatita, los cuales incrementaron su tamaño con el tiempo. Por lo tanto, se concluye que los productos biocerámicos estudiados son bioactivos (N. Shokouhinejad et al., 2012).

Moinzadeh menciona que las propiedades del Endosequence Root Repair Material en putty mejoran en presencia de agua. Además, las condiciones del entorno afectan la hidratación de este material y, por consiguiente, su interacción con el ambiente (Moinzadeh et al., 2016).

Un estudio demostró que las células pulpares dentales tuvieron porcentajes similares de células viables cuando fueron cultivadas ya sea en Endosequence Root Repair Material o en ProRoot MTA. Además, la tasa de proliferación, secreción de factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF) fue similar en ambos materiales. Los niveles de fosfatasa alcalina también fueron similares entre el ProRoot MTA y el ERRM (Machado et al., 2016).

Se especula que el ERRM puede tener mejores propiedades inductivas y conductivas de tejido mineralizado, acelerando de esta manera la deposición de tejidos similares al cemento, ligamento periodontal y hueso en la superficie radicular remanente después de la resección quirúrgica (Kim & Kratchman, 2017).

En una investigación posterior se determinó que el Endosequence Root Repair Material induce la diferenciación de osteoblastos en mayor medida que el MTA. Asimismo, se afirma que tanto el MTA como el ERRM estimulan a los osteoprogenitores a diferenciarse en osteoblastos maduros (Rifaey et al., 2016). Poco tiempo después, Sultana encontró que el ERRM y el MTA exhibieron mayor bioactividad osteogénica que el Biodentine. (Sultana et al., 2018).

En relación a sus propiedades antibacterianas, Lovato reportó que el Endosequence Root Repair Material en sus dos formas: putty y pasta, tienen una eficacia similar contra cepas de *Enterococcus Faecalis* en comparación al MTA (Lovato & Sedgley, 2011). Por otra parte, Alsalleeh investigó la actividad antifúngica en estos mismos agentes, utilizando una suspensión de *Candida Albicans*. Concluyó que el Endosequence Root Repair Material y el MTA tienen una actividad antifúngica comparable. Se especula que el pH puede contribuir en esta situación (Alsalleeh et al., 2014).

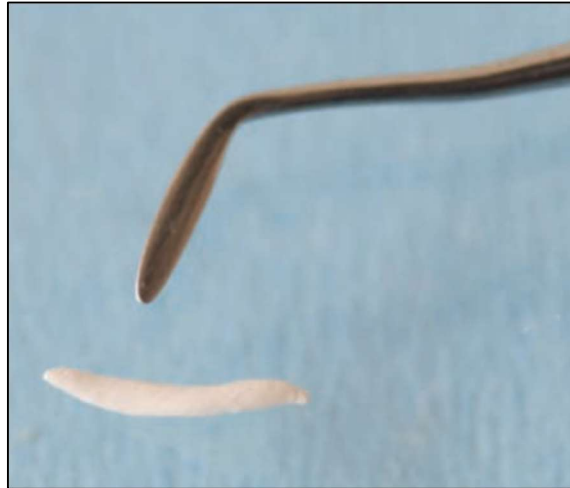
2.3.5.8.3.2.3.- Ventajas como material de obturación retrógrada

El Endosequence Root Repair Material presenta varios beneficios, uno de ellos es que viene ya premezclado en sus presentaciones de pasta y putty, por lo que se encuentra listo para ser aplicado inmediatamente. En base a la experiencia *in vitro* e *in vivo*, esta característica facilita su manipulación y, consecuentemente, su uso en distintas situaciones clínicas (Kim & Kratchman, 2017).

El Endosequence Root Repair Material es biocompatible, hidrofílico, insoluble, estable dimensionalmente, tiene un pH alto, un tiempo de trabajo de 30 minutos y un tiempo de fraguado de 2 horas (Kim & Kratchman, 2017). Varios estudios muestran que no hay diferencias significativas entre el Endosequence Root Repair Material y el MTA en términos de efectos antimicrobianos, biocompatibilidad y capacidad de sellado (Kim & Kratchman, 2017).

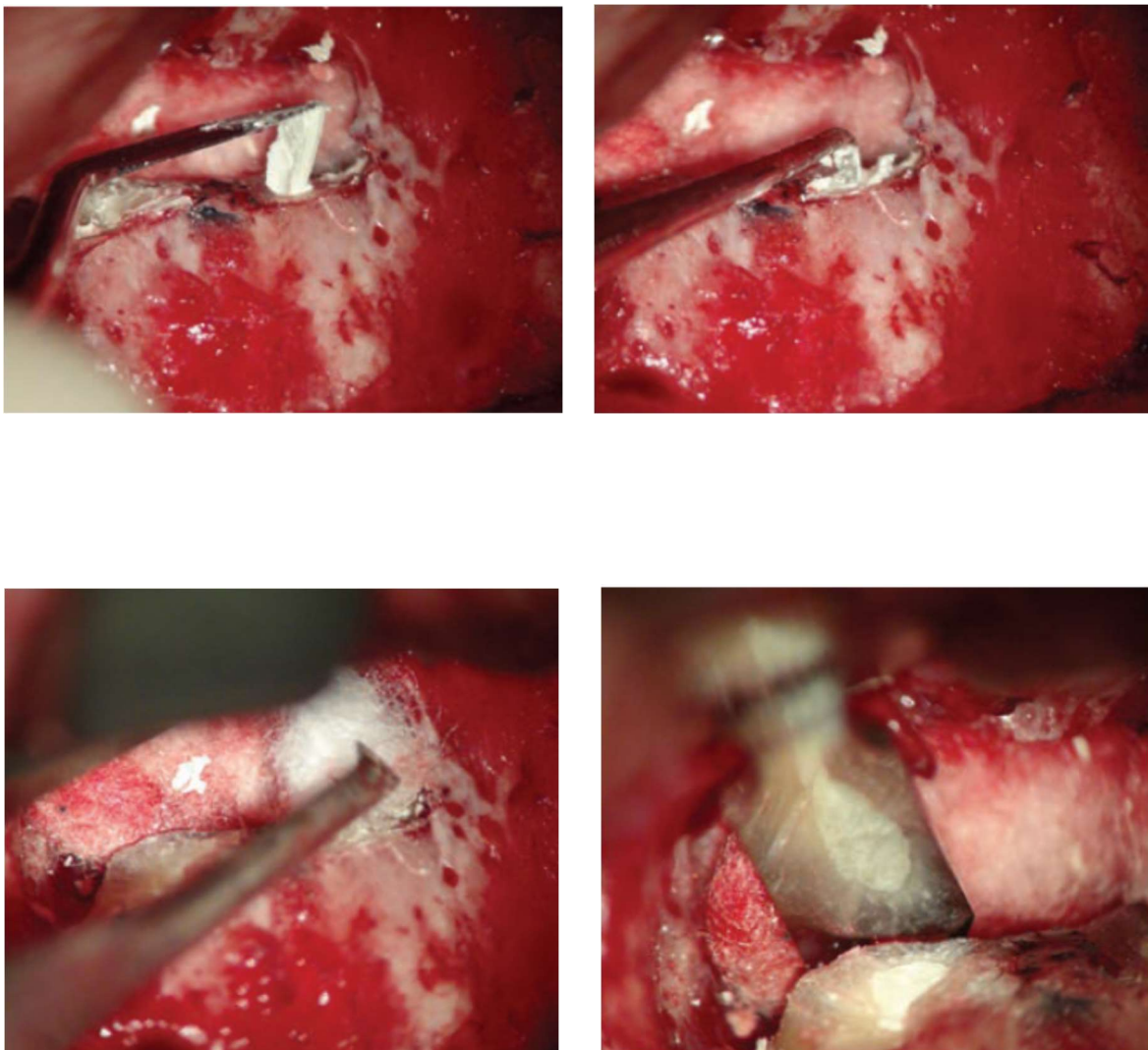
2.3.5.8.3.2.4.- Colocación en una cirugía apical

El Endosequence Root Repair Material en putty puede ser enrollado en una loseta de vidrio para formar un cilindro con el diámetro deseado. El operador puede usar un instrumento manual específicamente diseñado o un portador de MTA para recoger la longitud adecuada del material y llevarlo a la cavidad preparada. Se recomienda un grosor de 3 a 4 mm. como mínimo (Kim & Kratchman, 2017).



Figuras 5 y 6. Porción de Endosequence Root Repair Material en putty lista para ser llevada a la cavidad (Kim & Kratchman, 2017)

Después de colocar el Endosequence Root Repair Material en la cavidad, se debe condensarlo con un plugger y limpiar la superficie radicular preparada con una bolita de algodón húmedo, de tal forma que se puedan eliminar los excesos de material. Al completar la obturación retrógrada, a diferencia del MTA, sí es posible irrigar la cripta ósea con solución salina estéril (Kim & Kratchman, 2017).



Figuras 7, 8, 9 y 10. Colocación, condensación, eliminación de excesos y verificación de posición del Endosequence Root Repair Material (Kim & Kratchman, 2017)

2.3.5.8.3.2.5.- Pronóstico. Estudios clínicos

Shinbori realizó un estudio retrospectivo para determinar el pronóstico clínico y radiográfico de una cirugía apical cuando se usa Endosequence Root Repair Material como material de obturación retrógrada.

Todos estos casos quirúrgicos tuvieron un seguimiento mínimo de 1 año. Noventa y cuatro pacientes con 113 dientes fueron incluidos en el estudio. La tasa de éxito general fue del 92% (Shinbori et al., 2015).

Ninguno de los factores como: edad, sexo, posición del diente, tamaño de la radiolucidez periapical, presencia de algún tracto sinusal, síntomas preoperatorios, y retratamiento previo a la cirugía, pareció tener efectos significativos en el pronóstico. Por lo tanto, se acepta el Endosequence Root Repair Material como un material de obturación retrógrada adecuado en cirugía endodóntica (Shinbori et al., 2015).

Un ensayo clínico aleatorio reciente comparó la reparación después de una endodoncia microquirúrgica al usar dos materiales: Endosequence Root Repair Material (ERRM) y MTA. En total, se seleccionaron 243 dientes con periodontitis apical persistente o recurrente para que sean tratados aleatoriamente con uno de los dos agentes. Se hizo un seguimiento clínico y radiográfico a los 6, 12 y 24 meses. El ERRM exhibió un éxito 92% con radiografías periapicales y un 84% con tomografías, mientras que en el MTA con los mismos métodos el éxito fue del 94% y del 86% respectivamente (Safi et al., 2019).

2.3.5.8.3.3.- Biodentine

El Biodentine es un material biocerámico fabricado por la compañía Septodont y que ha estado disponible comercialmente a partir del año 2009 (Surya Raghavendra et al., 2017). Según el fabricante, este agente posee propiedades y comportamiento mecánico similar a la dentina humana. Indica que tiene excelentes propiedades de sellado, estimula las células pulpares y tiene la capacidad de formar puentes dentinarios, protegiendo de forma óptima el tejido pulpar. Por lo tanto, al Biodentine se lo promociona como sustituto bioactivo de dentina (Septodont, 2013).

El Biodentine se presenta en una caja en cuyo interior hay varias cápsulas y ampollas. Existen dos presentaciones: en la primera vienen 15 cápsulas con 15 ampollas; en la segunda, están disponibles 5 cápsulas y 5 ampollas. Las cápsulas contienen un polvo, y las ampollas almacenan un líquido (Camilleri, 2018).



Figura 11. Biodentine (Septodont, Saint Maur-des-Fosses, Francia)

El polvo está compuesto por silicato tricálcico, carbonato de calcio, óxido de zirconio y algunos aditivos menores de óxido de hierro añadidos para dar color. El óxido de zirconio es el agente radiopaco que permite la identificación en las radiografías. El líquido está compuesto de agua con algunas adiciones de cloruro de calcio y un polímero soluble en agua. El cloruro de calcio va a funcionar como acelerador de la reacción de fraguado (Camilleri, 2018).

El Biodentine puede ser utilizado como material de restauración coronal, también como recubrimiento pulpar, en pulpotomías, para reparación de perforaciones, en apexificaciones, reabsorciones internas/externas y como material de obturación retrógrada (Wang, 2015).

2.3.5.8.3.3.1.- Ventajas como material de obturación retrógrada

La principal ventaja clínica del Biodentine es su fraguado rápido (entre 12 y 15 min). Esta es una ventaja en comparación con el MTA, ya que el tiempo de fraguado prolongado de este último conduce a un mayor riesgo de pérdida del material y a una alteración de la interfaz durante las etapas de finalización del procedimiento (limpieza e irrigación de la cripta).

Otra característica interesante del Biodentine es que el producto viene envasado en una cápsula; la mezcla con el líquido se logra mediante el uso de un dispositivo electrónico. Es decir, la proporción polvo/líquido ya viene fijada por el fabricante, lo que le permite al profesional lograr un material con propiedades óptimas cada vez que sea necesario (Caron et al., 2014).

2.3.5.8.3.3.2.- Desventajas como material de obturación retrógrada

Existen varios inconvenientes con el uso del Biodentine. Primero, su manipulación no es tan fácil como lo afirma el fabricante. Otro inconveniente es la imposibilidad de crear pequeños conos que serían fáciles de insertar en la cavidad retropreparada, como en el Endosequence Root Repair Material (Caron et al., 2014).

No obstante, la principal limitación clínica del Biodentine es su baja radiopacidad, lo que hace que la visualización de la obturación retrógrada sea difícil cuando se usan pequeñas cantidades de material. Con cantidades más sustanciales, el material es un poco más detectable. Adicionalmente, se incrementa el riesgo de dejar algo de material en la cavidad ósea (Caron et al., 2014).

2.3.5.8.3.3.3.- Pronóstico. Estudios clínicos

Caron publicó un reporte en el que se hizo un seguimiento durante dos años a dos casos de microcirugía apical, en los cuales se utilizó Biodentine como material de obturación retrógrada. Los dos casos se consideraron completamente reparados después de un año; en la revisión a los 2 años se constató ausencia de síntomas clínicos y radiográficos. Además, hubo evidencia de regeneración de los tejidos periapicales (Caron et al., 2014).

2.3.5.8.3.4.- iRoot BP Plus

El iRoot BP Plus es un producto biocerámico fabricado por la compañía Innovative Bioceramics, con sede en Vancouver, Canadá. Este material se presenta empaçado en una jeringa, cuyo interior contiene 0.5 gramos de iRoot BP Plus en putty. Sus principales componentes son: silicato tricálcico, silicato dicálcico, fosfato de calcio, óxido de zirconio y óxido de tántalo como radiopacificador. Las aplicaciones del iRoot BP Plus son diversas: como reparador de la raíz, en recubrimientos pulpares, en reabsorciones y en cirugía apical como material de obturación retrógrada (Zhou et al., 2017) (Antoniac, 2019).



Figura 12. iRoot BP Plus (Innovative Bioceramics, Canadá)

El iRoot BP Plus, de acuerdo al fabricante, requiere de un mínimo de 2 horas para completar su fraguado. Otros autores, como Parirokh, Torabinejad y Liu mencionan que el tiempo de fraguado es de aproximadamente 2 horas con 30 minutos (Antoniac, 2019).

El iRoot BP Plus necesita la presencia de agua para poder fraguar; durante este proceso, este material no se contrae (Zhou et al., 2017). El iRoot BP Plus se utiliza con éxito como material de obturación retrógrada porque tiene una calidad de sellado superior, es insoluble, radiopaco, biocompatible, osteoconductor y regenerativo (Antoniac, 2019).

2.3.5.8.3.4.1.- Ventajas como material de obturación retrógrada

El iRoot BP Plus tiene excelentes propiedades físicas: es un producto que no tiene necesidad de ser mezclado, posee un tiempo de fraguado adecuado y no se contrae durante esta reacción. Es biocompatible, no tiene efectos citotóxicos críticos y tiene una capacidad de sellado similar al MTA (Zhou et al., 2017).

El iRoot BP Plus es un material insoluble, osteoconductor, regenerativo y radiopaco (Antoniac, 2019). En comparación con el MTA, el iRoot BP Plus exhibe una eficacia similar frente al *Enterococcus faecalis* y *Candida albicans* (Damlar et al., 2014).

2.3.5.8.3.4.2.- Pronóstico. Estudios clínicos

En un estudio controlado aleatorio prospectivo, se hizo un seguimiento de 12 meses a 240 dientes sometidos a microcirugía endodóntica. Durante este periodo, se realizaron evaluaciones clínicas y radiográficas. El porcentaje de éxito de aquellos casos en los que se utilizó iRoot BP Plus, fue del 94.4% (Zhou et al., 2017).

2.3.5.8.3.5.- Bio-C Repair

El Bio-C Repair (Angelus, Londrina, PR, Brasil) es un cemento biocerámico de reparación listo para usar. Este material no está disponible en forma de polvo y líquido; más bien, viene en una jeringa que contiene en su interior de 0.5 gramos del producto en consistencia de *putty*. Esta forma de presentación evita la necesidad de manipular el Bio-C Repair (Benetti et al., 2019).

De acuerdo al fabricante, su composición incluye: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de calcio, óxido de zirconio, óxido de silicio, óxido de hierro y polietilenglicol (Angelus, 2018) (Benetti et al., 2019).



Figura 13. Bio-C Repair (Angelus, Londrina, PR, Brasil)

El silicato tricálcico y el silicato dicálcico proporcionan resistencia mecánica inicial y resistencia mecánica a lo largo del tiempo, respectivamente. Además, junto con el óxido de calcio, permiten la liberación de iones de calcio. El aluminato tricálcico interviene en el fraguado inicial del material; mientras que el óxido de zirconio otorga radiopacidad (Angelus, 2018).

Varios estudios han mostrado que la adición de óxido de zirconio a los materiales de silicato de calcio incrementan la fuerza de compresión (Vazquez-Garcia et al., 2016), promueven mayor actividad antimicrobiana (Espir et al., 2016), e inducen la proliferación celular (Silva et al., 2017). El óxido de silicio y el polietilenglicol tienen como función brindar consistencia al material. Por último, el óxido de hierro interviene en la pigmentación (Angelus, 2018).

Las indicaciones del Bio-C Repair (Angelus, 2018) son las siguientes:

- Tratamiento de perforación radicular o furca vía conducto
- Tratamiento de perforación radicular o perforación vía cirugía
- Tratamiento de reabsorción interna vía conducto
- Tratamiento de reabsorción interna comunicante o externa vía cirugía
- Obturación retrógrada en cirugía endodóntica
- Recubrimiento pulpar directo e indirecto
- Apexificación, apexogénesis y pulpotomía
- Regeneración pulpar

2.3.5.8.3.5.1.- Propiedades físico-químicas

El tiempo de fraguado del Bio-C Repair, que ocurre en aproximadamente 120 minutos, está relacionado con la presencia de humedad en la zona en que fue aplicada. Las moléculas de agua presentes en el medio, entran en contacto de forma progresiva con las partículas del Bio-C Repair ocasionando la hidratación, fraguado del cemento y liberación de iones activos. Estas reacciones químicas involucran la hidratación de los compuestos de silicato de calcio para producir un gel hidratado de silicato de calcio, que es responsable del fraguado y de la formación de hidróxido de calcio (Angelus, 2018).

El hidróxido de calcio se disocia rápidamente en iones de calcio e hidroxilo, aumentando el pH del medio a 12 y por consecuencia, volviendo inhóspito el ambiente para el crecimiento bacteriano. Por otro lado, los iones de calcio reaccionan con el CO₂ del torrente sanguíneo formando gránulos de carbonato de calcio, estimulando el acondicionamiento de la fibronectina. La fibronectina promueve la adhesión y diferenciación celular, lo que resulta en la formación de tejido duro (Angelus, 2018).

El Bio-C Repair presenta radiopacidad de más de 7 mm de aluminio. El radiopacificador presente en este producto, como ya fue mencionado, es el óxido de zirconio. Según el fabricante, este componente, a diferencia de otros radiopacificadores utilizados en odontología, no ocasiona tinción en la estructura dentaria (Angelus, 2018).

En cuanto a la solubilidad, el Bio-C Repair exhibe valores bajos, específicamente, inferiores al 3%. Esto resulta favorable para un producto con fines de reparación y sellado de cavidades en las piezas dentales (Angelus, 2018).

El Bio-C Repair presenta una expansión al fraguar de $0.092 \pm 0.05\%$, a diferencia de la mayoría de materiales odontológicos, que sufren contracción. Esta propiedad evita la filtración bacteriana, lo que es esencial para impedir una recontaminación y por consiguiente, el fracaso endodóntico (Angelus, 2018).

El tamaño de partícula de este material es inferior a $2 \mu\text{m}$. Este reducido tamaño hace que el producto sea más reactivo, lo que favorece la liberación más rápida de los iones de calcio e hidroxilo, asociados al proceso de reparación de la lesión endodóntica. Con respecto a la resistencia a la compresión del Bio-C Repair, esta es de $8 \pm 3 \text{ MPa}$ (Angelus, 2018). El contacto del Bio-C Repair con la humedad y fluidos tisulares libera iones activos que interactúan con la matriz orgánica e inorgánica de la dentina, promoviendo la formación de un área intermedia denominada zona de infiltración mineral. Esta zona promueve un excelente sellado biológico, minimizando las posibilidades de infiltración bacteriana (Angelus, 2018).

2.3.5.8.3.5.2.- Propiedades biológicas

En un estudio reciente, Benetti evaluó la citotoxicidad del Bio-C Repair frente a células fibroblásticas; también evaluó su biocompatibilidad y su capacidad de inducir mineralización. Estas mismas propiedades los contrastó con las del MTA Repair HP y el MTA Angelus (Benetti et al., 2019). Los resultados indicaron que el Bio-C Repair mostró una citocompatibilidad similar al MTA-HP y al MTA Angelus. Además, el Bio-C Repair demostró ser biocompatible y es capaz de inducir una biomineralización similar al MTA-HP y al MTA Angelus (Benetti et al., 2019).

En otro estudio, López-García investigó la citotoxicidad del Bio-C Repair y del Bio-C Sealer en células madre del ligamento periodontal. Se analizó la actividad metabólica, la migración celular y la supervivencia celular. Las células fueron cultivadas en contacto directo con la superficie de cada material. Luego fueron examinadas mediante microscopía electrónica de barrido y por rayos x de energía dispersiva. Los resultados indicaron que el Bio-C Repair mostró mayor tasa de viabilidad, adhesión y migración celular en comparación al Bio-C Sealer (López-García et al., 2019).

2.3.5.8.3.5.3.- Ventajas como material de obturación retrógrada

Además de los beneficios de la formulación biocerámica como inducción de regeneración tisular, acción bactericida e inhibición de la infiltración bacteriana, el Bio-C Repair presenta una gran ventaja en comparación a los cementos tradicionales, debido a que no exige manipulación. Es decir, su presentación en jeringa roscable, facilita la extracción del producto para ser aplicado en el lugar de preparación deseado. Esto simplifica los procedimientos y permite ahorrar tiempo (Angelus, 2018).

2.3.5.8.3.5.4.- Colocación en una cirugía apical

Según el fabricante, hay que seguir los siguientes pasos para colocar el Bio-C Repair como material de obturación retrógrada en una cirugía apical: En primer lugar, hay que colocar anestesia, luego se realiza el levantamiento de colgajo y la osteotomía (Angelus, 2018).

Posteriormente, se seccionan de 3 mm del ápice radicular, para proceder con la retropreparación. Se controla la hemostasia y se mantiene la cavidad levemente húmeda (Angelus, 2018).

Se sostiene con firmeza el Bio-C Repair, se desenrosca la tapa, y se dan vueltas muy leves al embolo de la jeringa para dispensar una pequeña cantidad de material. Se retira la porción dispensada con un instrumento adecuado, para enseguida introducirla en la cavidad preparada. Después, se adapta el Bio-C Repair con los condensadores apropiados y se retira el exceso de material extravasado. Se reposiciona el colgajo, se sutura y se toma radiografía final. Se hace un seguimiento por lo menos dos años (Angelus, 2018).



Figura 14. Porción de Bio-C Repair (Freire, 2019)

2.3.5.8.3.6.- Otros materiales de obturación retrógrada

Existen otros materiales biocerámicos que pueden ser utilizados en obturaciones retrógradas, que son los siguientes: MTA Angelus (Angelus, Londrina), MTA Bio (Angelus, Londrina), OrthoMTA (BioMTA, Seúl), MTA Plus (Avalon, Biomed), E-MTA (Innovative Bioceramix, Vancouver, Canada), MM-MTA (Micromega, Besancon), BioAggregate (Innovative Bioceramix, Vancouver, Canada), Diaroot BioAggregate (Diadent Group International, Burnaby), Endo-CPM Sealer (Egeo, Buenos Aires) y ProRoot Endo Sealer, fabricado por Dentsply, Tulsa. (Antoniac, 2019).

Otros cementos bioactivos que se pueden aplicar en retrobturaciones son: EndoBinder (Binderware, Sao Carlos, SP), Cemento CEM (Calcium Enriched Mixture) (BioniqueDent, Tehran, Iran) y Quick-Set de la compañía Avalon Biomed Inc, Bradenton, FL (Mahmoud Torabinejad & Rubinstein, 2017).

Recientemente, se desarrollaron varios agentes biocerámicos derivados del cemento pozzolan: Endoseal MTA, Endocem ZR y Endocem MTA (Maruchi, Wonju, Korea). El primero de ellos, debido a su adecuada fluidez, funciona como cemento sellador en tratamientos endodónticos no quirúrgicos. Sin embargo, en un estudio publicado en 2020, el Endoseal MTA tuvo buenos resultados cuando se aplicó junto con el Endocem ZR en obturaciones retrógradas, por lo que se sugiere que este material puede ser utilizado con este fin sin que la calidad de sellado se vea afectada (Jung et al., 2020).

2.3.5.9.- Reposicionamiento del colgajo

Una vez que se ha completado la microcirugía apical, se debe tener mucho cuidado al reposicionar y suturar los tejidos blandos. El resultado estético final de la manipulación de los tejidos blandos dependerá de varios factores como: tipo de tejido, tipo de incisión, elección de los instrumentos utilizados para la incisión, elevación y retracción del colgajo, así como una cuidadosa reapproximación y una técnica de sutura adecuada (Kim & Kratchman, 2017).

Se recomienda humedecer los tejidos blandos con una gasa húmeda (agua estéril o solución salina) antes de reposicionarlos ya que pueden deshidratarse durante el procedimiento. Rehidratarlos les devolverá su elasticidad natural y permitirá una reapproximación mucho más fácil (Kim & Kratchman, 2017).

2.3.5.10.- Sutura

El propósito de colocar suturas es reapproximar los ejes de la herida y estabilizar el colgajo de manera precisa en la posición deseada. Este proceso debe asegurar una cicatrización por primera intención con formación de un coágulo de fibrina. Existe una amplia variedad de técnicas de sutura, las cuales deben evaluarse en función de su capacidad para lograr estos objetivos. La técnica de sutura interrumpida proporciona una mejor adaptación del colgajo y, por lo tanto, es la técnica más recomendada y más comúnmente utilizada en endodoncia quirúrgica (Rotstein & Ingle, 2019).

2.4.- Adaptación marginal

La adaptación marginal se refiere al grado de aproximación entre un material restaurador y la superficie dentaria. Su importancia radica en el hecho de que puede tener una correlación indirecta con la capacidad de sellado de los diferentes materiales utilizados en Odontología (Soundappan et al., 2014).

Para evaluar esta característica se han utilizado varios métodos, tales como: microscopio electrónico de barrido (SEM) y el microscopio confocal (Mahmoud Torabinejad & Rubinstein, 2017).

El microscopio confocal es una alternativa válida para estudiar la habilidad de sellado de los agentes de obturación retrógrada (Solanki et al., 2018). Posee distintas ventajas como: mejor resolución de imagen, mejor contraste, no requiere una técnica específica para seccionar las muestras y no necesita usarlas deshidratadas (Nanjappa et al., 2015). Por otra parte, el microscopio electrónico de barrido permite visualizar la adaptación de los materiales a los márgenes de la cavidad debido a su gran magnificación y profundidad de enfoque (Bansal et al., 2019).

3.- METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.- Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo experimental, *in vitro*, comparativo, y analítico. Es experimental, porque se recrea uno de los procedimientos más complejos en Endodoncia, la cirugía apical, con el fin de evaluar una característica específica entre dos materiales de obturación retrógrada distintos. Es *in vitro* puesto que se emplean dientes humanos que han sido extraídos por distintas causas terapéuticas. Esta investigación es comparativa, debido a que se contrasta la adaptación marginal entre distintos materiales de obturación retrógrada utilizados en cirugía apical. Es analítico porque, mediante microscopia electrónica de barrido, se determina cuál de los dos materiales de retrobturación biocerámicos empleados en este estudio presenta mejor sellado durante una cirugía apical.

3.2.- Población y muestra

El universo de estudio estuvo conformado por un grupo de piezas dentales humanas donadas por distintas clínicas odontológicas de la ciudad de Guayaquil. De este conjunto, se tomó una muestra de 20 premolares unirradiculares, los cuales fueron divididos en 2 grupos de 10 muestras cada uno. En el primer grupo, las muestras se obturaron de forma retrógrada con Endosequence Root Repair Material, mientras que, en el segundo grupo, el material utilizado fue el Bio-C Repair.

3.3.- Criterios de inclusión

Se incluirán en la presente investigación aquellas piezas dentales con las siguientes características:

- Una sola raíz
- Conducto único (Tipo I según Vertucci)
- Sin tratamiento de conductos previo (Sin conductos obturados)
- Libre de caries y de fracturas
- Ápice completamente formado e intacto.
- Conducto con un ángulo inferior a 15 grados según Schneider
- Sin resorción interna o externa
- Sin calcificaciones

3.4.- Criterios de exclusión

Se excluirán de este estudio aquellas piezas dentales que presenten cualquiera de las siguientes características:

- Dos o más conductos radiculares
- Caries, sobre todo si es radicular
- Perforaciones, calcificaciones o reabsorción radicular
- Grado de curvatura del conducto superior a 15 grados según Schneider

3.5.- Criterios de eliminación

Se eliminarán las muestras en las que ocurra alguno de los siguientes eventos:

- Fractura de la raíz durante la instrumentación del conducto radicular
- Separación de instrumento en el interior del conducto

3.6.- Operacionalización de las variables

En el siguiente cuadro se indican las variables de la presente investigación:

Variable	Definición operacional	Tipo	Clasificación	Indicador categórico	Escala de medición
Materiales de obturación retrógrada	Agentes utilizados para sellar la cavidad retrógrada	Independiente	Cualitativa	<u>Tipo de materiales:</u> Endosequence Root Repair Material Bio-C Repair	Nominal
Adaptación marginal	Grado de adherencia entre el material de retrobturación y la dentina	Dependiente	Cuantitativa	Medición de espacios entre el material y la dentina a 3 niveles, utilizando microfotografías y el software Image J	Numérica: Micras

Tabla 1. Operacionalización de las variables

3.7.- Listado de materiales y equipos utilizados

- Dientes unirradiculares (20 premolares)
- Pieza de mano de baja velocidad (NSK)
- Regla milimetrada para estandarizar muestra (Dentsply-Maillefer)
- Marcador permanente (Pelikan)
- Disco de diamante
- Suero Fisiológico (Eufar)
- Gasas (Hansaplast)
- Frascos Estériles (Dentalab)
- Adhesivos de identificación (3M Espe)
- Radiovisiógrafo dental
- Sensor Radiográfico (PSPIX, Acteon)
- Lima preserie #10 (Dentsply-Maillefer)
- Lima K-Flex #15 (Dentsply-Maillefer)
- Lima de K-Flex #20 (Dentsply-Maillefer)
- Lima de primera serie #25 (Dentsply-Maillefer)
- Limas rotatorias 16/.02 (ProGlider, Dentsply)
- Limas reciprocantes 25/.07 (WaveOne Gold Primary, Dentsply)
- Limas reciprocantes 45/.05 (WaveOne Gold Large, Dentsply)
- Mini Endo Bloc (Dentsply-Sirona)
- Motor de Endodoncia de sistemas mecanizados (X-Smart Plus, Dentsply)
- Hipoclorito de Sodio al 5.25% (Eufar)

- Agujas de irrigación Navitip (Ultradent)
- EDTA 17% (Eufar)
- Conos de gutapercha WaveOne (Dentsply)
- Conos de gutapercha accesorios (Dentsply)
- Sistema de obturación BeeFill 2 en 1 (VDW)
- Espátula para mezcla
- Cemento de Obturación AH Plus (Dentsply-Maillefer Suiza)
- Loseta de vidrio
- Condensadores Machtou 1-2 (VDW)
- Condensadores Machtou 3-4 (VDW)
- Pieza de mano de alta velocidad (NSK)
- Fresa quirúrgica Zekrya
- Ultrasonido (Biosonic S1)
- Endosequence Root Repair Material en pasta (Brasseler)
- Bio-C Repair (Angelus)
- Punta ultrasónica E32D (NSK)
- Micropluggers quirúrgicos
- Microscopio Electrónico de Barrido

3.8.- Procedimiento

3.8.1.- Recolección y preparación de las muestras

Se seleccionaron en total 20 dientes humanos extraídos que cumplieron con los criterios establecidos y que fueron donados por distintas clínicas odontológicas de la ciudad de Guayaquil. Cada una de estas piezas dentales fue sumergida en una solución de hipoclorito de sodio al 5.25% por 30 minutos para descontaminarlas. Después de esto, con la ayuda de un equipo de ultrasonido, se removió cualquier cálculo presente en la superficie dental. Las muestras fueron almacenadas a temperatura ambiente en solución salina hasta que se inició la parte experimental de esta investigación.



Figura 15. Muestras seleccionadas

3.8.2.- Estandarización de las muestras

Cada uno de los 20 dientes seleccionados fueron estandarizados a una misma longitud. Esto se logró seccionando transversalmente las muestras con la ayuda de un disco de diamante montado en un micromotor eléctrico. Previo al corte, se tomaron dos puntos de referencia en las raíces dentales: la parte más apical y el borde más coronal. Utilizando una regla milimetrada y un marcador permanente de color azul, se registró una longitud de 15 milímetros, para posteriormente fraccionar el órgano dentario con el disco.

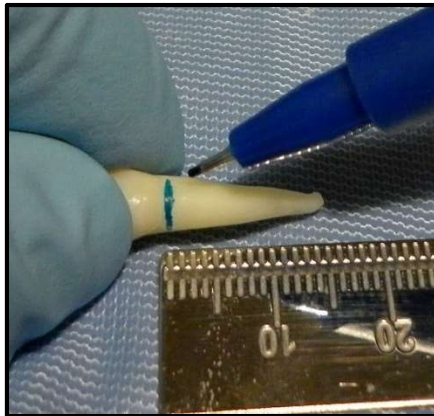


Figura 16. Establecimiento de longitud de las muestras en 15 mm.

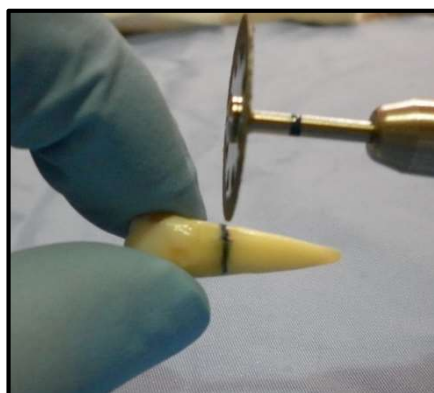


Figura 17. Corte transversal de las muestras con disco de diamante

3.8.3.- Evaluación radiográfica de las muestras

Para confirmar que las muestras a utilizar cumplían con todos los parámetros establecidos, se decidió tomar una radiografía periapical a cada una de las 20 raíces dentales. Para esto, se utilizó un sensor radiográfico y un escáner digital.



Figuras 18 y 19. Radiografías periapicales iniciales del primer grupo de muestras



Figura 20 y 21. Radiografías periapicales iniciales del segundo grupo de muestras

3.8.4.- Instrumentación de las raíces

Se empleó un explorador endodóntico DG16 para localizar el orificio del conducto radicular. La permeabilización se la realizó con una lima #10, la cual se introdujo en el interior del conducto con movimientos de rotación leves hasta lograr observarla a través del foramen apical. Se retiró el instrumento y se efectuó una irrigación con 1 ml. de hipoclorito de sodio al 5.25% empleando agujas de irrigación NaviTip.

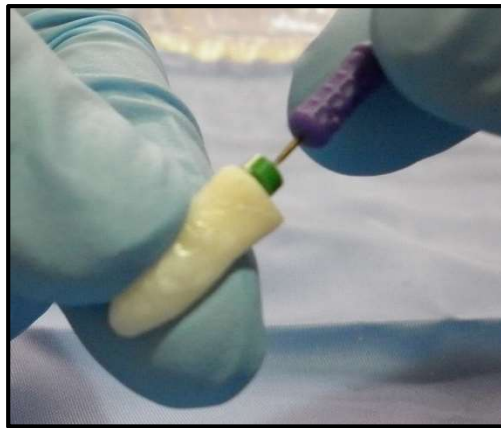


Figura 22. Permeabilización con lima #10

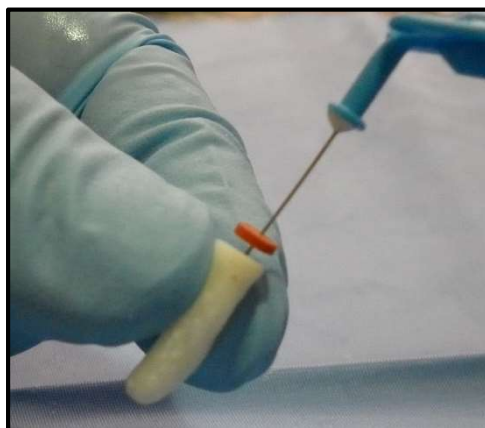


Figura 23. Irrigación

La longitud de trabajo (LT) final de cada muestra fue fijada en 15 milímetros, medida equivalente a la establecida previamente para las raíces. Con ayuda de la lima K #10 y de un mini endo-bloc para calibrar la medida adecuada, se confirmó la LT en cada muestra.

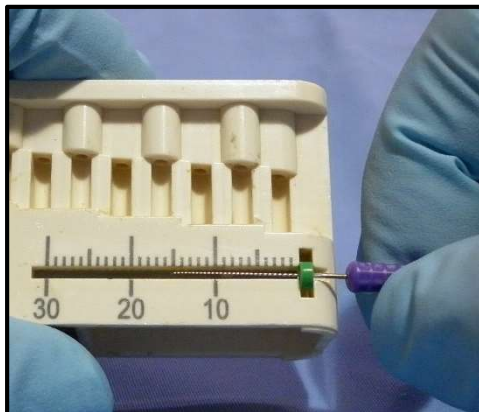


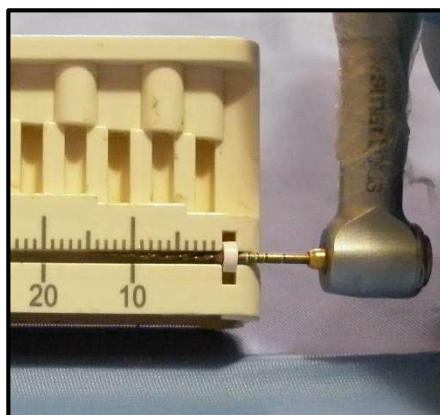
Figura 24. Verificación de longitud de lima K #10 en un mini endo-bloc

Posteriormente, se introdujo una lima ProGlider (16/02) para reafirmar el glide path. Con este instrumento, a una velocidad de rotación constante de 300 rpm, se ejerció una ligera presión apical hasta alcanzar la medida de trabajo establecida. Luego, se irrigó con 1 ml. de hipoclorito de sodio al 5.25%.



Figura 25. Lima ProGlider

Para instrumentar las muestras se seleccionó el sistema recíprocante WaveOne Gold. De acuerdo a las instrucciones del fabricante, el proceso de conformación se debe iniciar siempre con la lima Primary (25/07). La preparación se realizó con un movimiento de picoteo suave hacia el interior, con avances de 2 o 3 mm. de profundidad. Entre cada avance, se retiraba el instrumento recíprocante y se irrigaba con 2 ml de hipoclorito de sodio al 5.25%; luego, se hacía una recapitulación con una lima K #10 para mantener la permeabilidad del conducto. Este proceso se realizó hasta que se alcanzó la longitud de trabajo establecida. Posteriormente, en aquellas muestras en las que la lima recíprocante no se sentía ajustada a la medida de trabajo, se introdujo la lima WaveOne Gold Large (45/05) y se llevó a cabo la misma técnica descrita para la lima WaveOne Gold Primary.



Figuras 26 y 27. Calibración e instrumentación con limas WaveOne Gold Large

3.8.5.- Obturación de las raíces

Previo a la obturación, se realizó el protocolo de irrigación final: 3 ml. de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 5.25%, activación durante 30 segundos, 3 ml. de EDTA durante 1 minuto, y finalmente, hipoclorito de sodio al 5.25% durante 1 minuto (Basrani, 2015). Los conductos fueron secados con puntas de papel WaveOne Gold. Luego, para proceder a la obturación de las raíces, se realizó la conometría, para lo cual se emplearon los conos de gutapercha WaveOne Gold apropiados. Con la imagen radiográfica, se verificó en cada una de las muestras que el cono principal se encontrara a una longitud correcta.

La técnica de obturación que se decidió utilizar en esta investigación, fue la de onda continua. Para esto, se colocó el cono principal, previamente embadurnado con el cemento AH Plus, en el interior del conducto, el cual también había sido recubierto anticipadamente con el cemento en cuestión.

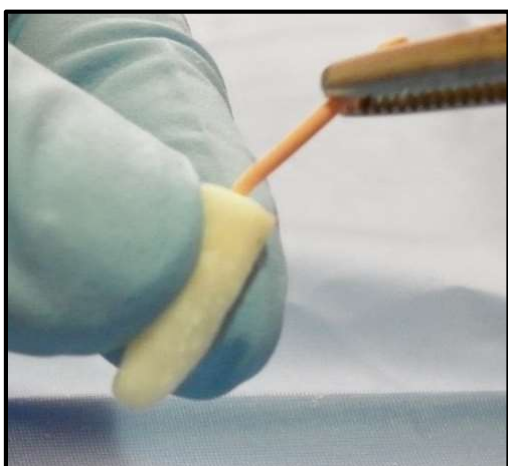


Figura 28. Cono principal



Figura 29. Cemento AH Plus

El cono principal fue seccionado a nivel de la entrada del conducto con la ayuda del heat plugger de color azul (60/06), incorporado en el sistema de obturación BeeFill 2 en 1 (VDW). Luego, se llevó el mismo plugger al interior del conducto a una temperatura de 200 grados centígrados para poder remover gutapercha de forma tal, que se pueda mantener un remanente de 5 mm en la parte apical del conducto. Con la ayuda de los atacadores Machtou 1-2 y 3-4, se compactó esa zona con movimientos leves.

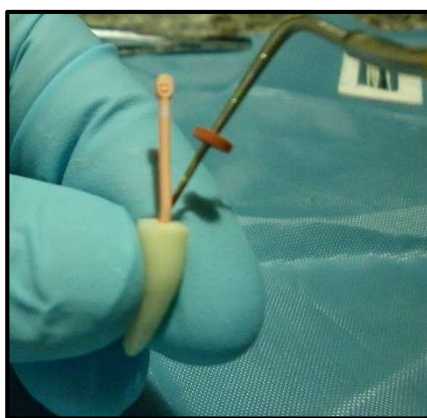


Figura 30. Corte de cono principal

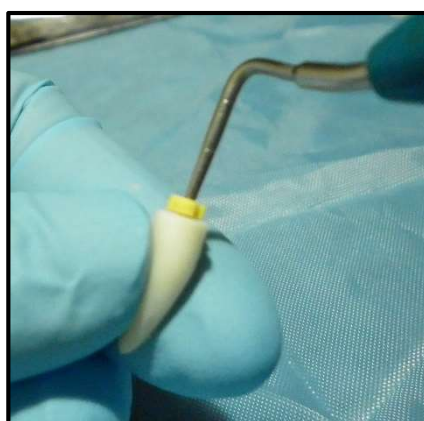


Figura 31. Remoción de gutapercha con heat plugger azul (60/06)

Luego, se activó el dispositivo de Backfill para poder finalizar el relleno del conducto. Para esto, se utilizaron cartuchos de gutapercha de calibre 25G (0.45 mm) y, a una temperatura de 160 grados centígrados, se fue inyectando la gutapercha termoplastificada unos pocos milímetros hasta completar la longitud adecuada. Con los pluggers Machtou 1-2 y 3-4 se hizo la compactación respectiva con el fin de que no se existan espacios. A continuación, se obtura la cavidad de acceso con cemento provisional a base de ionómero de vidrio para evitar filtración por la parte coronal.

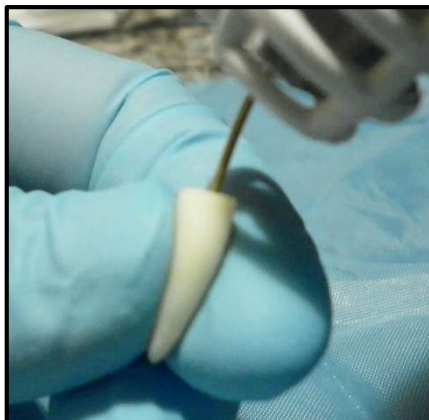


Figura 32. Backfill con el sistema de obturación BeeFill 2 en 1

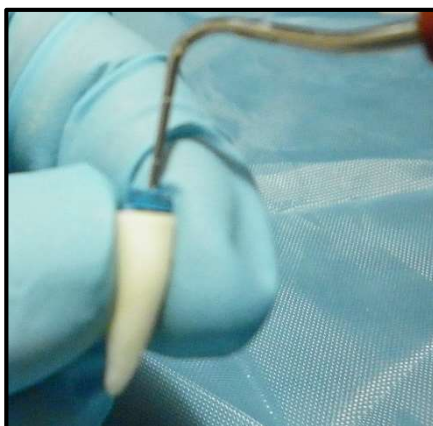
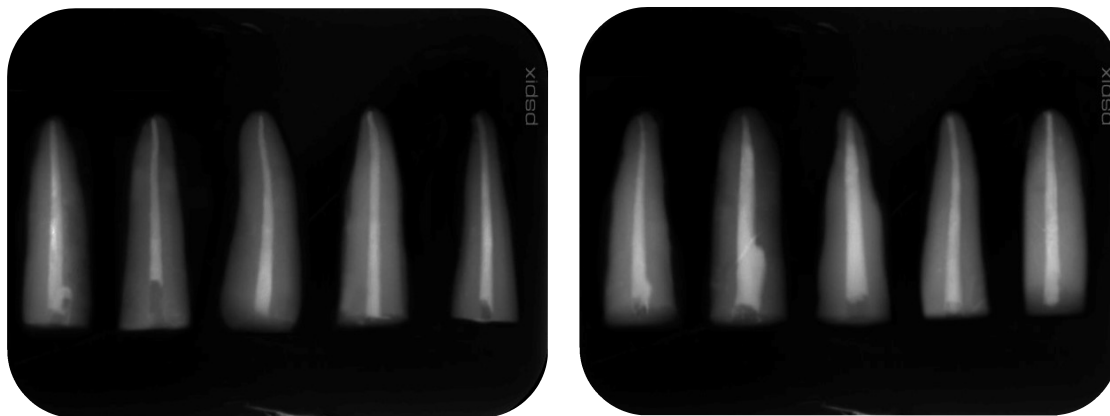
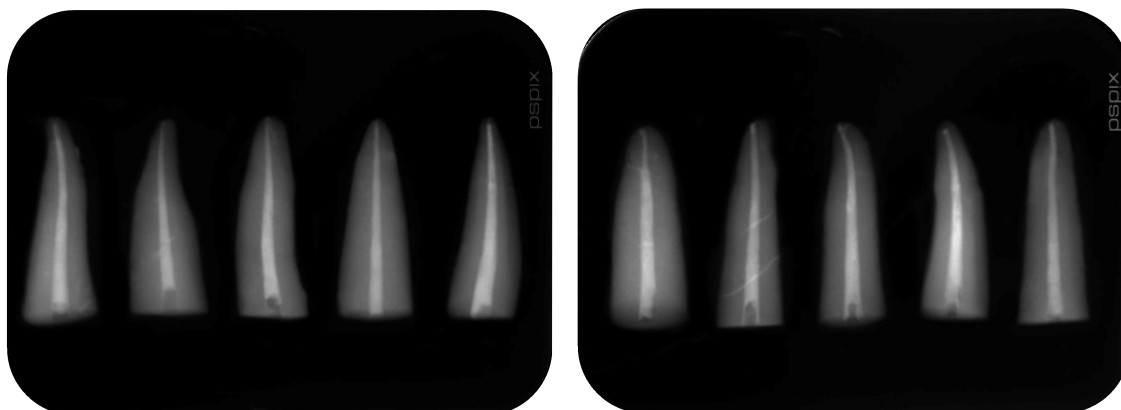


Figura 33. Compactación de la gutapercha termoplastificada

Finalmente, se volvió a tomar una imagen radiográfica de cada muestra para constatar la calidad de la obturación.



Figuras 34 y 35. Obturación del primer grupo de muestras



Figuras 36 y 37. Obturación del segundo grupo de muestras

3.8.6.- Preparación retrógrada

Previo a este paso, se realizó el seccionamiento de los 3 milímetros apicales de cada una de las raíces con una fresa quirúrgica Zekrya montada en una pieza de alta velocidad. Este corte se hizo perpendicular al eje longitudinal del diente.



Figura 38. Seccionamiento de los 3 mm. apicales de la raíz

Posteriormente, para la preparación retrógrada, se empleó una punta ultrasónica E32D (NSK) colocada en un dispositivo (Biosonic S1) a una frecuencia de 28 KHz. Con leves y cortos movimientos hacia arriba y hacia abajo de la punta de ultrasonido, se preparó una cavidad de 3 milímetros de profundidad en todas las raíces dentales.



Figura 39. Punta ultrasónica E32D (NSK)

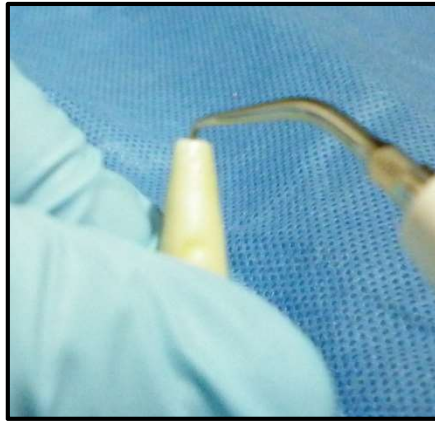


Figura 40. Preparación retrógrada con punta ultrasónica E32D (NSK)

3.8.7.- Agrupación de las muestras

Las muestras fueron clasificadas aleatoriamente en 2 grupos, integrados por 10 dientes cada uno. En el primer grupo, se realizó la obturación retrógrada con Endosequence Root Repair Material en pasta, mientras que, en el grupo restante, se colocó Bio-C Repair.

De tal forma que los grupos quedaron de la siguiente forma:

- Grupo A (N=10): En este grupo, la obturación retrógrada se realizó con Endosequence Root Repair Material en pasta.
- Grupo B (N=10): En este grupo, la obturación retrógrada se realizó con Bio-C Repair.

3.8.8.- Obturación retrógrada

Las muestras pertenecientes al grupo A, como se mencionó anteriormente, fueron obturadas de forma retrógrada con el Endosequence Root Repair Material en pasta (ERRM). Este material fue dispensado a través de la jeringuilla hasta llenar completamente la cavidad preparada, sin ser condensado. Luego, con una pequeña gasa humedecida, se retiraron los excesos.



Figura 41. Endosequence Root Repair Material en pasta



Figura 42. Colocación del Endosequence Root Repair Material en pasta

En el grupo B, el material de obturación retrógrada que se utilizó en las cavidades preparadas, fue el Bio-C Repair. Este agente fue aplicado con microcondensadores quirúrgicos (NSK) y el exceso de material también fue removido con un fragmento de una gasa ligeramente humedecida.

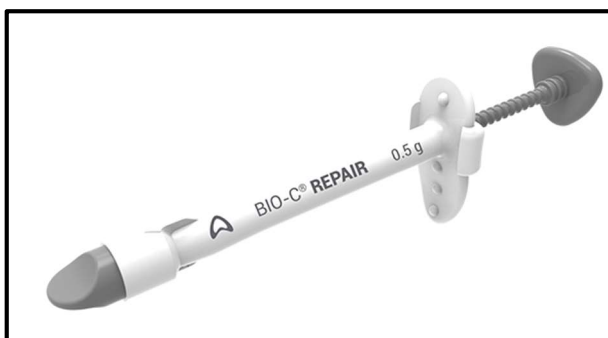


Figura 43. Bio-C Repair



Figura 44. Aplicación de Bio-C Repair

Finalizado este procedimiento, se procedió a la toma de radiografías periapicales de cada muestra para verificar la calidad de la obturación retrógrada.

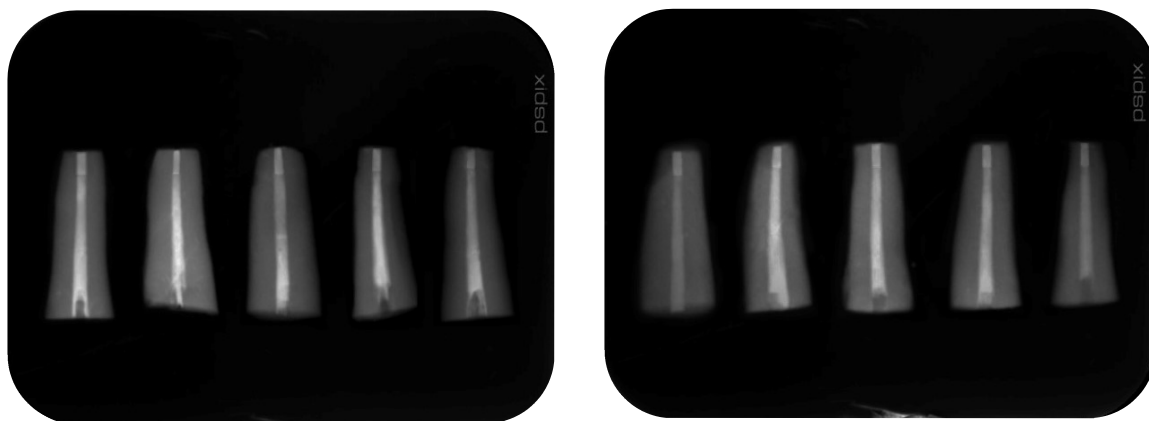


Figura 45. Obturación retrógrada del primer grupo de muestras

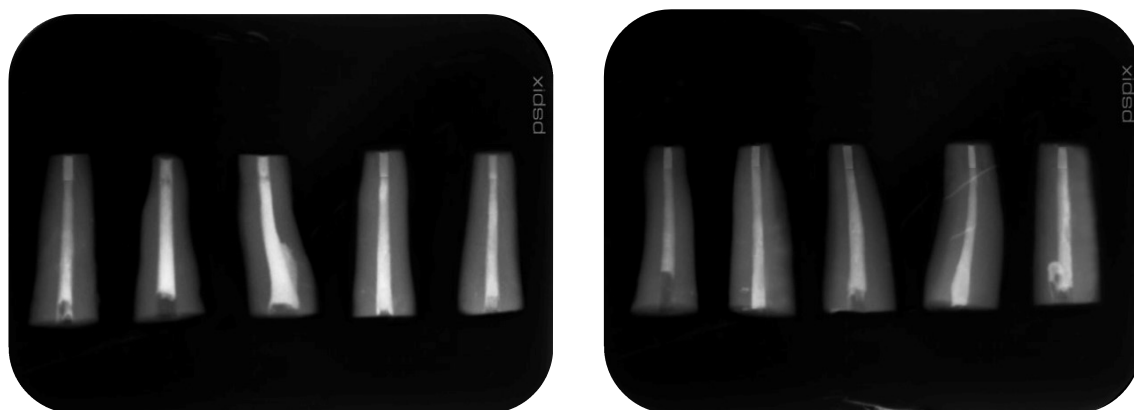


Figura 46. Obturación retrógrada del segundo grupo de muestras

Las muestras fueron envueltas en gasas húmedas y almacenadas en frascos estériles durante 48 horas a temperatura ambiente, con el fin de conseguir un correcto fraguado de los materiales de retrobturación (Rosa et al., 2013). Estos frascos fueron rotulados en su parte externa con etiquetas de diferente color indicando: número de muestra, grupo al que pertenecía, y material de obturación retrógrada utilizado.



Figura 47. Envase para muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta



Figura 48. Envase para muestras de Bio-C Repair

3.8.9.- Seccionamiento de muestras

Transcurrido el tiempo establecido para garantizar el endurecimiento de los materiales de obturación retrógrada, las muestras fueron seccionadas en sentido longitudinal en relación a su eje mayor. Para esto, se volvió a emplear un disco de diamante montado en un micromotor, tal como lo realizó Bansal en su estudio (Bansal et al., 2019).

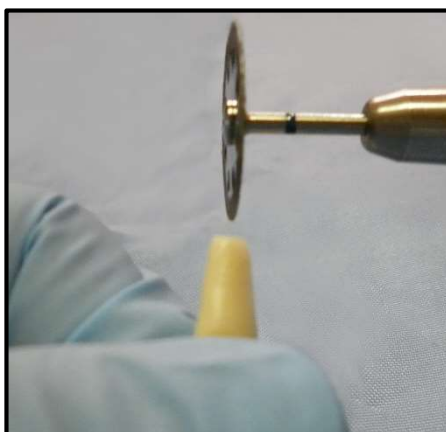


Figura 49. Corte longitudinal de las muestras

Luego, se hizo otro corte, pero esta vez transversal, para de esta manera obtener bloques de dientes de aproximadamente 7-8 milímetros de longitud.



Figura 50. Muestra seccionada obturada de forma retrógrada con ERRM



Figura 51. Muestra seccionada obturada de forma retrógrada con Bio-C Repair

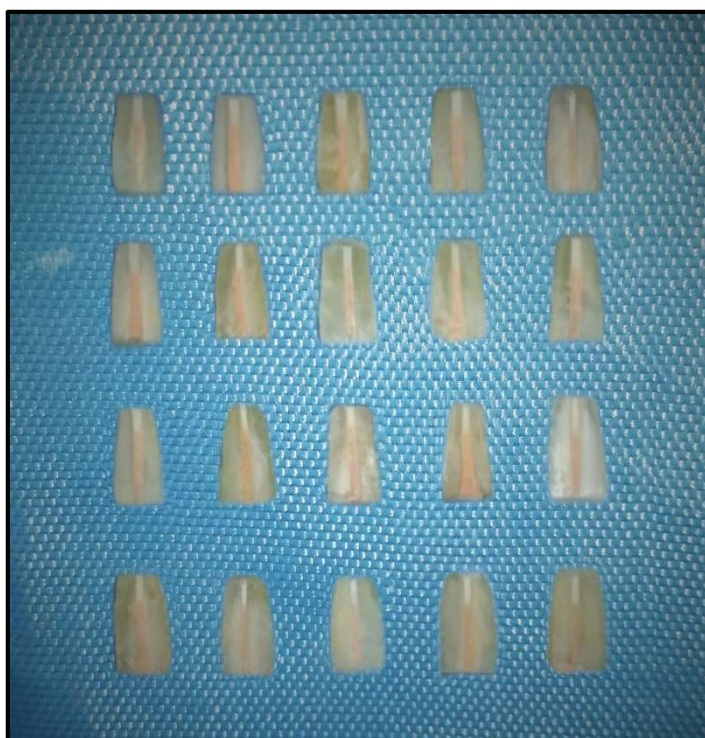


Figura 52. Muestras listas para ser sometidas a procedimientos de laboratorio

3.8.10.- Preparación de muestras previo a la observación en SEM

Las muestras se mantuvieron almacenadas a temperatura ambiente en los envases correspondientes hasta la fecha de observación en el microscopio electrónico de barrido (SEM). Desafortunadamente, la inesperada situación de emergencia sanitaria a nivel mundial a causa de la pandemia por coronavirus (Covid-19), retrasó la observación de los especímenes. Al retomar las actividades normales, las muestras fueron enviadas al Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Aquí, las muestras fueron colocadas sobre una capa de cinta de carbono doble faz en un portamuestra para microscopía electrónica de barrido.



Figura 53. Muestras colocadas sobre una capa de cinta de carbono doble faz en portamuestras y separadas por grupo

A continuación, las muestras fueron cubiertas con oro. Para este fin, se usó un evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R bajo las siguientes condiciones: 15mA y 80 mTorr por 90 segundos, produciendo una capa de un espesor aproximado de 20nm. Las observaciones se llevaron a cabo en un microscopio electrónico de barrido marca TESCAN modelo MIRA 3. Dichas observaciones en el SEM se realizaron a 10kV.



Figura 54. Muestras colocadas sobre el soporte del evaporizador de oro



Figura 55. Evaporizador de oro Sputter Coating Quorum Q105R

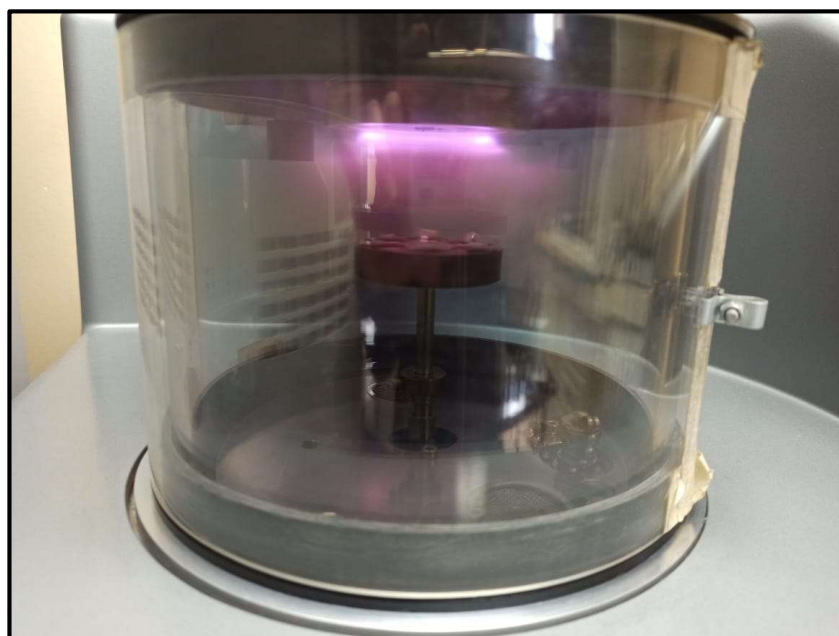


Figura 56. Recubrimiento de las muestras con oro

3.8.11.- Método para la observación de las muestras en el SEM

Para facilitar la observación de las muestras en el microscopio, así como la recopilación de los datos, el material de obturación retrógrada se dividió en tres niveles, que correspondían al primer, segundo y tercer milímetro de grosor.

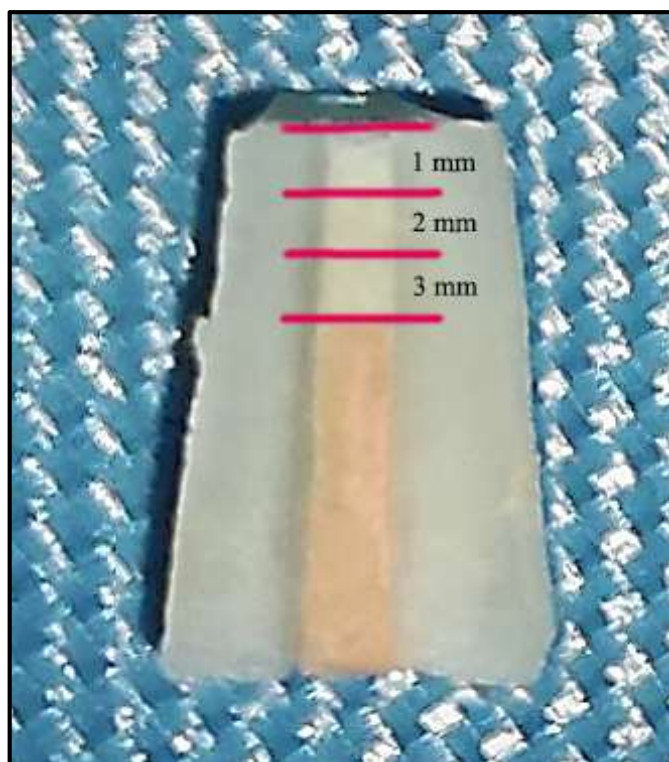


Figura 57. Material de obturación retrógrada dividido por niveles

Cada uno de estos tres niveles, a su vez, se dividieron en dos áreas, cuya ubicación debía ser en la zona de interfase del material de retrobturación (MR) con la dentina (D). Estas áreas se las identificó según su localización: a la zona correspondiente al nivel 1, interfase MR-D izquierda se le denominó 1A; al nivel 1 interfase MR-D derecha, 1B; al nivel 2 interfase MR-D izquierda, 2A; al nivel 2 interfase MR-D derecha, 2B.

De igual manera, a la zona correspondiente al nivel 3, interfase MR-D izquierda se le denominó 3A; por último, al nivel 3 interfase MR-D derecha, se le asignó la identificación 3B.

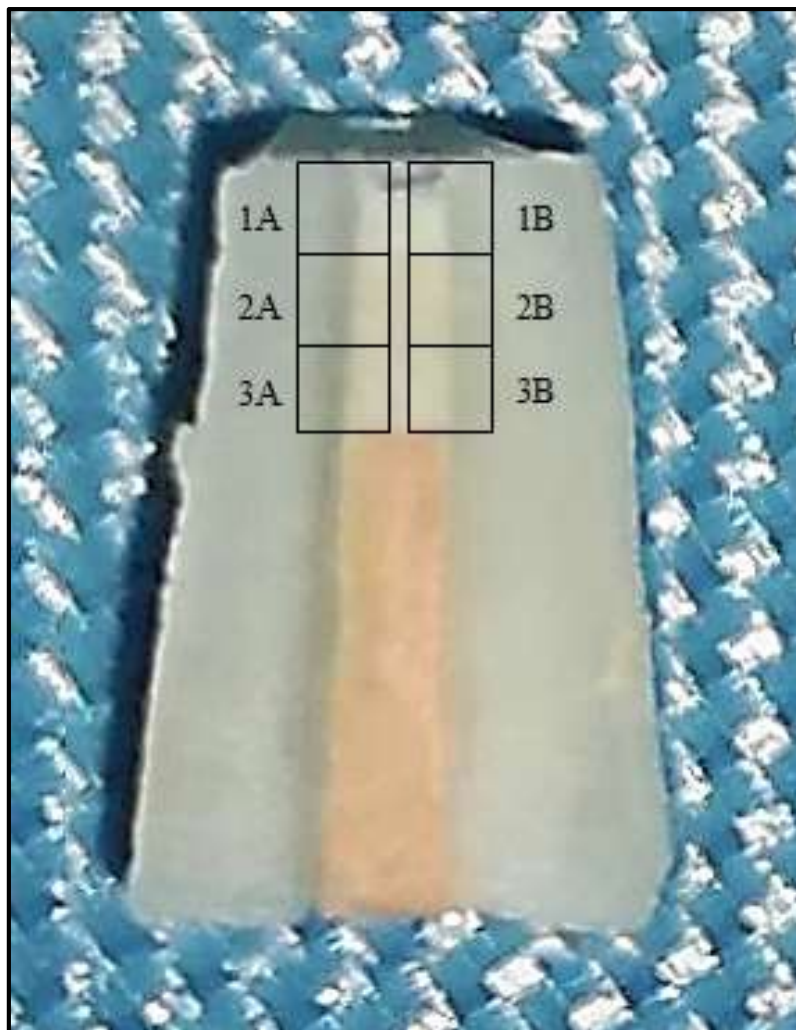


Figura 58. Material de obturación retrógrada dividido por cuadrantes

Se adquirió 1 microfotografía por cuadrante. Es decir, por cada una de las veinte muestras, se analizaron en total 6 imágenes distintas.

3.8.12.- Observación de muestras en SEM y selección de microfotografías

Se obtuvieron microfotografías a distintas magnificaciones, de tal forma que fuera claramente visible el material de obturación retrógrada, la dentina y la interfase entre estas dos zonas. Los aumentos mayormente utilizados fueron: 2.67Kx, 280x y 256x.

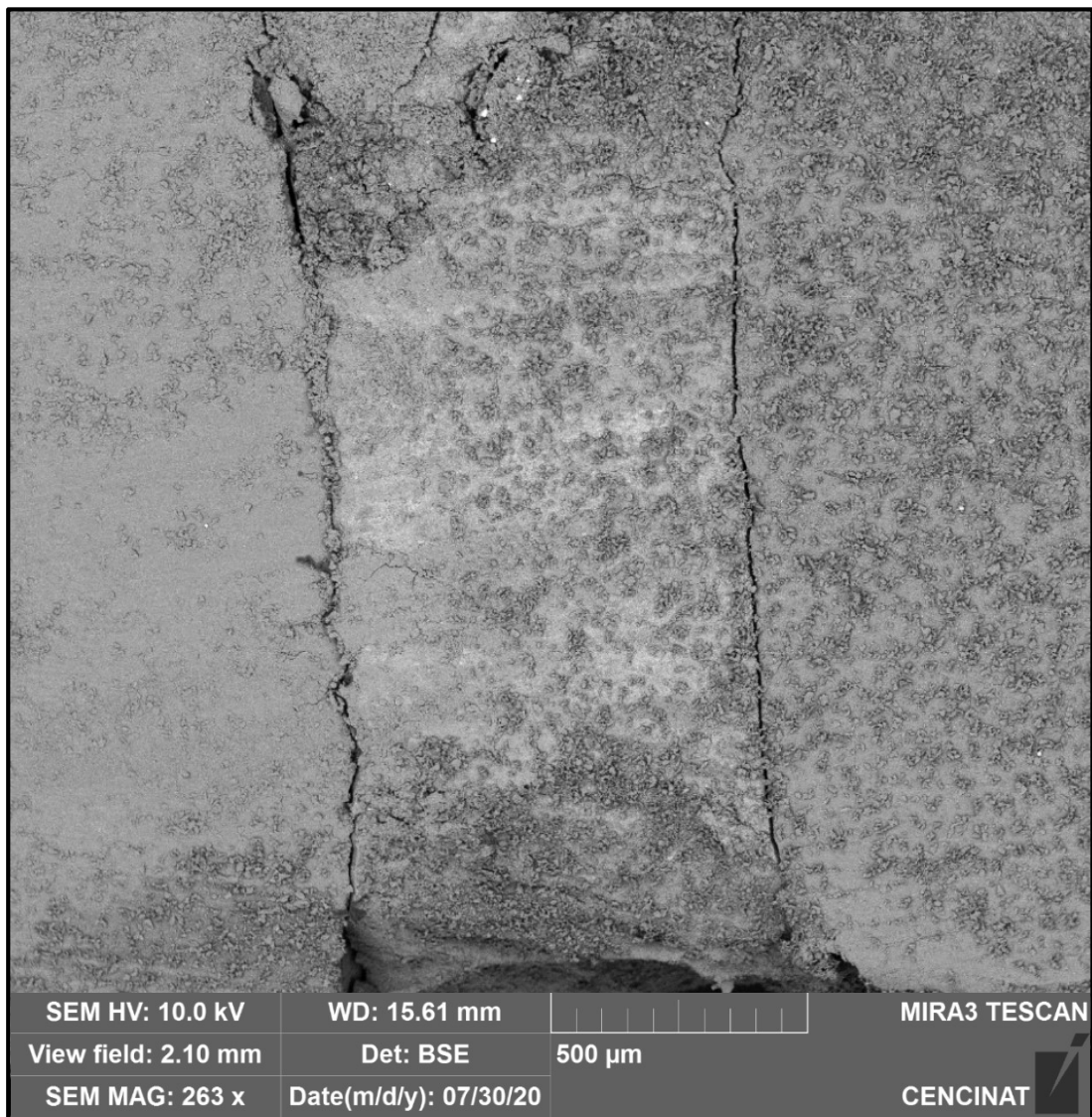


Figura 59. Microfotografía a 263x en la que se observan los 3 mm. del material de retrobturación

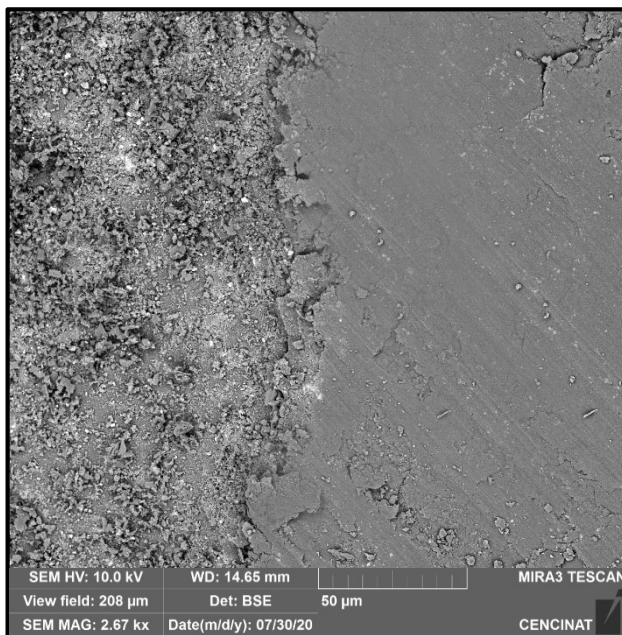


Figura 60. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 1° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A)

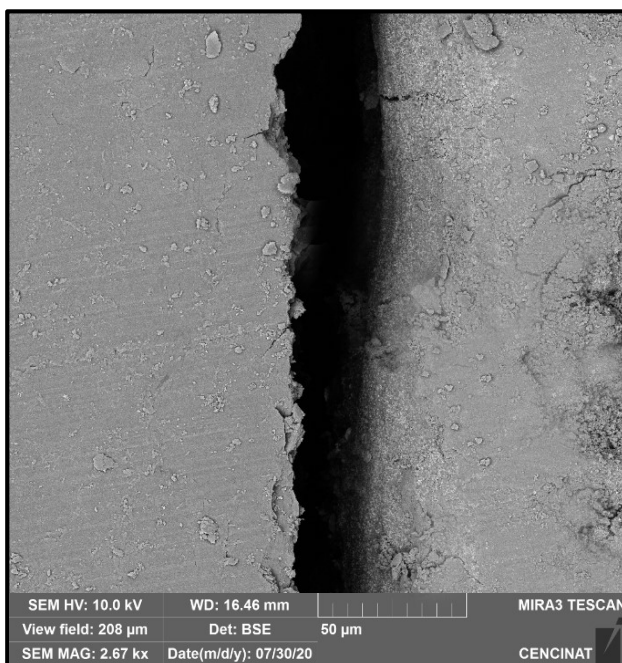


Figura 61. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 1° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B).

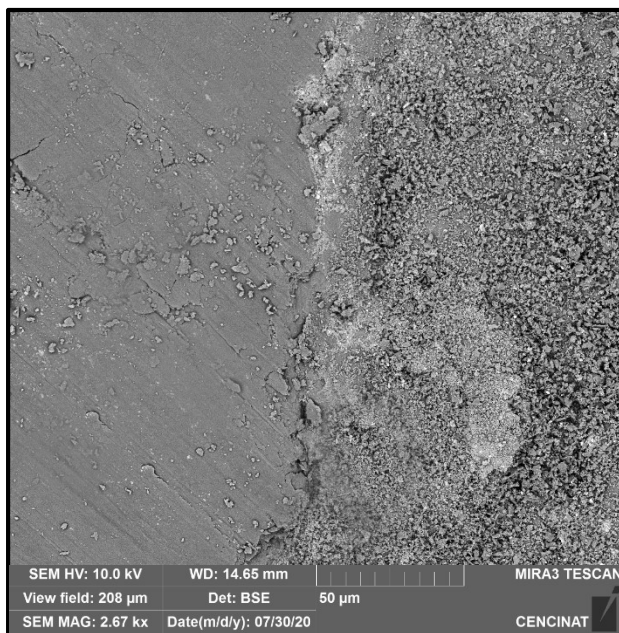


Figura 62. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 2° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A)

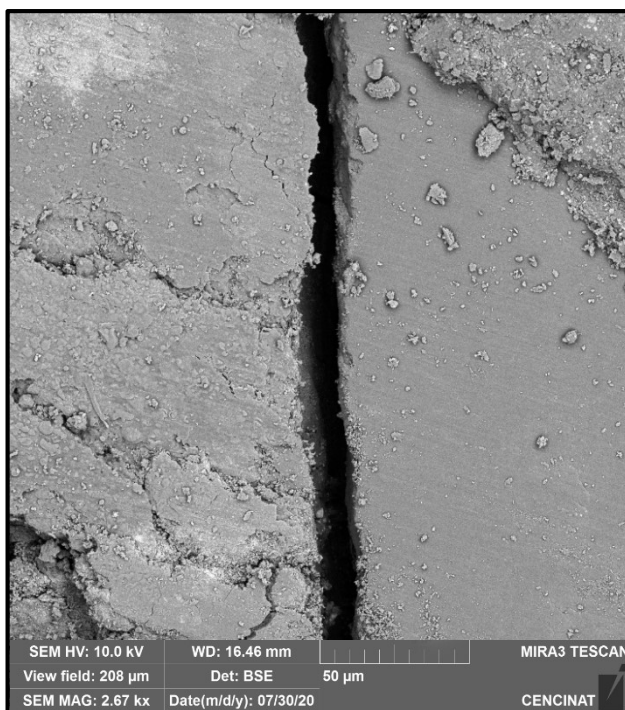


Figura 63. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 2° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B)

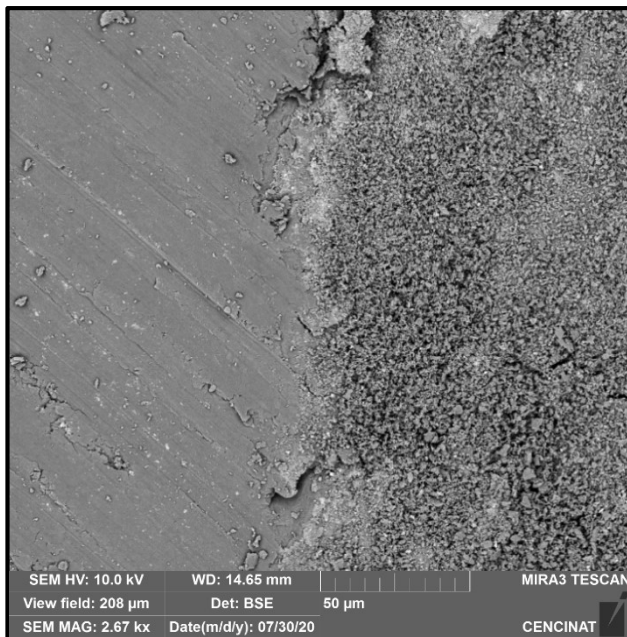


Figura 64. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 3° mm. en una de las muestras de ERRM (Grupo A)

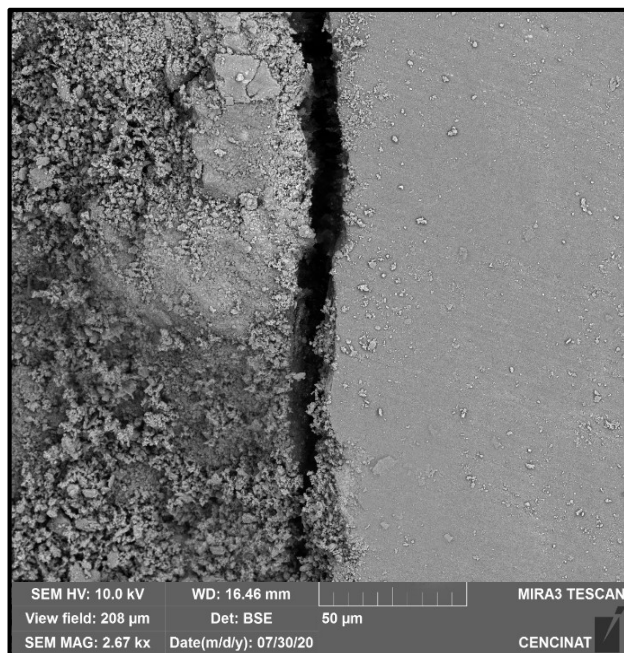


Figura 65. Microfotografía de la interfase material de obturación retrógrada-dentina a nivel del 3° mm. en una de las muestras de Bio-C Repair (Grupo B)

3.8.13.- Medición de espacios

Para efectuar la medición de los espacios entre el material de obturación retrógrada a investigar y las paredes de dentina, se recurrió al software Image J. En cada cuadrante, se identificaron 3 puntos en donde se observaban los espacios más grandes; en aquellas zonas fue donde se hicieron las mediciones respectivas. Con el promedio de las medidas por cuadrante, se calculó la distancia media entre el material de retrobturación y las paredes de dentina por nivel, es decir: a 1 mm., a 2 mm. y a 3 mm.

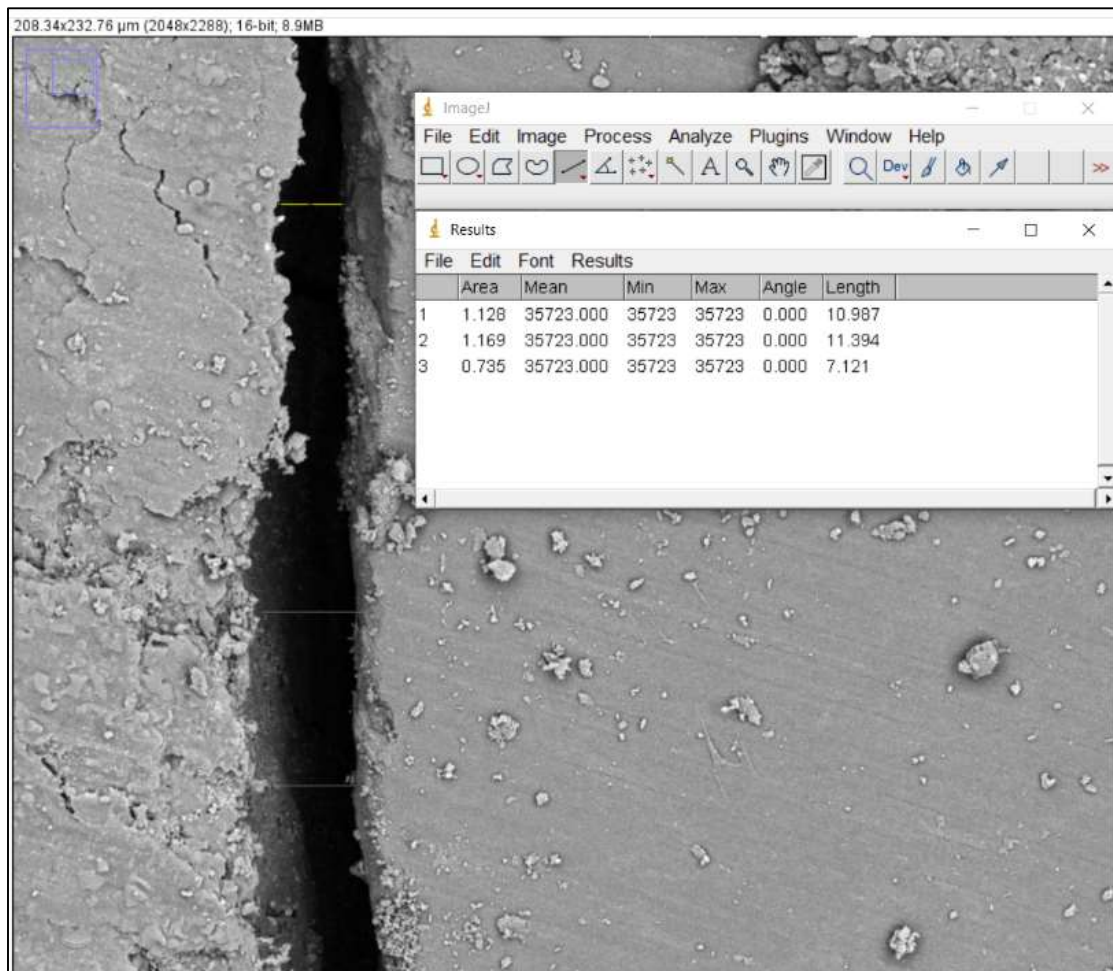


Figura 66. Medición de espacios en la interfase material de obturación retrógrada-dentina con el programa Image J

4.- RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

En la siguiente tabla se registró el espacio promedio (en micras) entre las paredes de dentina (D) y el material de obturación retrógrada (MR) a nivel de cada uno de los 3 milímetros apicales de los especímenes del grupo A (Endosequence Root Repair Material).

Grupo A (ERRM)	Espacio (D-MR) 1° mm	Espacio (D-MR) 2° mm	Espacio (D-MR) 3° mm	Espacio (D-MR) en general
Diente #1	1.68 μm	2.45 μm	1.67 μm	1.93 μm
Diente #2	1.49 μm	4.82 μm	2.66 μm	2.99 μm
Diente #3	11.32 μm	9.02 μm	8.73 μm	9.69 μm
Diente #4	14.43 μm	11.20 μm	11.84 μm	12.49 μm
Diente #5	4.10 μm	2.27 μm	8.79 μm	5.06 μm
Diente #6	6.14 μm	6.04 μm	6.96 μm	6.38 μm
Diente #7	4.34 μm	3.48 μm	6.97 μm	4.93 μm
Diente #8	5.09 μm	3.57 μm	4.73 μm	4.46 μm
Diente #9	7.03 μm	11.24 μm	10.11 μm	9.46 μm
Diente #10	6.18 μm	6.01 μm	6.94 μm	6.37 μm
Promedio	6.18 μm	6.01 μm	6.94 μm	6.43 μm

Tabla 2. Espacios promedio en muestras de grupo A

Asimismo, en la tabla descrita a continuación, también se anotaron las cifras correspondientes a los espacios promedio (en micras) entre la dentina (D) y el material de obturación retrógrada (MR) en los 3 milímetros apicales de cada una de las muestras del grupo B, correspondiente al Bio-C Repair.

Grupo B (Bio-C Repair)	Espacio (D-MR) 1° mm	Espacio (D-MR) 2° mm	Espacio (D-MR) 3° mm	Espacio (D-MR) en general
Diente #1	1.42 μm	4.34 μm	6.34 μm	4.03 μm
Diente #2	11.16 μm	9.87 μm	6.98 μm	9.33 μm
Diente #3	7.66 μm	7.15 μm	7.33 μm	7.38 μm
Diente #4	18.27 μm	10.45 μm	6.77 μm	11.83 μm
Diente #5	6.80 μm	4.75 μm	8.98 μm	6.84 μm
Diente #6	3.92 μm	2.67 μm	11.36 μm	5.99 μm
Diente #7	3.99 μm	2.63 μm	3.38 μm	3.33 μm
Diente #8	9.12 μm	5.98 μm	4.06 μm	6.39 μm
Diente #9	13.74 μm	11.53 μm	11.90 μm	12.39 μm
Diente #10	8.42 μm	6.60 μm	7.46 μm	7.51 μm
Promedio Final	8.45 μm	6.60 μm	7.46 μm	7.5 μm

Tabla 3. Espacios promedio en muestras de grupo B

En general, el espacio promedio entre la dentina y el material de obturación retrógrada para las muestras del grupo A (Endosequence Root Repair Material) fue de 6.43 micras. A nivel del primer milímetro del ERRM, este espacio fue de 6.18 micras; a los 2 milímetros fue de 6.01 micras; y a los 3 milímetros fue de 6.94 micras.

Para las muestras del grupo B (Bio-C Repair), el espacio entre las paredes dentinarias y el material de obturación retrógrada, en general, fue de 7.5 micras. En el 1° milímetro del material, este espacio fue de 8.45 micras; en el 2° milímetro, fue de 6.6 micras; y al 3° milímetro, fue de 7.46 micras.

	Tipo de Material	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Distancia Promedio	ERRM	10	6,43130	3,233652	1,022571
	BioCRepair	10	7,50770	2,969552	,939055

Tabla 4. Espacio promedio final entre dentina y material de obturación retrógrada según grupo de estudio

	Tipo de Material	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Espacio a 1mm	ERRM	10	6,18290	4,032233	1,275104
	BioCRepair	10	8,45455	5,002529	1,581938
Espacio a 2mm	ERRM	10	6,01490	3,395411	1,073723
	BioCRepair	10	6,60340	3,165444	1,001001
Espacio a 3mm	ERRM	10	6,94470	3,193471	1,009864
	BioCRepair	10	7,46440	2,737277	,865603

Tabla 5. Espacios promedio entre dentina y material de obturación retrógrada a 1, 2 y 3 mm, por grupo de estudio

Los valores recolectados en las tablas 2 y 3 fueron incorporados en el programa estadístico IBM SPSS 25 para ejecutar la prueba de Shapiro-Wilk. Este test se realizó con el fin de corroborar que la distribución de los datos sea normal. En el caso del presente estudio, se considera apropiado tomar en cuenta únicamente la prueba de Shapiro-Wilk, dado que el tamaño de la muestra es pequeño.

Previo a la verificación de la normalidad de los datos, es necesario plantear también una hipótesis, que fue la siguiente:

H₀.- Los datos provienen de una distribución normal

H₁.- Los datos no provienen de una distribución normal

Pruebas de normalidad

	Tipo de Material	Shapiro-Wilk ^a Sig.
Espacio a 3mm	ERRM	,776
	BioCRepair	,547
Espacio a 2mm	ERRM	,134
	BioCRepair	,468
Espacio a 1mm	ERRM	,232
	BioCRepair	,843
Distancia Promedio	ERRM	,653
	BioCRepair	,553

Tabla 6. Prueba de Shapiro-Wilk de normalidad de distribución de datos

En la tabla 6 se muestran los valores de significancia de la prueba de Shapiro-Wilk. Para el Grupo A fueron los siguientes: 0.776, 0.134, 0.232 y 0.653. Para el grupo B fueron: 0.547, 0.468, 0.843 y 0.553. Estas cifras son superiores al valor de significancia que es de 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Esto significa que los datos de la presente investigación siguen una distribución normal.

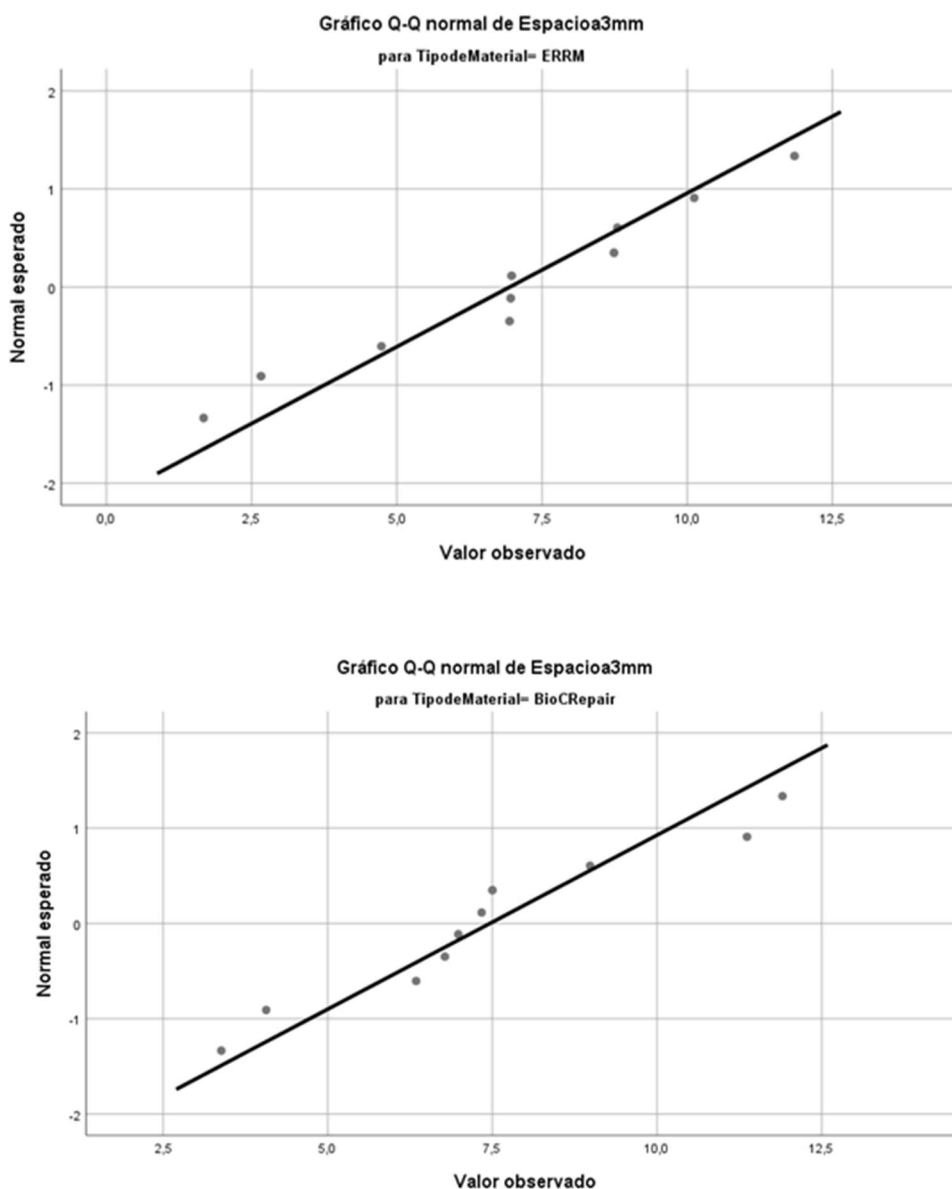


Figura 67. Distribución normal de los espacios a nivel del 3° mm de las muestras

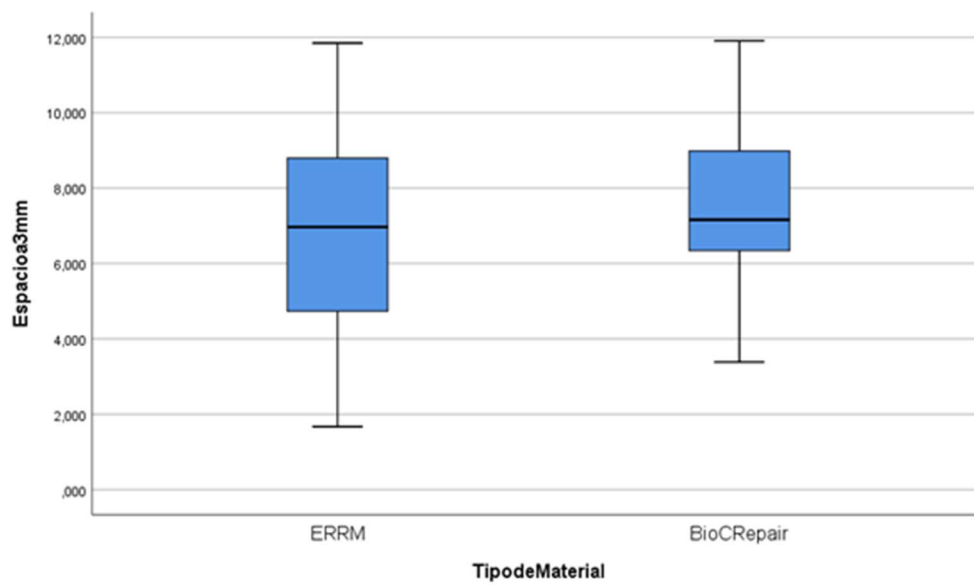


Figura 68. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 3° mm de las muestras

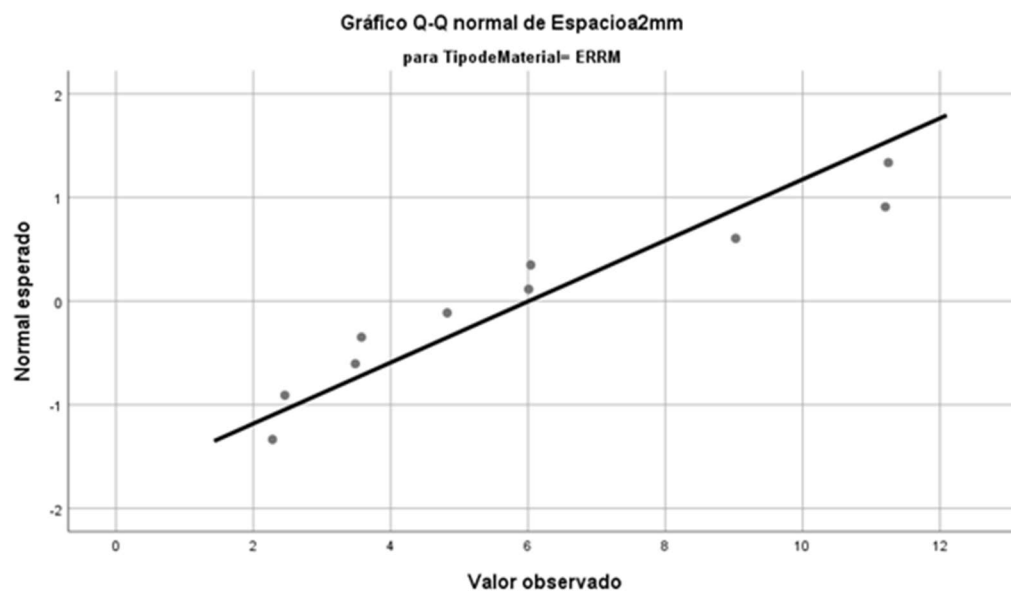


Figura 69. Distribución normal de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras de Endosequece Root Repair Material

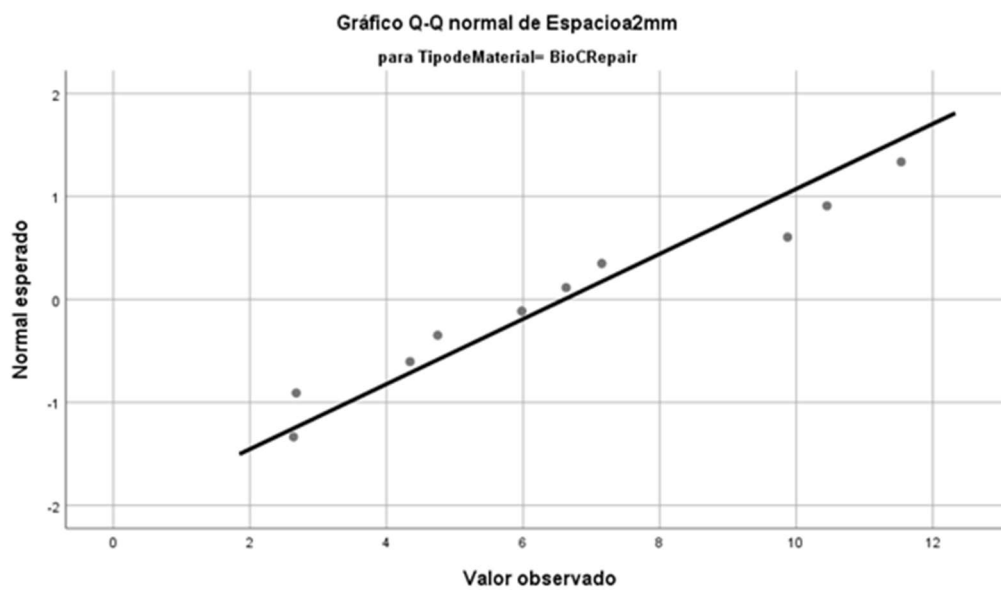


Figura 70. Distribución normal de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras de Bio-C Repair

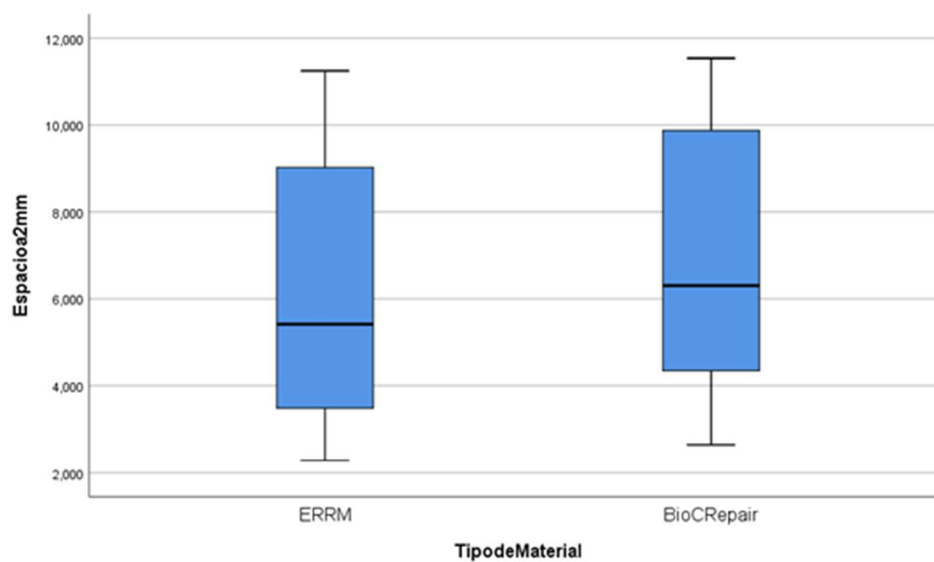


Figura 71. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 2° mm de las muestras

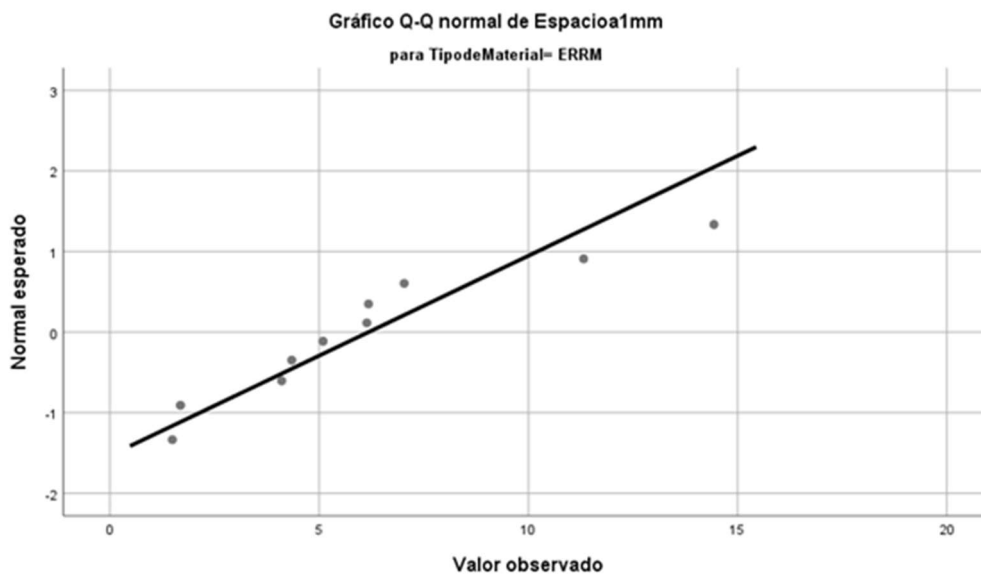


Figura 72. Distribución normal de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras de Endosequence Root Repair Material

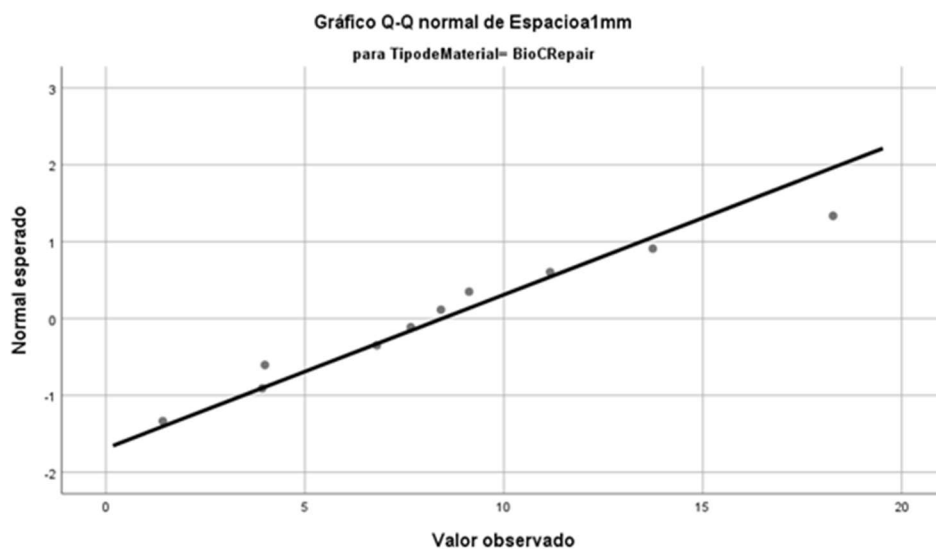


Figura 73. Distribución normal de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras de Bio-C Repair

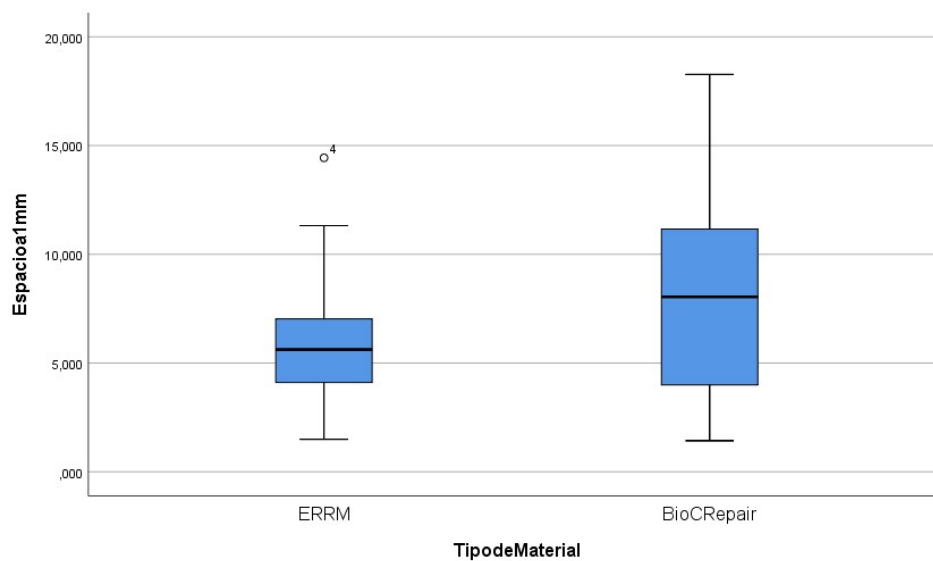


Figura 74. Diagrama de caja de los espacios a nivel del 1° mm de las muestras

Una vez conocida la normalidad en la distribución de las muestras, es posible escoger el test más apropiado para determinar si existen diferencias entre los grupos A y B del presente estudio. Al ser dos grupos con distribución normal y siendo numérica la variable a investigar, se seleccionó la prueba T Student para muestras independientes. La primera hipótesis a comprobar es la siguiente:

H₀.- El espacio general en la interfase dentina-material de retrobturación es similar en el Endosequence Root Repair Material en pasta y en el Bio-C Repair.

H₁.- El espacio general en la interfase dentina-material de retrobturación es diferente en el Endosequence Root Repair Material en pasta y en el Bio-C Repair.

Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias
		F	Sig.	t
Espacio promedio en interfase dentina-material ERRM- Bio-C Repair	Se asumen varianzas iguales	,097	,759	-,775
	No se asumen varianzas iguales			-,775

		prueba t para la igualdad de medias		
		gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias
Espacio promedio en interfase dentina-material ERRM- Bio-C Repair	Se asumen varianzas iguales	18	,448	-1,076400
	No se asumen varianzas iguales	17,871	,448	-1,076400

Tabla 7. Prueba T de Student para muestras independientes comparando los espacios promedio en el grupo A y en el grupo B

La tabla 7 muestra los resultados que se obtuvieron al comparar los datos correspondientes al espacio en general entre la dentina y los materiales de obturación retrógrada utilizados en el grupo A y el grupo B. El valor de significancia es de 0.448, lo que es superior a 0.05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, es decir, el Endosequence Root Repair Material y el Bio-C Repair presentan espacios similares en su interfase con la dentina.

El siguiente paso en esta investigación es determinar si existen diferencias intergrupales en los espacios de la interfase dentina-material a nivel de cada uno de los tres milímetros de grosor de los agentes aplicados. Para esto se plantearon varias hipótesis:

1. H_0 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 1° mm del material es similar entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair

H_1 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 1° mm del material es diferente entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair

2. H_0 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 2° mm del material es similar entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair

H_1 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 2° mm del material es diferente entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair.

3. H_0 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 3° mm del material es similar entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair.

H_1 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación a nivel del 3° mm del material del ápice es diferente entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair

Prueba de muestras independientes

		prueba t para la igualdad de medias		
		Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Espacios en 1° mm Grupo A-Grupo B	Se asumen varianzas iguales	,278	-2,271650	2,031851
	No se asumen varianzas iguales	,279	-2,271650	2,031851
Espacios en 2° mm Grupo A-Grupo B	Se asumen varianzas iguales	,693	-,588500	1,467953
	No se asumen varianzas iguales	,693	-,588500	1,467953
Espacios en 3° mm Grupo A-Grupo B	Se asumen varianzas iguales	,701	-,519700	1,330073
	No se asumen varianzas iguales	,701	-,519700	1,330073

Tabla 8. Pruebas T Student para muestras independientes.

Comparación intergrupar por nivel

Los resultados de la prueba T Student para muestras independientes indican lo siguiente:

- No hubo diferencias significativas entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair en cuanto a espacios a nivel del primer milímetro de la interfase dentina-material de obturación retrógrada.
- Tampoco existieron diferencias significativas en los espacios a nivel del segundo y tercer milímetro de la interfase dentina-material en los dos agentes examinados.

Por último, se recurrió a la prueba T de Student para muestras relacionadas con el objetivo de hallar diferencias intragrupalas en los espacios entre las paredes de dentina y el material de obturación retrógrada en la totalidad de su extensión. Es decir, se deseaba conocer si en un mismo material de retrobturación podría haber diferencias significativas en los espacios con la dentina a 1, 2 o 3 milímetros.

Se formulan las siguientes hipótesis:

1. H_0 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación en las muestras del grupo del Endosequence Root Repair Material en pasta es similar a 1, 2 y 3 mm.

H_1 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación en las muestras del grupo del Endosequence Root Repair Material en pasta es diferente a 1, 2 y 3 mm.

2. H_0 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación en las muestras del grupo del Bio-C Repair es similar a 1, 2 y 3 mm.

H_1 .- El espacio entre las paredes de dentina y el material de retrobturación en las muestras del grupo del del Bio-C Repair es diferente a 1, 2 y 3 mm.

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas 95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Espacios 1mm – Espacios 2mm	1,876010	,223	9	,829
Par 2	Espacios 1mm – Espacios 3mm	,903736	-1,035	9	,328
Par 3	Espacios 2mm – Espacios 3mm	,857118	-1,177	9	,269

Tabla 9. Pruebas T Student para muestras relacionadas.

Comparación intragrupal ERRM

		Diferencias emparejadas 95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Par 1	Espacioa1mm - Espacioa2mm	3,743197	2,213	9	,054
Par 2	Espacioa1mm - Espacioa3mm	4,792589	,589	9	,570
Par 3	Espacioa2mm - Espacioa3mm	1,717870	-,755	9	,469

Tabla 10. Pruebas T Student para muestras relacionadas.

Comparación intragrupal Bio-C Repair

Los resultados de la prueba estadísticas T de Student para muestras relacionadas demuestran lo siguiente:

- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el primer y segundo milímetro de las muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta.
- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el segundo y tercer milímetro de las muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta.
- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el primer y tercer milímetro de las muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta.
- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el primer y segundo milímetro de las muestras de Bio-C Repair.
- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el segundo y tercer milímetro de las muestras de Bio-C Repair.
- No existieron diferencias significativas en los espacios entre la dentina y el material de obturación retrógrada al comparar el primer y tercer milímetro de las muestras de Bio-C Repair.

5.- DISCUSIÓN

La cirugía periapical es un tratamiento recomendado para mantener aquellos dientes con patología endodóntica persistente o recurrente. Este es un procedimiento quirúrgico predecible, que cuenta con un elevado porcentaje de éxito, el cual fluctúa entre el 88 y el 94% para las técnicas contemporáneas (Kim & Kratchman, 2017). Más recientemente, en un estudio se concluyó que la tasa de supervivencia de los dientes sometidos a una microcirugía endodóntica fue del 95% durante el periodo comprendido entre 5 y 9 años después de haber realizado el procedimiento, mientras que el porcentaje de reparación fue del 78% durante el mismo lapso (Huang et al., 2020).

Un elemento clave en la cirugía periapical es la aplicación de un material de obturación retrógrada. Está reportado en la literatura endodóntica que este tipo de productos influyen en el pronóstico a largo plazo del tratamiento, dado que son responsables de crear un sellado hermético de la superficie radicular seccionada. En un estudio, Christiansen demostró que en los casos quirúrgicos en los que se colocó material de obturación retrógrada, la reparación a los 12 meses fue significativamente superior en comparación a los casos en los que no hubo colocación de material (96%-52%, respectivamente) (Christiansen et al., 2009). Asimismo, en otra investigación, el 86% de las raíces dentales que recibieron material de obturación retrógrada fueron calificadas como exitosas después de un seguimiento de 6 años, a diferencia de los casos sin retrobturación, que solo fueron exitosos en un 55% (Kruse et al., 2016).

La importancia de estos agentes es destacada también por Tsesis, quien afirmó que una de las dos principales variables que afectan el pronóstico de una cirugía periapical es precisamente el material de retrobturación utilizado (Tsesis et al., 2013). Años más tarde, Huang concluyó que uno de los tres factores de pronóstico más relevantes en cirugía periapical, era también el tipo de material de obturación retrógrada, a tal punto que está asociado significativamente con la no reparación de la pieza afectada (Huang et al., 2020).

En la presente investigación, se decidió analizar la adaptación marginal de dos materiales de obturación retrógrada, puesto que este es un método que evalúa indirectamente su capacidad de sellado. Existen otras técnicas con las que es posible estudiar la calidad de sellado. Algunas de ellas son las siguientes: penetración de tinta, penetración bacteriana, penetración de radioisótopos, método electroquímico y método de transporte de fluidos. Sin embargo, la relevancia clínica de estas metodologías es controversial porque los resultados de estos experimentos *in vitro* no se correlacionan con el pronóstico clínico. Tanto es así, que aquellas investigaciones generalmente ya no son aceptadas para su publicación (Küçükkaya Eren & Parashos, 2019).

La presencia de espacios entre el agente de retrobturación y la dentina radicular puede potencialmente ser responsable de una filtración apical, lo que ocasionaría una patología apical. De esta manera, para seleccionar un material de obturación retrógrada adecuado, será muy importante conocer su capacidad de adaptación a las paredes del conducto (Küçükkaya Eren & Parashos, 2019).

Para la evaluación de la adaptación marginal de los materiales de retrobturación, se recurrió a la técnica más utilizada: el análisis mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) (Küçükkaya Eren & Parashos, 2019).

Las razones para esta decisión se basaron en varios aspectos: en primer lugar, el SEM proporciona una gran magnificación, además, confiere una buena resolución, lo que permite una observación detallada del área a inspeccionar. También, permite generar datos en forma digital (Bansal et al., 2019).

Sin embargo, la preparación de las muestras biológicas para la examinación en el microscopio electrónico de barrido puede estar asociada a la introducción de artefactos, lo que puede afectar los resultados del experimento. Además, la evaporización al vacío puede causar fisuras en la dentina radicular y separación del material de obturación retrógrada de las paredes del conducto radicular. Adicionalmente, puede haber expansión y contracción de los dientes a examinar (Rosa et al., 2013).

A pesar de estas posibles dificultades, finalmente se mantuvo la decisión de utilizar el microscopio electrónico de barrido (SEM), debido a que sigue siendo el principal método para evaluar la adaptación marginal de los materiales de obturación retrógrada a la dentina radicular. Esto se puede corroborar en el estudio de revisión de Küçükkaya, quien analizó 20 artículos, de los cuales 17 recurrieron al SEM como metodología principal. Asimismo, la imposibilidad de acceder en nuestro medio a ciertos equipos más sofisticados para la investigación odontológica, como microtomografía computarizada o microscopio confocal, hace que el SEM sea la opción más apropiada para realizar este estudio.

Para superar los inconvenientes que se podrían generar durante el procesamiento de las muestras para la observación en el microscopio electrónico de barrido, varios autores usaron réplicas de los especímenes a examinar (M. Torabinejad et al., 1995) (Gondim et al., 2003) (Costa et al., 2008).

En esta técnica, se toma una impresión de la superficie radicular seccionada, y luego, se vierte resina epóxica en aquella impresión para obtener la réplica de resina. Esta réplica aparentemente es más resistente que los dientes naturales a los procedimientos de preparación para el SEM (Küçükkaya Eren & Parashos, 2019).

No obstante, en el presente trabajo, se optó por no realizar réplicas. Esto, en base a los hallazgos publicados en varios artículos. En uno de ellos, Torabinejad encontró que hubo espacios similares en los dientes examinados directamente y en las réplicas de resina de las raíces seccionadas (M. Torabinejad et al., 1995). En otro trabajo, no se crearon espacios artificiales o artefactos dentro de la interfase material de retrobturación-dentina después de la preparación de los especímenes para la examinación en el SEM (El-Aziz, 2017).

Además, Orosco afirmó que, para la evaluación de la adaptación marginal de los materiales de obturación retrógrada, las muestras pueden ser observadas directamente al SEM después del proceso de recubrimiento en oro y que no hay necesidad de crear réplicas de resina, ya que no se produce formación de espacios artificiales (Orosco et al., 2010). Por último, en un artículo de revisión reciente, de los 17 trabajos realizados con microscopio electrónico de barrido, tan solo 5 emplearon la técnica de replicación para obtener copias de los dientes naturales (Küçükkaya Eren & Parashos, 2019).

Para el seccionamiento de muestras, previo a la observación en el microscopio electrónico de barrido, existen dos opciones: un corte longitudinal y un corte transversal. Según Soundappan, el seccionamiento transversal permite la visualización de la interfase dentina-restauración en toda la circunferencia (Soundappan et al., 2014).

Por otra parte, Shokouhinejad demostró que un material puede exhibir una buena adaptación a las paredes de una cavidad en un solo plano, pero no en la totalidad de la muestra. En su trabajo, la adaptación marginal fue similar en tres materiales al realizar un seccionamiento transversal; sin embargo, cuando el corte fue longitudinal, fue posible observar diferencias, ya que uno de los materiales mostró resultados diferentes, que no se correlacionaban con el primer corte (Noushin Shokouhinejad et al., 2014). Es posible entonces considerar que, si las muestras son fraccionadas en sentido vertical, habría una mayor superficie que puede ser analizada. En concordancia, en el presente estudio se eligió seccionar longitudinalmente las muestras antes de observarlas en el SEM.

Para obtener los datos, se hizo una modificación al método que utilizó Soundappan en su estudio (Soundappan et al., 2014). En el presente trabajo, en las 20 muestras se analizaron dos cuadrantes por cada uno de los tres milímetros en la interfase material de obturación retrógrada-dentina. Esto, por intermedio de las imágenes obtenidas a través del SEM. En cada cuadrante se registró un solo valor correspondiente a la zona en donde se observaba la mayor distancia entre el material y la dentina. Con estas cifras se obtuvo la distancia media a uno, a dos, y a tres milímetros del ápice para todas las raíces. Finalmente, las 3 cantidades en cada tercio de todos los especímenes sirvieron para calcular el espacio promedio final entre el agente investigado y las paredes de dentina.

En la presente investigación, el espacio promedio en general entre las muestras de Endosequence Root Repair Material y las paredes de dentina fue de 6.43 micras. Para el Bio-C Repair, la distancia media en relación a la dentina fue de 7.5 micras. Estos resultados son levemente distintos a los publicados por Rodrigues (Rodrigues, 2018).

En su estudio, Rodrigues analizó la adaptación marginal de 5 materiales a base de silicato de calcio en cavidades retrógradas. Entre los materiales de retrobturación constaban el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair. Para el primer agente en mención, la distancia promedio en su interfase con la dentina fue de 4.28 micras, mientras que para el Bio-C Repair fue de 8.43 micras. Estos valores varían en cierto grado al considerar por separado las muestras en las que se realizó una irrigación de la cavidad retrógrada con EDTA previo a la retrobturación, y los especímenes en los que no se ejecutó este paso. En el caso del Endosequence Root Repair Material en pasta, el espacio medio de la interfase dentina-material de obturación retrógrada, cuando se usó EDTA, fue de 4.02 micras, mientras que cuando no se aplicó este agente, el espacio fue de 4.54 micras. En cambio, en el Bio-C Repair, al emplear EDTA, el espacio en la interfase fue de 9.73 micras; cuando no se colocó EDTA, la distancia fue de 7.12 micras.

Esta última cifra se aproxima a lo obtenido con el Bio-C Repair en el presente trabajo investigativo, en el cual, no se incluyó el uso de EDTA para irrigar la cavidad retrógrada y así poder remover el smear layer. A pesar de la evidencia contradictoria, se tomó esta decisión en base a los hallazgos de diversos autores. Por ejemplo, Yildirim, sugirió que remover el barrillo dentinario puede no ser necesario en cavidades retrogradas que serán obturadas con MTA (Yildirim et al., 2010).

Por su parte, Nagesh manifestó que los agentes removedores de smear layer no presentaron ninguna ventaja para mejorar la adaptación marginal de los materiales de retrobturación (Nagesh et al., 2016). Rodrigues tampoco encontró que el EDTA tenga influencia para mejorar la adaptación de este tipo de materiales (Rodrigues, 2018).

Es más, se cree que el smear layer podría tener un papel beneficioso en la adaptación de ciertos materiales de obturación retrógrada (Naik et al., 2015). Por consiguiente, en el presente trabajo no se empleó ningún agente para remover el barrillo dentinario.

Rodrigues afirmó que el Bio-C Repair fue el agente que mostró de forma significativa la adaptación marginal más deficiente de todos los 5 cementos evaluados, incluyendo el ERRM en pasta (Rodrigues, 2018). Esto no concuerda del todo con lo observado en el presente estudio, porque si bien es cierto que el Bio-C Repair presentó una adaptación marginal inferior al ERRM en pasta, esta no fue significativa. Por consiguiente, el ERRM en pasta y el Bio-C Repair tienen una adaptación marginal comparable.

La diferencia de resultados entre nuestro estudio y el de Rodrigues podría deberse a muchos factores: variabilidad en el diseño del estudio, origen de muestras utilizadas, tipo de dientes, tiempo y condiciones de almacenamiento de las muestras, orientación del seccionamiento radicular, cantidad de muestras examinadas, método para medir espacios en la interfase, cantidad de magnificación para la observación de los espacios, propiedades físicas de los materiales a evaluar, procedimientos preparativos en el laboratorio, entre otros. Otra explicación podría ser que Rodrigues empleó un Bio-C Repair en pasta, es decir inyectable, a diferencia de este estudio, en el cual se recurrió al Bio-C Repair en putty, que es condensable, propiedad que podría mejorar la adaptación del producto en la cavidad retrógrada.

En otro estudio, Shokouhinejad encontró que la distancia media para el Endosequence Root Repair Material en pasta (ERRM) fue de 8.80 micras, la distancia mínima fue de 0.78 micras, y la distancia máxima fue de 23.60 micras (Noushin Shokouhinejad et al., 2014). Estos datos corresponden al corte longitudinal de las muestras.

En cambio, en esta investigación, como se mencionó anteriormente, la distancia media para el Endosequence Root Repair Material en pasta (ERRM) fue de 6.43 micras, el espacio mínimo entre las paredes del conducto y el ERRM fue de 1.49 micras, y el espacio máximo fue 14.43 micras. Aunque estas cifras no son del todo iguales, se acercan bastante a los valores obtenidos por Shokouhinejad.

Sin embargo, los resultados publicados por el autor en mención indicaron que, al evaluar el corte longitudinal de las muestras, el ERRM en pasta fue el material que exhibió significativamente la adaptación marginal más defectuosa de todos los materiales examinados. Esto difiere de los resultados obtenidos en este trabajo, el cual, reveló que no hubo diferencias significativas entre el ERRM en pasta y el Bio-C Repair. Estos resultados opuestos pueden explicarse porque Shokouhinejad hizo una comparación con un material diferente (MTA), y es importante considerar ciertas propiedades de este producto, su composición, su tamaño de partículas, su viscosidad o su bioactividad, ya que podrían influir en los resultados finales.

Nagesh también comparó la adaptación marginal entre el Endosequence Root Repair Material y el MTA. Para el ERRM, la interfase material-dentina promedio osciló entre 1.40 y 1.81 micras, cifras que demostraron que el Endosequence fue superior al MTA. (Nagesh et al., 2016). Esto se asemeja parcialmente a nuestro experimento, debido a que el ERRM en pasta también mostró una leve superioridad, aunque no de manera significativa, frente al Bio-C Repair.

La similitud en la adaptación marginal del ERRM en pasta y del Bio-C Repair tendría una explicación en la composición de ambos materiales, ya que, al ser basados en silicato de calcio, algunas de sus propiedades son equivalentes.

Varias características similares entre los materiales en base al silicato de calcio son la estabilidad dimensional, el tamaño de la partícula y la porosidad. Otro argumento importante para explicar la similitud entre la adaptación marginal del ERRM y el Bio-C Repair es que ambos forman cristales de hidroxiapatita entre la superficie del material y la pared dentinaria, situación que podría conferir una apropiada adaptación a la dentina. También, este tipo de cementos son hidrofílicos, absorben líquido al fraguar y sufren una ligera expansión, lo que contribuiría a una adecuada adaptación.

Soundappan contrastó la adaptación marginal intragrupal del MTA, IRM y Biodentine al ser aplicados en obturaciones retrógradas (Soundappan et al., 2014) y demostró que no hubo diferencias en ninguno de estos agentes. Igual situación se produjo en el presente estudio, debido a que ni el Endosequence Root Repair Material en pasta ni el Bio-C Repair evidenciaron diferencias en la adaptación del material en las muestras pertenecientes a su mismo grupo. Soundappan también reveló que, en los materiales que estudió, no se presentaron diferencias intergrupales significativas a 1 milímetro, pero sí a los 2 milímetros; mientras que, en la presente investigación, no se observaron diferencias en ninguno de los tres niveles examinados al comparar las muestras de Endosequence Root Repair Material en pasta y de Bio-C Repair.

En la presente investigación se demostró que el Endosequence Root Repair Material en pasta y el Bio-C Repair presentaron una adaptación marginal similar. Sin embargo, los experimentos *in vitro* pueden no reproducir completamente las condiciones clínicas, por lo que a futuro será necesario realizar más estudios con estos mismos materiales de obturación retrógrada.

Idealmente estos estudios deberían ser en pacientes y con seguimiento durante un tiempo considerable para constatar su efectividad. Es importante también, comprobar fehacientemente la correlación entre la adaptación marginal y la capacidad de sellado de un material de retrobturación. Por último, sería esencial determinar qué tan extensos deben ser los espacios el material de obturación retrógrada y las paredes del conducto para que tengan incidencia en el fracaso de una cirugía apical.

6.- CONCLUSIONES

Dentro del presente estudio, se concluye que tanto el Endosequence Root Repair Material en pasta como el Bio-C Repair presentan una adaptación marginal similar al ser aplicados en obturaciones retrógradas.

El espacio promedio de la interfase entre el Endosequence Root Repair Material en pasta y las paredes de dentina fue de 6.43 micras. La distancia media entre el Bio-C Repair y las paredes de dentina fue de 7.50 micras.

No existieron diferencias significativas entre los espacios de la interfase Endosequence Root Repair Material-dentina con los espacios de la interfase Bio-C Repair-dentina a nivel del 1°, 2° y 3° milímetro de la cavidad retrógrada.

No se comprobó diferencia intragrupal significativa alguna en los espacios de la interfase material de obturación retrógrada-dentina en las muestras de Endosequence Root Repair Material y tampoco en las muestras de Bio-C Repair.

7.- RECOMENDACIONES

Es importante realizar más estudios sobre estos nuevos materiales biocerámicos y analizar su rol al aplicarlos en obturaciones retrógradas. Sería fundamental analizar distintas características como: estabilidad a través del tiempo, resistencia a la humedad, capacidad bioactiva, propiedades antibacterianas, etc.

Se debería tratar de incorporar equipos adicionales para investigar la adaptación marginal y la capacidad de sellado de los nuevos materiales de retrobturación, tales como microtomografía computarizada o microscopía confocal, debido a sus procedimientos menos invasivos para analizar las muestras.

Realizar estudios clínicos utilizando los nuevos materiales de obturación retrógrada biocerámicos, principalmente el Bio-C Repair, y evaluar su efectividad a largo plazo considerando la reparación radiográfica y ausencia de signos y síntomas en los casos tratados.

8.- REFERENCIAS

- Abusrewil, S. M. (2018). The use of Bioceramics as root-end filling materials in periradicular surgery: A literature review. *The Saudi Dental Journal*, 30(4), 273-282.
<https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2018.07.004>
- AlAnezi, A. Z., Jiang, J., Safavi, K. E., Spangberg, L. S. W., & Zhu, Q. (2010). Cytotoxicity evaluation of endosequence root repair material. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 109(3), e122-e125.
<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2009.11.028>
- Alsalleeh, F., Chung, N., & Stephenson, L. (2014). Antifungal Activity of Endosequence Root Repair Material and Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 40(11), 1815-1819. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.08.002>
- Alsubait, S., Al-Haidar, S., & Al-Sharyan, N. (2017). A Comparison of the Discoloration Potential for EndoSequence Bioceramic Root Repair Material Fast Set Putty and ProRoot MTA in Human Teeth: An In Vitro Study: COMPARISON OF THE DISCOLORATION POTENTIAL. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 29(1), 59-67. <https://doi.org/10.1111/jerd.12264>
- Angelus. (2018). *Bio-C Repair. Perfil técnico científico*.
- Antoniac, I. (2019). *Bioceramics and Biocomposites: From Research to Clinical Practice*. John Wiley & Sons.

- Baek, S.-H., Plenk, H., & Kim, S. (2005). Periapical tissue responses and cementum regeneration with amalgam, SuperEBA, and MTA as root-end filling materials. *Journal of Endodontics*, 31(6), 444-449.
<https://doi.org/10.1097/01.don.0000148145.81366.a5>
- Bansal, R., Bansal, M., Matta, M., Walia, S., Kaur, B., & Sharma, N. (2019). Evaluation of Marginal Adaptation of MTA, Biodentine, and MTA Plus as Root-End Filling Materials—An SEM Study. *Dental Journal of Advance Studies*, 07(01), 006-011.
<https://doi.org/10.1055/s-0039-1684154>
- Basrani, B. (Ed.). (2015). *Endodontic Irrigation: Chemical disinfection of the root canal system*.
- Benetti, F., Queiroz, Í. O. de A., Cosme-Silva, L., Conti, L. C., Oliveira, S. H. P. de, & Cintra, L. T. A. (2019). Cytotoxicity, Biocompatibility and Biomineralization of a New Ready-for-Use Bioceramic Repair Material. *Brazilian Dental Journal*, 30(4), 325-332.
<https://doi.org/10.1590/0103-6440201902457>
- Çalışkan, M. K., Tekin, U., Kaval, M. E., & Solmaz, M. C. (2016). The outcome of apical microsurgery using MTA as the root-end filling material: 2- to 6-year follow-up study. *International Endodontic Journal*, 49(3), 245-254. <https://doi.org/10.1111/iej.12451>
- Camilleri, J. (2018). The dentine in a capsule or more? *Septodont*, 12.
- Canalda Sahli, C., & Aguade, E. B. (2019). *Endodoncia: Técnicas Clínicas Y Bases Científicas*. Elsevier Health Sciences.
- Caron, G., Azérad, J., Faure, M.-O., Machtou, P., & Boucher, Y. (2014). Use of a new retrograde filling material (Biodentine) for endodontic surgery: Two case reports.

International Journal of Oral Science, 6(4), 250-253.

<https://doi.org/10.1038/ijos.2014.25>

- Chan, S., Glickman, G. N., Woodmansey, K. F., & He, J. (2020). Retrospective Analysis of Root-end Microsurgery Outcomes in a Postgraduate Program in Endodontics Using Calcium Silicate-based Cements as Root-end Filling Materials. *Journal of Endodontics*, 46(3), 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.11.010>
- Charland, T., Hartwell, G. R., Hirschberg, C., & Patel, R. (2013). An Evaluation of Setting Time of Mineral Trioxide Aggregate and EndoSequence Root Repair Material in the Presence of Human Blood and Minimal Essential Media. *Journal of Endodontics*, 39(8), 1071-1072. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.04.041>
- Chen, S.-C., Chueh, L.-H., Hsiao, C. K., Tsai, M.-Y., Ho, S.-C., & Chiang, C.-P. (2007). An epidemiologic study of tooth retention after nonsurgical endodontic treatment in a large population in Taiwan. *Journal of Endodontics*, 33(3), 226-229. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.11.022>
- Chong, B. S., & Pitt Ford, T. R. (2005). Root-end filling materials: Rationale and tissue response. *Endodontic Topics*, 11(1), 114-130. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2005.00164.x>
- Christiansen, R., Kirkevang, L.-L., Hørsted-Bindslev, P., & Wenzel, A. (2009). Randomized clinical trial of root-end resection followed by root-end filling with mineral trioxide aggregate or smoothing of the orthograde gutta-percha root filling—1-year follow-up. *International Endodontic Journal*, 42(2), 105-114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01474.x>

- Ciasca, M., Aminoshariae, A., Jin, G., Montagnese, T., & Mickel, A. (2012). A Comparison of the Cytotoxicity and Proinflammatory Cytokine Production of EndoSequence Root Repair Material and ProRoot Mineral Trioxide Aggregate in Human Osteoblast Cell Culture Using Reverse-Transcriptase Polymerase Chain Reaction. *Journal of Endodontics*, *38*(4), 486-489. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.12.004>
- Costa, A. T., Post, L. K., Xavier, C. B., Weber, J. B. B., & Gerhardt-Oliveira, M. (2008). Marginal adaptation and microleakage of five root-end filling materials: An in vitro study. *Minerva Stomatologica*, *57*(6), 295-300.
- Damas, B. A., Wheeler, M. A., Bringas, J. S., & Hoen, M. M. (2011). Cytotoxicity Comparison of Mineral Trioxide Aggregates and EndoSequence Bioceramic Root Repair Materials. *Journal of Endodontics*, *37*(3), 372-375. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.11.027>
- Damlar, I., Ozcan, E., Yula, E., Yalcin, M., & Celik, S. (2014). Antimicrobial effects of several calcium silicate-based root-end filling materials. *Dental Materials Journal*, *33*(4), 453-457. <https://doi.org/10.4012/dmj.2013-250>
- El Sayed, M., & Saeed, M. (2012). In vitro comparative study of sealing ability of Diadent BioAggregate and other root-end filling materials. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, *15*(3), 249-252. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.97950>
- El-Aziz, I. (2017). Microleakage and marginal adaptation of three root-end filling materials: An in vitro study. *ENDO - Endodontic Practice Today*, *11*(3), 191-196.
- Espir, C. G., Guerreiro-Tanomaru, J. M., Spin-Neto, R., Chávez-Andrade, G. M., Berbert, F. L. C. V., & Tanomaru-Filho, M. (2016). Solubility and bacterial sealing ability of MTA and root-end filling materials. *Journal of Applied Oral Science: Revista FOB*, *24*(2), 121-125. <https://doi.org/10.1590/1678-775720150437>

Freire, A. (2019). *Tratamento cirúrgico de reabsorção externa cervical em incisivo central*.

<https://www.youtube.com/watch?v=tLiYmlcxyg>

Gondim, E., Zaia, A. A., Gomes, B. P. F. A., Ferraz, C. C. R., Teixeira, F. B., & Souza-Filho, F. J.

(2003). Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-

end cavities prepared with ultrasonic tips. *International Endodontic Journal*, 36(7),

491-499. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00679.x>

Hansen, S. W., Marshall, J. G., & Sedgley, C. M. (2011). Comparison of intracanal

EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA to induce pH changes in

simulated root resorption defects over 4 weeks in matched pairs of human teeth.

Journal of Endodontics, 37(4), 502-506. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.01.010>

Huang, S., Chen, N.-N., Yu, V. S. H., Lim, H. A., & Lui, J.-N. (2020). Long-term Success and

Survival of Endodontic Microsurgery. *Journal of Endodontics*, 46(2), 149-157.e4.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.10.022>

Jung, J., Kim, S., Kim, E., & Shin, S.-J. (2020). Volume of Voids in Retrograde Filling:

Comparison between Calcium Silicate Cement Alone and Combined with a Calcium

Silicate-based Sealer. *Journal of Endodontics*, 46(1), 97-102.

<https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.10.015>

Kim, S., & Kratchman, S. (2017). *Microsurgery in Endodontics* (B. Karabucak, M. Kohli, & F.

Setzer, Eds.; Edición: 1). Wiley-Blackwell.

Kohli, M., & Karabucak, B. (2019, julio 8). Bioceramic Usage in Endodontics. *American*

Association of Endodontists. [https://www.aae.org/specialty/2019/07/08/bioceramic-](https://www.aae.org/specialty/2019/07/08/bioceramic-usage-in-endodontics/)

[usage-in-endodontics/](https://www.aae.org/specialty/2019/07/08/bioceramic-usage-in-endodontics/)

- Kohli, M. R., Yamaguchi, M., Setzer, F. C., & Karabucak, B. (2015). Spectrophotometric Analysis of Coronal Tooth Discoloration Induced by Various Bioceramic Cements and Other Endodontic Materials. *Journal of Endodontics*, *41*(11), 1862-1866.
<https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.07.003>
- Kruse, C., Spin-Neto, R., Christiansen, R., Wenzel, A., & Kirkevang, L.-L. (2016). Periapical Bone Healing after Apicectomy with and without Retrograde Root Filling with Mineral Trioxide Aggregate: A 6-year Follow-up of a Randomized Controlled Trial. *Journal of Endodontics*, *42*(4), 533-537. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.01.011>
- Küçükaya Eren, S., & Parashos, P. (2019). Adaptation of mineral trioxide aggregate to dentine walls compared with other root-end filling materials: A systematic review. *Australian Endodontic Journal*, *45*(1), 111-121. <https://doi.org/10.1111/aej.12259>
- Lazarski, M. P., Walker, W. A., Flores, C. M., Schindler, W. G., & Hargreaves, K. M. (2001). Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. *Journal of Endodontics*, *27*(12), 791-796.
<https://doi.org/10.1097/00004770-200112000-00021>
- López-García, S., Lozano, A., García-Bernal, D., Forner, L., Llena, C., Guerrero-Gironés, J., Moraleda, J. M., Murcia, L., & Rodríguez-Lozano, F. J. (2019). Biological Effects of New Hydraulic Materials on Human Periodontal Ligament Stem Cells. *Journal of Clinical Medicine*, *8*(8), 1216. <https://doi.org/10.3390/jcm8081216>
- Lovato, K. F., & Sedgley, C. M. (2011). Antibacterial Activity of EndoSequence Root Repair Material and ProRoot MTA against Clinical Isolates of *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics*, *37*(11), 1542-1546. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.022>

- Machado, J., Johnson, J. D., & Paranjpe, A. (2016). The Effects of Endosequence Root Repair Material on Differentiation of Dental Pulp Cells. *Journal of Endodontics*, *42*(1), 101-105. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.007>
- Modareszadeh, M. R., Di Fiore, P. M., Tipton, D. A., & Salamat, N. (2012). Cytotoxicity and Alkaline Phosphatase Activity Evaluation of EndoSequence Root Repair Material. *Journal of Endodontics*, *38*(8), 1101-1105. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.04.014>
- Moinzadeh, A. T., Aznar Portoles, C., Schembri Wismayer, P., & Camilleri, J. (2016). Bioactivity Potential of EndoSequence BC RRM Putty. *Journal of Endodontics*, *42*(4), 615-621. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.12.004>
- Nagesh, B., Jeevani, E., Sujana, V., Damaraju, B., Sreeha, K., & Ramesh, P. (2016). Scanning electron microscopy (SEM) evaluation of sealing ability of MTA and EndoSequence as root-end filling materials with chitosan and carboxymethyl chitosan (CMC) as retrograde smear layer removing agents. *Journal of Conservative Dentistry*, *19*(2), 143. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.178693>
- Naik, M., Ataide, I., Fernandes, M., & Lambor, R. (2015). Assessment of apical seal obtained after irrigation of root end cavity with MTAD followed by subsequent retrofilling with MTA and Biodentine: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, *18*(2), 132. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.153068>
- Nair, U., Ghattas, S., Saber, M., Natera, M., Walker, C., & Pileggi, R. (2011). A comparative evaluation of the sealing ability of 2 root-end filling materials: An in vitro leakage study using *Enterococcus faecalis*. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral*

Radiology, and Endodontology, 112(2), e74-e77.

<https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2011.01.030>

Nanjappa, As., Ponnappa, K., Nanjamma, K., Ponappa, M., Girish, S., & Nitin, A. (2015).

Sealing ability of three root-end filling materials prepared using an erbium: Yttrium aluminium garnet laser and endosonic tip evaluated by confocal laser scanning microscopy. *Journal of Conservative Dentistry*, 18(4), 327.

<https://doi.org/10.4103/0972-0707.159746>

Nascimento, E. H. L., Gaêta-Araujo, H., Andrade, M. F. S., & Freitas, D. Q. (2018). Prevalence of technical errors and periapical lesions in a sample of endodontically treated teeth: A CBCT analysis. *Clinical Oral Investigations*, 22(7), 2495-2503.

<https://doi.org/10.1007/s00784-018-2344-y>

Nepal, M., Shubham, S., Tripathi, R., Khadka, J., Kunwar, D., Gautam, V., & Gautam, N.

(2020). Spectrophotometric analysis evaluating apical microleakage in retrograde filling using GIC, MTA and biodentine: An in-vitro study. *BMC Oral Health*, 20(1), 37.

<https://doi.org/10.1186/s12903-020-1025-9>

Oliveira, H. F., Gonçalves Alencar, A. H., Poli Figueiredo, J. A., Guedes, O. A., de Almeida

Decurcio, D., & Estrela, C. (2013). Evaluation of Marginal Adaptation of Root-End Filling Materials Using Scanning Electron Microscopy. *Iranian Endodontic Journal*, 8(4), 182-186.

Orosco, F. A., Bramante, C. M., Garcia, R. B., Bernardineli, N., & de Moraes, I. G. (2010).

Sealing ability, marginal adaptation and their correlation using three root-end filling materials as apical plugs. *Journal of Applied Oral Science: Revista FOB*, 18(2), 127-134.

<https://doi.org/10.1590/s1678-77572010000200006>

- Priyanka, S. R. (2013). A Literature Review of Root-End Filling Materials. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, 9(4), 20-25. <https://doi.org/10.9790/0853-0942025>
- Rifaey, H. S., Villa, M., Zhu, Q., Wang, Y.-H., Safavi, K., & Chen, I.-P. (2016). Comparison of the Osteogenic Potential of Mineral Trioxide Aggregate and Endosequence Root Repair Material in a 3-dimensional Culture System. *Journal of Endodontics*, 42(5), 760-765. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.02.001>
- Rodrigues, S. (2018). *Adaptação marginal de cimentos à base de silicato de cálcio à parede dentinária de cavidades retrógadas* [Universidade Federal de Goiás]. <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/10099/5/Tese%20-%20Sara%20Rodrigues%20Renovato%20-%202018.pdf>
- Rosa, R. A., Santini, M. F., Heiden, K., Só, B. B., Kuga, M. C., Pereira, J. R., & Só, M. V. R. (2013). SEM Evaluation of the Interface Between Filling and Root-End Filling Materials: Interface between filling and root-end filling materials. *Scanning*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/sca.21097>
- Rotstein, I., & Ingle, J. I. (2019). *Ingle's Endodontics*. PMPH USA.
- Safi, C., Kohli, M. R., Kratchman, S. I., Setzer, F. C., & Karabucak, B. (2019). Outcome of Endodontic Microsurgery Using Mineral Trioxide Aggregate or Root Repair Material as Root-end Filling Material: A Randomized Controlled Trial with Cone-beam Computed Tomographic Evaluation. *Journal of Endodontics*, 45(7), 831-839. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2019.03.014>
- Salehrabi, R., & Rotstein, I. (2004). Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: An epidemiological study. *Journal of Endodontics*, 30(12), 846-850. <https://doi.org/10.1097/01.don.0000145031.04236.ca>

- Septodont. (2013). *Brochure Biodentine2012 Spain.indd*. 8.
- Setzer, F. C., Kohli, M. R., Shah, S. B., Karabucak, B., & Kim, S. (2012). Outcome of endodontic surgery: A meta-analysis of the literature--Part 2: Comparison of endodontic microsurgical techniques with and without the use of higher magnification. *Journal of Endodontics*, *38*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.09.021>
- Shen, J., Zhang, H., Gao, J., Du, X., Chen, Y., & Han, L. (2016). Short-term observation of clinical and radiographic results of periapical microsurgery: A prospective study. *Biomedical Research*, *27*(3). <https://www.alliedacademies.org/abstract/shortterm-observation-of-clinical-and-radiographic-results-of-periapical-microsurgery-a-prospective-study-4650.html>
- Shinbori, N., Grama, A. M., Patel, Y., Woodmansey, K., & He, J. (2015). Clinical Outcome of Endodontic Microsurgery That Uses EndoSequence BC Root Repair Material as the Root-end Filling Material. *Journal of Endodontics*, *41*(5), 607-612. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.12.028>
- Shokouhinejad, N., Nekoofar, M. H., Razmi, H., Sajadi, S., Davies, T. E., Saghiri, M. A., Gorjestani, H., & Dummer, P. M. H. (2012). Bioactivity of EndoSequence Root Repair Material and Bioaggregate. *International Endodontic Journal*, *45*(12), 1127-1134. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2012.02083.x>
- Shokouhinejad, N., Noshin, Nekoofar, M. H., Ashoftehyazdi, K., Zahraee, S., & Khoshkhounejad, M. (2014). Marginal adaptation of new bioceramic materials and mineral trioxide aggregate: A scanning electron microscopy study. *Iranian Endodontic Journal*, *9*(2), 144-148.

- Silva, G. F., Guerreiro-Tanomaru, J. M., da Fonseca, T. S., Bernardi, M. I. B., Sasso-Cerri, E., Tanomaru-Filho, M., & Cerri, P. S. (2017). Zirconium oxide and niobium oxide used as radiopacifiers in a calcium silicate-based material stimulate fibroblast proliferation and collagen formation. *International Endodontic Journal*, *50 Suppl 2*, e95-e108. <https://doi.org/10.1111/iej.12789>
- Solanki, N. P., Venkappa, K. K., & Shah, N. C. (2018). Biocompatibility and sealing ability of mineral trioxide aggregate and biodentine as root-end filling material: A systematic review. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, 10-15.
- Soundappan, S., Sundaramurthy, J. L., Raghu, S., & Natanasabapathy, V. (2014). Biodentine versus Mineral Trioxide Aggregate versus Intermediate Restorative Material for Retrograde Root End Filling: An Invitro Study. *Journal of Dentistry (Tehran, Iran)*, *11(2)*, 143-149.
- Storm, B., Eichmiller, F. C., Tordik, P. A., & Goodell, G. G. (2008). Setting expansion of gray and white mineral trioxide aggregate and Portland cement. *Journal of Endodontics*, *34(1)*, 80-82. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.10.006>
- Sultana, N., Singh, M., Nawal, R. R., Chaudhry, S., Yadav, S., Mohanty, S., & Talwar, S. (2018). Evaluation of Biocompatibility and Osteogenic Potential of Tricalcium Silicate-based Cements Using Human Bone Marrow-derived Mesenchymal Stem Cells. *Journal of Endodontics*, *44(3)*, 446-451. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2017.11.016>
- Surya Raghavendra, S., Jadhav, G. R., Gathani, K. M., & Kotadia, P. (2017). BIOCERAMICS IN ENDODONTICS – A REVIEW. *Journal of Istanbul University Faculty of Dentistry*, *51(0)*. <https://doi.org/10.17096/jiufd.63659>

- Tabassum, S., & Khan, F. R. (2016). Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *European Journal of Dentistry*, *10*(1), 144-147. <https://doi.org/10.4103/1305-7456.175682>
- Taschieri, S., Bettach, R., Lolato, A., Moneghini, L., & Fabbro, M. D. (2011). Endodontic surgery failure: SEM analysis of root-end filling. *Journal of Oral Science*, *53*(3), 393-396. <https://doi.org/10.2334/josnusd.53.393>
- Torabinejad, M., Hong, C. U., McDonald, F., & Pitt Ford, T. R. (1995). Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics*, *21*(7), 349-353. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80967-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80967-2)
- Torabinejad, Mahmoud. (2014). *Mineral Trioxide Aggregate: Properties and Clinical Applications*. Wiley.
- Torabinejad, Mahmoud, Fouad, A. F., & Walton, R. E. (2014). *Endodontics: Principles and Practice*. Elsevier Saunders.
- Torabinejad, Mahmoud, & Rubinstein, R. (2017). *The Art and Science of Contemporary Surgical Endodontics*. Quintessence Publishing Company Incorporated.
- Torul, D., Kurt, S., & Kamberoglu, K. (2018). Apical surgery failures: Extraction or re-surgery? Report of five cases. *Journal of Dental Research, Dental Clinics, Dental Prospects*, *12*(2), 116-119. <https://doi.org/10.15171/joddd.2018.018>
- Trope, M., Bunes, A., & Debelian, G. (2015). Root filling materials and techniques: Bioceramics a new hope? *Endodontic Topics*, *32*(1), 86-96. <https://doi.org/10.1111/etp.12074>
- Tsesis, I. (2014). *Complications in Endodontic Surgery: Prevention, Identification and Management*. Springer.

- Tsesis, I., Rosen, E., Taschieri, S., Telishevsky Strauss, Y., Ceresoli, V., & Del Fabbro, M. (2013). Outcomes of Surgical Endodontic Treatment Performed by a Modern Technique: An Updated Meta-analysis of the Literature. *Journal of Endodontics*, 39(3), 332-339. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.11.044>
- Vazquez-Garcia, F., Tanomaru-Filho, M., Chávez-Andrade, G. M., Bosso-Martelo, R., Basso-Bernardi, M. I., & Guerreiro-Tanomaru, J. M. (2016). Effect of Silver Nanoparticles on Physicochemical and Antibacterial Properties of Calcium Silicate Cements. *Brazilian Dental Journal*, 27(5), 508-514. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201600689>
- von Arx, T. (2011). Apical surgery: A review of current techniques and outcome. *The Saudi Dental Journal*, 23(1), 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2010.10.004>
- von Arx, T., Jensen, S. S., Janner, S. F. M., Hänni, S., & Bornstein, M. M. (2019). A 10-year Follow-up Study of 119 Teeth Treated with Apical Surgery and Root-end Filling with Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics*, 45(4), 394-401.
- Wang, Z. (2015). Bioceramic materials in endodontics. *Endodontic Topics*, 32(1), 3-30.
- Yildirim, T., Er, K., Taşdemir, T., Tahan, E., Buruk, K., & Serper, A. (2010). Effect of smear layer and root-end cavity thickness on apical sealing ability of MTA as a root-end filling material: A bacterial leakage study. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 109(1), e67-72.
- Zhou, W., Zheng, Q., Tan, X., Song, D., Zhang, L., & Huang, D. (2017). Comparison of Mineral Trioxide Aggregate and iRoot BP Plus Root Repair Material as Root-end Filling Materials in Endodontic Microsurgery: A Prospective Randomized Controlled Study. *Journal of Endodontics*, 43(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2016.10.010>