

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA



Evaluación en Micro CT sobre la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación rotatoria de níquel-titanio. Estudio *in vitro*.

Por

ZENAIDA CAROLINA GARCÍA CASTAÑEDA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias Odontológicas en el Área de Endodoncia

Junio, 2023

Maestría en Ciencias Odontológicas en el Área de Endodoncia

Evaluación en Micro CT sobre la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación rotatoria de níquel-titanio. Estudio *in vitro*.

ZENAIDA CAROLINA GARCÍA CASTAÑEDA

Comité de Tesis

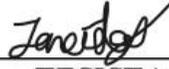
Presidente

Secretario

Vocal

Maestría en Ciencias Odontológicas en el Área de Endodoncia

Evaluación en Micro CT sobre la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación rotatoria de níquel-titanio. Estudio *in vitro*.



TESISTA

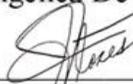
ZENAIDA CAROLINA GARCÍA CASTAÑEDA.

Comité de Tesis



DIRECTOR DE TESIS

Dra. Myriam Angélica De La Garza Ramos



CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Jorge Jaime Flores Treviño



ASESOR METODOLÓGICO

Dra. Susana Coromoto Gómez Azevedo



ASESOR METODOLÓGICO

Dra. Idalia Rodríguez Delgado



ASESOR METODOLÓGICO

Sabrina C. Brasil



ASESOR METODOLÓGICO

José F. Siqueira Jr



ASESOR METODOLÓGICO

Isabela N. Rôças.

AGRADECIMIENTOS

A MI DIOSITO

Por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mi estudio.

A MI VIRGENCITA DE GUADALUPE

Por estar para mí siempre, dándome su amor infinito de madre, y por no dejarme sola cuando alguna vez dude.

A MI MADRE

Luisa Castañeda de García, por su apoyo incondicional, por sus palabras de alientos, sus consejos, su amor, por haberme formado como una mujer de bien y porque siempre serás mi ejemplo a seguir, TE ADMIRO Y TE AMO MUCHO MAMÁ. Siempre serás mi ancla.

A MI PADRE

Ricardo García Ramírez, por ser mi energía, mis fuerzas, mis alegrías, la luz de mi vida, TE AMO MUCHO MI PAPITO, estoy cumpliendo mis sueños, gracias a tu inmenso amor.

A MI HERMANO

Ricardo García Castañeda, por brindarme su apoyo y consejos, te amo muchísimo hermanito.

A MIS MAESTROS

Dra. Mayra Guadalupe Martínez García y Dra. Lucia Yered Garza Borjon, que siempre tuvieron el cariño y la amabilidad de guiarme y aconsejarme a lo largo de esta investigación. Las quiero mucho y valoro todo su apoyo.

De la misma manera, Dra. Elizabeth Madla Cruz, ya que confió en mí desde un principio, para ser seleccionada a la realización de esta investigación. No tengo palabras suficientes para agradecerle.

A mi Co-Director de Tesis, Dr. Jorge Jaime Flores Treviño, le agradezco por todo, pero especialmente por confiar en mí y darme siempre sabiduría en todos los aspectos de mi formación académica. Que diosito lo cuide y lo bendiga mucho.

A MI ASESORA METODOLÓGICA

Dra. Susana Gomes Acevedo por su incansable apoyo, por creer en mí y por estar a mi lado durante todo el desarrollo de este proyecto, muchísimas gracias doctora, sin su ayuda no podría haberlo logrado.

GRACIAS DIOS

TABLA DE CONTENIDO

Sección	Página
AGRADECIMIENTOS	5
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUCCIÓN	14
2. HIPÓTESIS	15
3.OBJETIVOS.....	16
3.1 Objetivo general.....	16
3.2 Objetivos particulares.....	16
4. ANTECEDENTES	17
4.1 Historia	18
4.2 Vías de infección.....	20
4.2.1 Caries Dental	20
4.2.2 Trauma	21
4.2.3 Enfermedad Periodontal.....	21
4.2.4 Anomalías Dentales	21
4.2.5 Anacoresis.....	22
4.3 Tipo de infecciones endodónticas.....	22
4.3.1 Infecciones intrarradiculares primarias	23
4.3.2 Infecciones intrarradiculares secundarias.....	23
4.3.3 Infecciones intrarradiculares persistentes.....	23
4.3.4 Infecciones extrarradiculares.....	24
4.4 Diversidad de la microbiota endodóntica.....	25
4.4.1 Microbiota relacionada con la patología endodóntica en dientes vitales.....	26
4.4.2 Microbiota relacionada con la patología endodóntica en dientes necróticos.....	27
4.4.3 Microbiota relacionada con dientes endodónticamente tratados.....	28
4.5 Periodontitis apical.....	29
4.5.1 Periodontitis apical sintomática.....	30
4.5.2 Periodontitis apical asintomática.....	31
4.6 Periodontitis apical relacionada con la biopelícula.....	31

4.7 Biofilm en infecciones endodónticas.....	33
4.7.1 Formación de biofilm.....	34
4.8 Ecología microbiana y ecosistema del conducto radicular.....	35
4.8.1 Interacciones bacteriana.....	38
4.9 Factores de virulencia.....	39
4.10 Endodoncia exitosa.....	40
4.11 Etiología del fracaso del tratamiento endodóntico.....	42
4.12 Clasificación de Vertucci.....	43
4.13 Conductos ovales	45
4.14 Preparación Biomecánica.....	46
4.15 Aleación de níquel titanio en endodoncia.....	47
4.15.1 Propiedades.....	47
4.16 Tipo de movimiento.....	49
4.17 Aleación de níquel titanio tratadas termomecánicamente.....	50
4.18 BlueShaper (Zarc4endo, Gijón-Spain)	51
4.18.1 Características Clínicas.....	51
4.18.2 Mayor resistencia a la fatiga cíclica.....	52
4.18.3 Ventajas de BlueShaper®.....	53
4.18.4 Revoluciones de trabajo y torque.....	53
4.18.5 Secuencia y técnica de uso de BlueShaper®.....	53
4.19 Sistema Rotatorio TruNatomy™.....	54
4.19.1 Secuencia y Técnica de uso de TruNatomy™.....	56
4.20 Sistema Rotatorio Hyflex EDM.....	57
4.20.1 Secuencia y Técnica de uso de Hyflex EDM.....	58
4.20.2 Velocidad y Torque de Hyflex EDM.....	59
4.20.3 Regeneración Mediante Tratamiento Térmico.....	59
4.21 Sistema Rotatorio DC-TAPER H.....	60
4.21.1 Características de Diseño.....	60
4.21.2 Núcleo Fuerte y Flexible.....	61
4.21.3 Conocida variable.....	61
4.21.4 Secuencia y Técnica de uso de DC-TAPER H.....	62
4.21.5 Velocidad y Torque de DC-TAPER H.....	63
4.22 Análisis de MICRO-TC.....	64

5. MÉTODOS.....	65
5.1 Descripción de los procedimientos.....	65
5.1.1 Procedimientos quimiomecánicos.....	65
5.1.2 Grupo DC Taper	66
5.1.3 Grupo Blue Shaper.....	66
5.1.4 Grupo TruNatomy™.....	67
5.1.5 Grupo Hyflex EDM.....	67
5.2. Evaluación por Micro CT.....	68
5.3 Análisis estadístico.....	68
6. RESULTADOS	70
6.1 Blue Shaper	70
6.2 TruNatomy	70
6.3 DC TAPER	71
6.4 Hyflex EDM.....	72
6.5 Comparación intergrupal.....	72
7. DISCUSIÓN.....	90
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
9. LITERATURA CITADA	93
APÉNDICES	97

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Tabla Análisis de tomografía microcomputarizada después de la preparación de conductos radiculares ovales utilizando cuatro sistemas de instrumentos. Datos para la longitud total del conducto radicular (10 mm) y el segmento apical (4 mm); expresado como media + SD.....	74
2. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Full canal)	75
3. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Full canal).....	76
4. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Full canal)	77
5. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Full canal).....	78
6. Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio, (Full canal).....	79
7. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Canal Apical).....	80
8. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Canal Apical).....	81
9. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Canal Apical).....	82
10. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Canal Apical).....	83
11. Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Canal Apical).....	84
12. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Centroide).....	85
13. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Centroide).....	86

14. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Centroide).....	87
15. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Centroide).....	88
16. Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Centroide).....	89
17. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Dentin Thickness)	90
18. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Dentin Thickness).....	91
19. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Dentin Thickness)	92
20. Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Dentin Thickness).....	93
21. Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Denton Thickness).....	94
22. Datos de longitud de trabajo de las muestras del estudio	115
23. Diagrama de flujo de preparación quimiomecánica	117
24. Tabla de apareamiento.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Áreas no tocadas conducto completo y parte apical.....	72
2. Primer escaneo en Micro CT de las muestras	112

NOMENCLATURA

BS

Blue Shaper

TN

TruNatomy

DCT

DC Taper

HEDM

Hyflex EDM

TESISTA: Zenaida Carolina García Castañeda
DIRECTOR DE TESIS: Dra. Myriam Angélica de la Garza Ramos
CODIRECTOR DE TESIS: Dr. Jorge Jaime Flores Treviño
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Evaluación en Micro CT sobre la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación rotatoria de níquel-titanio. Estudio *in vitro*.

RESUMEN

Introducción: Este estudio tuvo como objetivo evaluar y comparar la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación en conductos ovalados. **Métodos:** Se compararon sesenta y cuatro premolares mandibulares de una sola raíz en función de parámetros morfológicos similares del conducto radicular logrados en una evaluación de microtomografía computarizada y se asignaron aleatoriamente a 1 de 4 grupos experimentales ($n = 16$) de acuerdo con la técnica de preparación: BlueShaper (BS, Zarc4Endo, Gijón, España), TruNatomy (TN, Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza), DC Taper (DCT, SS White, Lakewood, NJ) y HyFlex EDM One File (HEDM, Coltene/Whaldent). Después de la instrumentación, se evaluaron los cambios geométricos en términos de superficie, volumen, grosor de la estructura, índice del modelo de estructura, centroides y porcentaje de superficie tocada y se compararon con la prueba t de muestra pareada dentro de los grupos, y el análisis de varianza de 1 vía entre grupos. **Resultados:** No hubo diferencias significativas entre BS, TN, DCT y HEDM ($p > 0,05$). Hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas, así como en el espesor de la dentina remanente, después de cada aumento en el tamaño de la lima, en todos los grupos ($P < .05$). **Conclusiones:** Las 4 técnicas de instrumentación tienen una capacidad de modelado similar en la preparación de canales ovals. Ninguna de las limas evaluadas pudo tocar la superficie total de las paredes del conducto, sin embargo, hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas, así como el espesor de dentina remanente, después de cada aumento en el tamaño de la lima, en todos los grupos. en todos los grupos ($p < 0,05$). **Conclusiones:** Las 4 técnicas de instrumentación tienen una capacidad de modelado similar en la preparación de canales ovalados. Ninguna de las limas evaluadas pudo tocar la superficie total de las paredes del canal, sin embargo, hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas, así como el espesor de dentina remanente, después de cada aumento en el tamaño de la lima, en todos los grupos. en todos los grupos ($p < 0,05$). **Conclusiones:** Las 4 técnicas de instrumentación tienen una capacidad de conformación similar en la preparación de conductos ovals. Ninguna de las limas evaluadas pudo tocar la superficie total de las paredes del conducto, sin embargo, hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas, así como el espesor de dentina remanente, después de cada aumento en el tamaño de la lima, en todos los grupos.

TESISTA: Zenaida Carolina García Castañeda
DIRECTOR DE TESIS: Dra. Myriam Angélica de la Garza Ramos
CODIRECTOR DE TESIS: Dr. Jorge Jaime Flores Treviño
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Evaluación en Micro CT sobre la capacidad de conformación de 4 sistemas de instrumentación rotatoria de níquel-titanio. Estudio *in vitro*.

ABSTRACT

Introduction: This study aimed to evaluate and compare the shaping ability of 4 instrumentation systems in oval canals. **Methods:** Sixty-four single-rooted mandibular premolars were matched based on similar morphologic parameters of the root canal achieved in a micro-computed tomography evaluation and aleatory assigned to 1 of 4 experimental group ($n = 16$) according to the preparation technique: BlueShaper (BS, Zarc4Endo, Gijón, Spain), TruNatomy (TN, Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland), DC Taper (DCT, SS White, Lakewood, NJ) and HyFlex EDM One File (HEDM, Coltene/Whaldent). After instrumentation, geometric changes in terms of surface, volume, structure thickness, structure model index, centroids and percentage of surface touched were evaluated and compared with the paired sample t test was within groups, and 1-way analysis of variance between groups. **Results:** There were no significant differences between BS, TN, DCT and HEDM ($P > .05$). There was a significant reduction in the amount of unprepared areas, as well as remain dentine thickness, after each increase in file size, in all groups ($P < .05$). **Conclusions:** The 4 instrumentation techniques have similar shaping ability performing in the preparation of oval canals. None of evaluated files were able to touch the total surface of the canal walls, nevertheless there was a significant reduction in the amount of unprepared areas, as well as remain dentine thickness, after each increase in file size, in all groups.

1.- INTRODUCCIÓN

La aparición de instrumentos mecanizados de níquel-titanio ha mejorado el manejo de los tratamientos endodónticos. Este tipo de instrumentación con motores permite realizar de manera segura la conformación de los conductos radiculares y disminuir los riesgos y accidentes durante el procedimiento, dado que las aleaciones son más flexibles.

La capacidad de limpieza, desinfección y conformación de cualquier sistema de instrumentación es de importancia para el éxito del tratamiento endodóntico. Sin embargo, ningún sistema de instrumentación ha probado ser eficaz en la conformación del 100% de la superficie de los conductos radiculares. Especialmente en la zona apical, o cuando existen variaciones anatómicas, tipo curvaturas radiculares o conductos ovales.

Esto se debe a que la instrumentación rotatoria la mayoría de las veces da una forma de sección transversal redonda dentro de los conductos radiculares, dejando superficies intactas en el diámetro más grande del conducto oval.

A pesar de esta afirmación, recientemente se han propuesto nuevos sistemas de instrumentación, con el objetivo de conformar completamente el sistema de conductos radiculares.

Asimismo, sirven para simplificar la limpieza, desinfección y conformación, como también reducir el número de instrumentos necesarios, preservando la forma original del conducto conformado.

Por esta razón esta investigación tiene el objetivo de evaluar la capacidad de los sistemas de instrumentación Blue Shaper, TruNatomy, DC Taper H y HyFlex EDM. Por lo cual, surge la siguiente interrogante: ¿Cuál es la eficacia de conformación de los sistemas de instrumentación BlueShaper, TruNatomy, DC-Taper y HyFlex EDM en los conductos ovales?

2.- HIPÓTESIS.

Todos o alguno de los sistemas de instrumentación conforman el 100% de la superficie de los conductos radiculares.

ALTERNA: Ninguno o alguno de los sistemas de instrumentación conforman el 100% de la superficie de los conductos radiculares.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERAL

Comparar la capacidad de conformación de los sistemas de instrumentación BlueShaper (Zarc4endo, Gijón-Spain), TruNatomy (TN; Dentsply Sirona, Ballaigues, Suiza), VTaper2H (SS White, Lakewood, NJ) y HyFlex EDM (Coltene / Whaledent, Altstätten, Suiza).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Cuantificar los cambios producidos en la geometría del conducto en términos de superficie.

Calcular los cambios producidos en volumen.

Evaluar los cambios producidos en espesor de la estructura.

Medir los cambios producidos en índice de convexidad de la superficie.

Ponderar los cambios producidos en índice del modelo de estructura.

Analizar los cambios producidos en porcentaje de superficie tocada y centroides.

4. ANTECEDENTES

La Endodoncia es una ciencia de vital importancia dentro del área Odontológica (Triana, et al., 2020). Desde el punto de vista etimológico es la parte de la odontología que se ocupa del interior del diente. ¿Y que hay en el interior del diente? Lo que conocemos como pulpa dental. Por lo tanto, la endodoncia es la especialidad del estudio de la morfología, fisiología y patología de la pulpa dental y de los tejidos perirradiculares, así como del diagnóstico y tratamiento de las enfermedades pulpares y perirradiculares. Incluyendo, el diagnóstico diferencial y el tratamiento del dolor orofacial de origen pulpar y periapical (Rodríguez A, 2003).

La terapia endodóntica involucra el tratamiento de tejido pulpar vital y necrótico en pacientes que puedan conservar sus dientes naturales en función y estética (Peters, et al.,2004). Con el objetivo de generar la limpieza, desinfección, conformación y el completo sellado del sistema de conductos radiculares. La conformación del conducto es un aspecto crítico en el tratamiento de endodoncia debido a que influye en el resultado de las fases subsecuentes del tratamiento como lo es la irrigación y la obturación. Una vez que el conducto es preparado, éste debe tener una conicidad uniforme, incrementar el diámetro desde la porción apical hacia el orificio de entrada. Esta preparación proporciona suficiente espacio para los irrigantes, la completa limpieza del conducto y una obturación efectiva (Schilder, 1974).

Aunque el abordaje endodóntico sigue siendo el tratamiento de elección, tales procedimientos endodónticos no siempre pueden lograr dichos objetivos (Dioguardi et al. 2015) ; (Troiano, et al. 2018); (Troiano, et al. 2016).

4.1 Historia

Hace doscientos cincuenta años que Antonie van Leeuwenhoek fue el primero en asomarse a un mundo nuevo, poblado de millares de especies de seres pequeñísimos. En el siglo XVII, Leeuwenhoek, con un microscopio primitivo (más una lupa que un verdadero microscopio), observó y describió microorganismos, a los que él llamó “animálculos”, en tejido extraído de los conductos radiculares de dientes cariados (fig.1). Sin embargo, se realizaron escasos progresos hasta 1894, cuando un dentista estudiante de nombre W. D. Miller, que trabajaba en el laboratorio de Robert Koch en Berlín, Alemania, pudo cultivar bacterias de infecciones endodónticas y describió su asociación con periodontitis apical (fig.2). Aunque se han encontrado formas de terapia de conductos radiculares en cráneos del antiguo Egipto, no fue sino hasta el siglo XVIII cuando Pierre Fauchard documentó la preservación de dientes infectados y cariados por tratamiento de la pulpa (Lamont RJ,2013; Miller WD,1894).

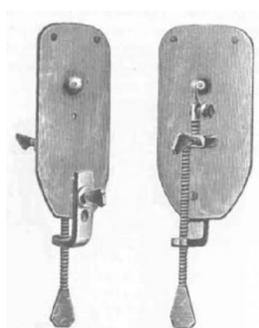


Figura 1: Microscopio utilizado por Antonie van Leeuwenhoek. . Imagen obtenida de Karamanou M, Poulakou-Rebelakou E, Tzetis M, Androutsos G. Anton van Leeuwenhoek (1632-1723): father of micromorphology and discoverer of spermatozoa. Rev Argent Microbiol. 2010 Oct-Dec;42(4):311-4. 21229203.

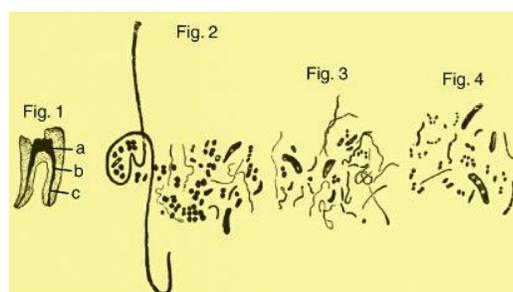


Figura 2: Dibujos del artículo clásico de Miller que presentan las distintas formas bacterianas en una muestra de conducto radicular. Imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. Vías de la Pulpa (Spanish Edition) (p. 2314). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

El Dr. Louis Grossman, considerado por muchos el padre de la endodoncia moderna, demostró que los conductos radiculares podían instrumentarse hasta el punto en que el cultivo de muestras del conducto radicular instrumentado ya no detectara bacterias viables (Shepard LI,1992).

En 1965, los experimentos de Kakehashi demostraron que la exposición pulpar en ratas libres de gérmenes no causaba inflamación (fig. 3). A la inversa, una exposición pulpar similar en presencia de microbiota oral normal en ratas comunes invariablemente conducía a inflamación y necrosis pulpar (fig. 4) (Kakehashi S,1965).

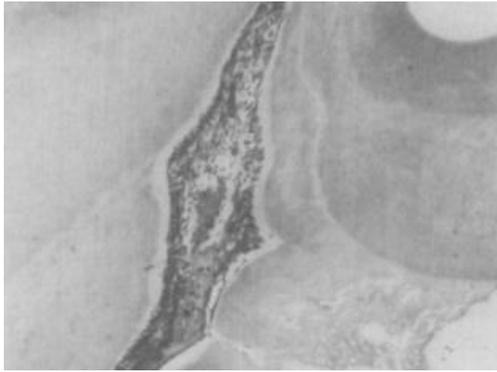


Figura 3: *Exposición pulpar en una rata libre de gérmenes después de 32 días, que se observa el puente de terminación con tejido pulpar vital no inflamado restante. Datos obtenidos del artículo Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats.*



Figura 4: *Exposición pulpar en una rata común después de 14 días, que muestra inflamación pulpar. Datos obtenidos del artículo Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats.*

Poco después, (Sundqvist, 1976) tras un importante estudio realizado sobre dientes humanos con pulpas necróticas, demostró que sólo podían ser detectados signos de reacción inflamatoria en los tejidos periapicales de dientes que presentaran infección bacteriana dentro del sistema de conductos radiculares.

Otros estudios también aportaron sólidas evidencias sobre la causa microbiana de la periodontitis apical. (Möller et al.1981), realizaron un estudio con dientes de monos demostrando que solo las pulpas desvitalizadas que estaban infectadas inducían lesiones de periodontitis apical, mientras que en las pulpas desvitalizadas y no infectadas no presentaban cambios patológicos importantes en los tejidos perirradiculares.

Más de 700 especies bacterianas han sido reconocidas como componentes de la microbiota oral (Lamont RJ,2013). Sin embargo, pocas especies parecen ser capaces de invadir el espacio pulpar e infectarlo (Sundqvist, 1992). Esto sugiere que muchas de las especies en la cavidad bucal no poseen las propiedades necesarias para invadir los túbulos dentinarios y sobrevivir dentro de ese microambiente (Love R, 2002).

4.2 Vías de infección del conducto radicular

La pulpa y los tejidos periapicales, al contrario de la cavidad oral, son áreas del huésped que, en condiciones sanas, son estériles bajo el aspecto microbiológico (Estrella C, 2005). Los microorganismos pueden llegar a la cámara pulpar a través de varias rutas, ya sea por afección en los tejidos duros, como resultado de caries, procedimientos quirúrgicos dentales o las grietas y fracturas inducidas por traumatismos, estas son las vías más frecuentes de infección pulpar. Pero las bacterias también se han aislado de dientes con necrosis pulpas y coronas aparentemente intactas (Nair PN, 2000). Unas pocas bacterias que logren ingresar a una pulpa necrótica tendrán condiciones excelentes para crecer ahí. En el caso que las bacterias ingresen a una pulpa vital, su supervivencia dependerá del número y virulencia para oponerse a los mecanismos de defensa del huésped (Bergenholtz G, 2007).

Para lograr la colonización del sistema de los conductos radiculares, los microorganismos utilizan las siguientes vías de acceso:

4.2.1 Caries dental

Cuando una lesión cariosa profunda alcanza la pulpa, la invasión bacteriana masiva provocará inflamación pulpar, seguida de necrosis e inflamación periapical. En estos casos, las bacterias que ingresan serán de la microbiota compleja de la caries profunda, dominadas por bacterias anaerobias grampositivas (Bergenholtz G, et al., 2007). En algunos estudios realizados, se han identificado bacterias en los túbulos dentinarios a partir de la expansión de la lesión cariosa en sentido centrípeto, o durante intervenciones odontológicas, los microorganismos pueden utilizar esta vía para llegar a la pulpa; siendo esta la vía más frecuente de dicha infección (Estrella C, 2005) ; (Bergenholtz G, et al., 2007). De hecho, hasta en las pulpas vitales, de caries profundas no expuestas, pueden ingresar pequeñas cantidades de bacterias, pero por lo general, estas bacterias se eliminan por el sistema inmune de la pulpa (Bergenholtz G, et al., 2007) ; (Svensa G y Bergenholtz G, 2004).

4.2.2 Trauma

La exposición pulpar directa, ya sea de origen traumático, como por ejemplo una fractura coronaria, o por iatrogenia causada por algún procedimiento operatorio, rompe la barrera física impuesta por las estructuras dentarias, proporcionando acceso a las bacterias orales. Poniendo a la pulpa en contacto con el ambiente séptico de la cavidad oral (Estrella C, 2005) ; (Bergenholtz G, et al.,2007). Esto provocará una invasión bacteriana e inflamación pulpar, seguida por necrosis e inflamación periapical (Bergenholtz G, et al.,2007) ; (Sjögren U, et al., 1997).

En el síndrome del diente fisurado, como cuando se genera una fractura incompleta inicial, las bacterias pueden ingresar a través de fracturas mínimas en el esmalte y la dentina. Los túbulos dentinarios expuestos por la fractura dental durante la preparación de cavidades o coronas, o bajo restauraciones con filtración marginal, también son una vía potencial de acceso. Además, si el periodonto se encuentra traumatizado, las bacterias del surco gingival o bolsa periodontal pueden alcanzar la pulpa a través de los vasos dañados (Estrella C, 2005) ; (Bergenholtz G, et al.,2007). Cabe recordar que las bacterias que logran ingresar a la pulpa por esta vía dependen del estado de la pulpa para sobrevivir y multiplicarse (Bergenholtz G, et al.,2007).

4.2.3 Enfermedad periodontal

Otra vía de entrada es a través de la membrana periodontal, debido a la relación anatómica que existe entre el tejido pulpar y periodontal que permite el intercambio de bacterias en ambos sentidos a través de los conductos laterales, túbulos dentinarios, membrana periodontal, foramen apical. Esta vía está disponible para la migración de microorganismos, durante la realización de profilaxis dentales subgingivales, posibles luxaciones de piezas dentales y principalmente como resultado de la migración del epitelio de inserción cuando encontramos bolsas periodontales (Narayanan y Vaishnavi, 2010).

4.2.4 Anomalías dentales

Ingle en el 2004, Señala que la penetración de bacterias puede darse a través de trayectos anómalos presentes en la corona tales como: Dens Invaginatus, Dens Evaginatus y surco palatino. A su vez la penetración radicular puede darse a través de caries, por infección retrógrada (a partir de bolsas o abscesos periodontales) o hematógena (anacoresis).

4.2.5 Anacoresis

La invasión microbiana a través de la corriente sanguínea depende de una bacteriemia y septicemia. La bacteriemia consiste en la presencia de microorganismos viables en la vía hematogénica, es un fenómeno transitorio cuya duración no se prolonga por más de 30 10 minutos y, en principio, no representa complicación al paciente; septicemia es una manifestación patológica sistémica asociada a la presencia y multiplicación de microorganismos de la sangre. La colonización de la pulpa, cuando este acceso es utilizado, es favorecida por el fenómeno denominado anacoresis (Estrella C, 2005).

Dependiendo de la fuente de las bacterias, pueden llevar bacterias, orales o no, a los conductos radiculares. Las bacterias orales de la placa dentobacteriana o de los conductos radiculares infectados pueden recuperarse a partir de la sangre venosa, inmediatamente después de diversos procedimientos (Bergenholtz G, et al.,2007). La anacoresis es una posible explicación para la infección en algunos casos clínicos de necrosis pulpar cerrada, a pesar de que normalmente las bacterias se alimentan de la sangre de manera rápida (Estrella C, 2005) ; (Bergenholtz G, et al.,2007).

Independientemente de la vía de ingreso de los microorganismos, una vez que la pulpa ha sido invadida y colonizada, se desencadena una inflamación que puede terminar en una necrosis total y afectar a los tejidos periapicales.

4.3 Tipos de infecciones endodónticas

Una vez que las bacterias logran alcanzar la pulpa, esta se encuentra indefensa permitiendo así la proliferación bacteriana, como también la constante diseminación de los subproductos bacterianos, los cuales comienzan a dañar la pulpa lo que hace inevitable la necrosis pulpar (Siqueira, J.F, et al., 2010). La presencia de una cavidad contaminada, junto con una pulpa necrosada, bacterias, toxinas, y productos metabólicos, generara una vía fácil para alcanzar los tejidos perirradiculares estableciendo lo que conocemos como periodontitis apical (Siqueira JF, 2001).

4.3.1 Infecciones intrarradiculares primarias

Los microorganismos que invaden y colonizan inicialmente el tejido pulpar necrosado provocan una infección intrarradicular primaria, aunque también se utilizan otros nombres como infección inicial o virgen, (Torabinejad, 2010).

La microbiología de este tipo de infecciones es variada, y se le considera como una comunidad microbiológica mixta trabajando en sinergia (Siqueira JF JR, 2002); (Siqueira JF JR, 2001).

4.3.2 Infecciones intrarradiculares secundarias

Heredia en el 2004, menciona que las infecciones secundarias no son causadas por microorganismos presentes en el conducto radicular durante la terapia endodóntica inicial, más bien por la invasión de microorganismos al conducto radicular ya sea durante el tratamiento, entre citas o después de la obturación del conducto. Según (Torabinejad, 2010) aclara que, durante el tratamiento los microorganismos pueden ingresar al interior del conducto radicular por medio de los restos de placa dental, de cálculo o de caries dental, como también las fisuras presentes en el dique de goma o cualquier contaminación preexistente del instrumental endodóntico.

Luego del tratamiento endodóntico también existe la posibilidad del ingreso de los microorganismos por el retraso de colocación de los materiales de restauración definitiva, aun cuando los conductos radiculares hayan sido obturados (Torabinejad, 2010). Podemos mencionar a microorganismos orales y no orales involucrados en infecciones secundarias. Esto depende de la fuente de contaminación. De acuerdo con lo investigado por (Haapasalo M, 1987) los microorganismos orales provienen de la saliva e ingresan al conducto radicular por medio de una posible micro-fisura en la restauración temporal o definitiva.

4.3.3 Infecciones intrarradiculares persistentes

Las infecciones persistentes se generan por las bacterias que fueron capaces de resistir a las fases de preparación químico-mecánica y a la fase de medicación intraconducto, soportando un hábitat escaso en nutrientes como lo es un conducto obturado, dándoles la oportunidad de recolonizar de nuevo dicho entorno (Siqueira JF JR, 2002); (Siqueira JF JR, 2001).

(Siqueira JF,2011), los denomina, recurrentes y describe que son causados por la resistencia y por ende la permanencia de los microorganismos; manifiesta que son capaces de soportar condiciones desfavorables para su supervivencia, que inclusive con poco o hasta escasos recursos nutricionales tienen la habilidad de crear mecanismos que los permita soportar los procesos químico -mecánicos y con el tiempo, inanición.

En general, se determina que los microorganismos tienen la capacidad de sobrevivir por años dentro del conducto radicular obturado y son capaces de inducir y de mantener la inflamación perirradicular, siendo este el problema principal del fracaso del tratamiento endodóntico.

“Últimamente, se ha obtenido evidencia que la principal causa se debe a infecciones persistentes principalmente por tres factores: a) la mayor cantidad de microorganismos en el tercio apical b) la presencia de microorganismos en el momento de la obturación c) la incidencia del fracaso endodóntico en dientes con periodontitis apical inicial” (Siqueira JF,2011).

4.3.4 Infecciones extrarradiculares

(Torabinejad, 2010), habla sobre la procedencia de la infección extrarradicular, donde se describe: dependiente de la infección intrarradicular a través del absceso apical agudo; que en casos clínicos existe la presencia de fístula indicando bacterias extrarradiculares donde se puede restablecer con el tratamiento de conductos; mientras la infección extrarradicular autónoma se origina a través de la actinomicosis apical, que en este caso la cirugía endodóntica es de primera y única elección.

4.4 Diversidad de la microbiota endodóntica

"Microbiota" es posiblemente el mejor término colectivo para los microorganismos, ya que términos ampliamente utilizados como "flora microbiana" y "microflora" perpetúan una clasificación obsoleta de los microorganismos como plantas (Dethlefsen et al., 2006). La diversidad es una función tanto del número de especies presentes en una comunidad como de la abundancia relativa de esas especies en el sistema. La mayor diversidad ocurre en comunidades con muchas especies diferentes presentes en abundancia relativamente igual (Huston, 1994).

En la cavidad oral humana se han encontrado más de 1.000 filotipos/especies bacterianas (Dewhirst FE, et al., 2010), si bien los estudios de pirosecuenciación avanzada de ADN han indicado que este número puede estar todavía muy por debajo de los cálculos realizados (Ahn J, et al., 2011) ; (Griffen AL, Griffen AL, et al., 2012). Las técnicas modernas de cultivo anaeróbico y biología molecular sofisticada han demostrado que, en un nivel taxonómico extenso, las bacterias endodóncicas se encuadran en nueve filos: Firmicutes, Bacteroidetes, Spirochaetes, Fusobacteria, Actinobacteria, Proteobacteria, Synergistetes, TM7 y SR1. En la figura 5 se presenta una gráfica compleja realizada por Siqueira y Rôças la cual muestra las diversas proporciones de familias y especies asociadas con la pulpa infectada en numerosos estudios (Rôças IN y Siqueira Jr JF, 2005); (Siqueira Jr JF y Rôças IN, 2009) ;(Sakamoto M, et al., 2007); (Saito D, et al., 2006).

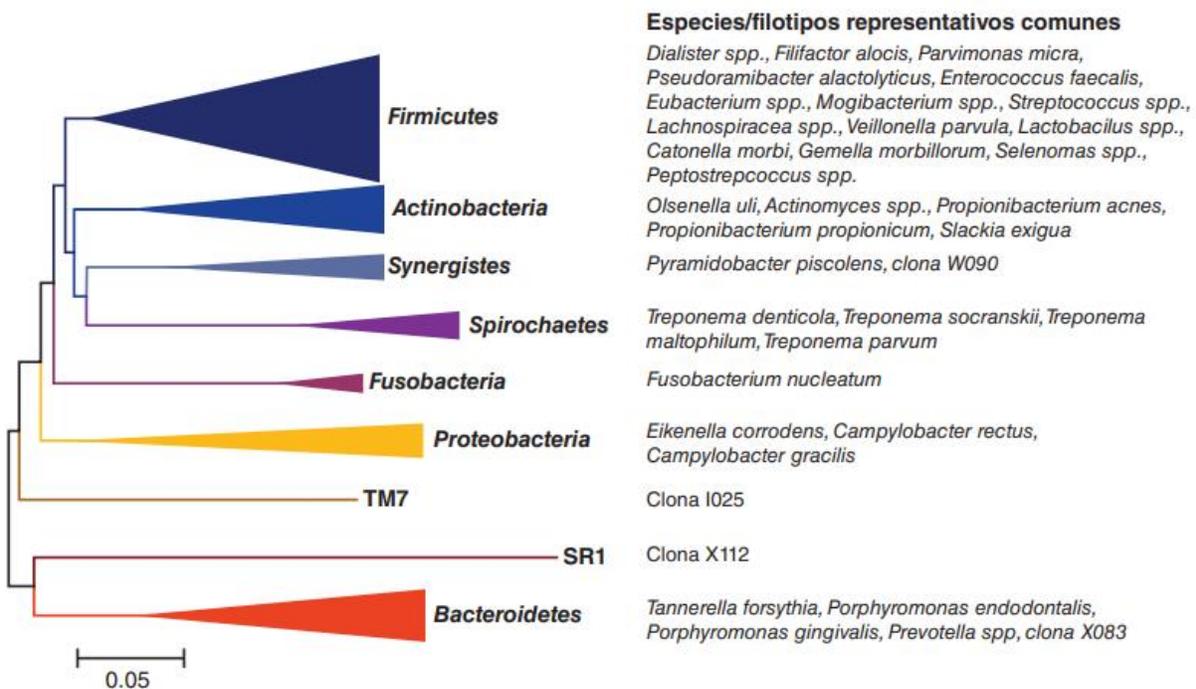


Figura 5: Diagrama de los fila, géneros y especies dominantes en infecciones de los conductos radiculares. Imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 2363). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.4.1 Microbiota relacionada con la patología endodóntica en dientes vitales

Si la comunicación de la pulpa con la cavidad oral se produce a través de una caries amplia o de un traumatismo, la pulpa se encontrará expuesta a toda la microbiota oral. Las bacterias que se han aislado de forma más prevalente son estreptococos del grupo viridans, y *Lactobacillus* spp. En las capas superficiales de la pulpa se pueden identificar *Neisseria* spp., *Haemophilus parainfluenzae*, *Corynebacterium* spp. y *S. epidermidis*. (Liébana J, 2002).

Cuando el acceso de las bacterias a la pulpa dental se produce a través de los túbulos dentinarios, las bacterias del grupo viridans, *Lactobacillus* spp. y *Actinomyces* spp serán las principales (Love RM y Jenkinson HF, 2002). Si las bacterias acceden a la pulpa dental a través de una bolsa periodontal, las bacterias más prevalentes son bacterias grampositivas, entre ellas *Peptostreptococcus* spp., *Streptococcus* spp. y *Propionibacterium* spp (fig. 6) (Liébana J, 2002).

Vía de acceso	Microbiota más frecuente
Caries amplia o traumatismo	<ul style="list-style-type: none"> • Cualquier bacteria oral • Predominio de estreptococos del grupo viridans y <i>Lactobacillus</i> spp.
Túbulos dentinarios	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias cariógenas. • Predominio de estreptococos del grupo viridans, <i>Lactobacillus</i> spp. y <i>Actinomyces naeslundii</i>
Vía periodontal	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias grampositivas • <i>Peptostreptococcus</i> spp., <i>Streptococcus</i> spp. y <i>Propionibacterium</i> spp., <i>Rothia dentocariosa</i>
Contigüidad	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias causantes del proceso original
Anacoresis	<ul style="list-style-type: none"> • Bacterias del proceso septicémico

Microorganismos aislados más frecuentemente

- *Staphylococcus aureus*
- Estreptococos orales
- *Peptostreptococcus* spp.
- *Actinomyces* spp.
- *Eubacterium* spp.
- *Capnocytophaga* spp.
- *Campylobacter* spp.
- *Eikenella corrodens*.
- *Porphyromonas* spp.
- *Prevotella* spp.
- *Mitsuokella dentalis*
- *Selenomas* spp.
- *Lactobacillus* spp.
- *Veillonella* spp.
- *Enterococcus* spp.
- Treponemas orales

Figura 6: Principales bacterias relacionadas con las infecciones de la pulpa vital. Liébana Ureña J. microbiología oral. 2.ª ed. Madrid: Interamericana Mc Graw Hill; 2002. Capítulo 56, pág. 601.

4.4.2 Microbiota relacionada con la patología endodóntica en dientes necróticos

La infección de la pulpa necrótica se puede producir a través de las mismas vías que la de la pulpa vital. No obstante, su infección se produce fácilmente debido a que los mecanismos de defensa son incompetentes. Normalmente, en las primeras etapas de las necrosis pulpares se aísla un promedio de seis especies bacterianas, aunque en la exacerbación de la infección pueden aislarse hasta 12 a 15, predominando especies de los géneros Porphyromonas y Prevotella. En figura 7 se muestran las bacterias más comunes aisladas en la pulpa necrótica.

	Géneros	Especies
Bacterias anaerobias estrictas		
Bacilos gramnegativos	<i>Porphyromonas</i> <i>Prevotella</i>	<i>P. gingivalis</i> , <i>P. endodontalis</i> <i>P. oris</i> , <i>P. buccae</i> <i>P. intermedia</i> , <i>P. melaninogenica</i> , <i>P. nigrescens</i>
	<i>Mitsuokella</i> <i>Fusobacterium</i> <i>Selenomonas</i>	<i>M. dentalis</i> <i>F. nucleatum</i> <i>S. sputigena</i>
Bacilos grampositivos	<i>Eubacterium</i>	<i>E. lentum</i>
Cocos gramnegativos	<i>Peptostreptococcus</i>	<i>P. micros</i> , <i>P. anaerobius</i> , <i>P. prevotii</i> , <i>P. asaccharolyticus</i> , <i>P. magnus</i>
Cocos grampositivos	<i>Veillonella</i>	<i>V. parvula</i>
Espiroquetas	<i>Treponema</i>	<i>T. denticola</i>
Bacterias anaerobias facultativas		
Cocos grampositivos	<i>Streptococcus</i>	<i>S. mitis</i> , <i>S. anginosus</i> , <i>S. oralis</i> , <i>S. intermedius</i>
	<i>Enterococcus</i> <i>Staphylococcus</i>	<i>E. faecalis</i> , <i>E. faecium</i> <i>S. aureus</i> , <i>S. epidermidis</i>
Bacilos gramnegativos	<i>Campylobacter</i> <i>Eikenella</i> <i>Capnocytophaga</i>	<i>C. rectus</i> <i>E. corrodens</i> <i>C. ochracea</i>
Bacilos grampositivos	<i>Lactobacillus</i> <i>Actinomyces</i>	<i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L.</i> <i>fermentum</i> <i>A. odontolyticus</i> , <i>A. naeslundii</i> , <i>A. israelii</i> , <i>A. meyeri</i>

Figura 7: Principales bacterias relacionadas con las infecciones de la pulpa vital. Liébana Ureña J. microbiología oral. 2.ª ed. Madrid: Interamericana Mc Graw Hill; 2002. Capítulo 56, pág. 603.

4.4.3 Microbiota relacionada con dientes endodóticamente tratados

La principal causa de falla endodóntica es la persistencia de microorganismos que provocan una infección intrarradicular o extrarradicular y que se vuelven resistentes a las medidas de desinfección (Prada I, 2019). Estos microorganismos tienen la capacidad para crear biopelículas fuertemente adheridas, colonizar áreas distantes de los conductos principales (deltas apicales, istmos, conductos laterales) que son casi imposibles de alcanzar con la instrumentación, cómo también células que inactivan o disminuyen la eficacia de los agentes antimicrobianos. Además, estas bacterias deben ser intrínsecamente resistentes a los agentes antimicrobianos, poder adaptarse mediante la activación de genes de supervivencia y utilizar vías metabólicas alternativas, así como ubicarse en áreas donde las fuentes de nutrientes se vean mínimamente afectadas (Siqueira, J.F y Rôças, I.N, 2008). En la figura 8 se muestra la prevalencia de microorganismos detectados en el conducto radicular y dientes tratados con enfermedad postratamiento elaborada por los mismos autores antes mencionados.

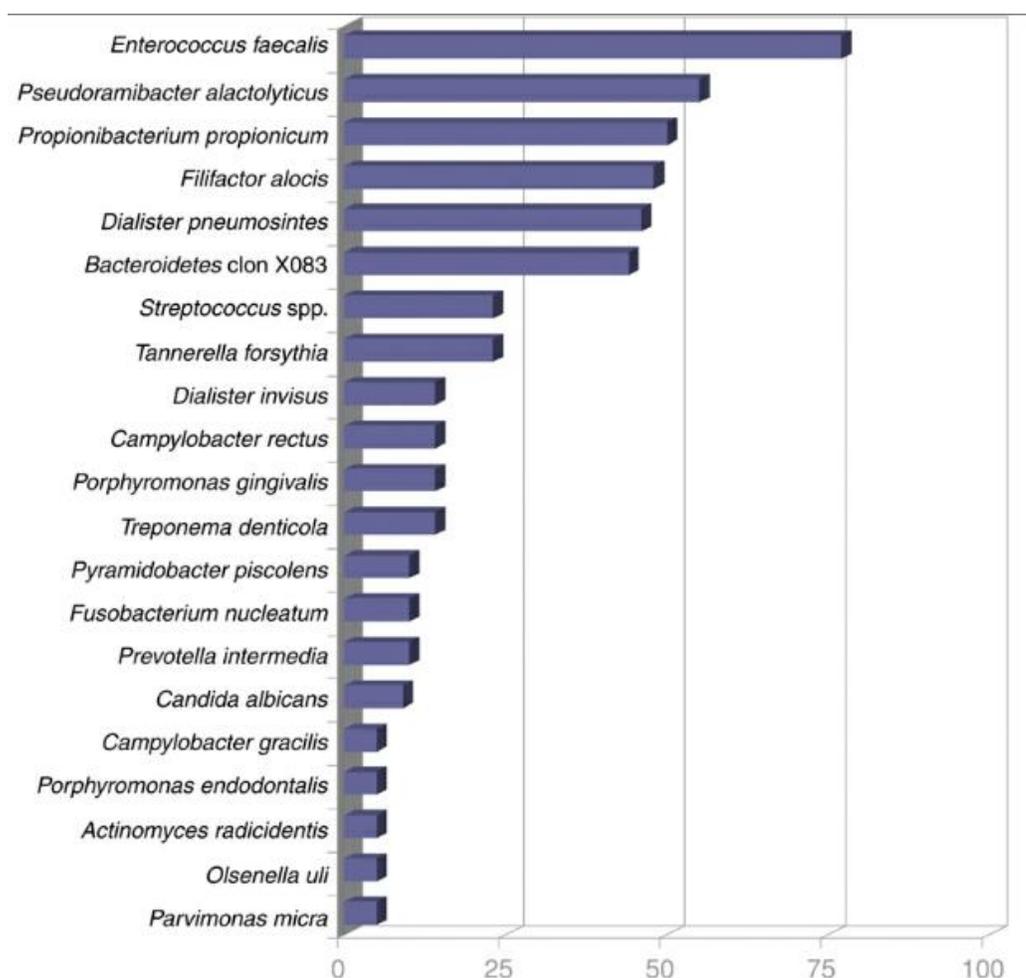


Figura 8: Prevalencia de microorganismos detectados en el conducto radicular y dientes tratados con enfermedad postratamiento. (Tomado de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 2395). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.)

4.5. Periodontitis apical

El término periodontitis se refiere a una inflamación del periodonto. Cuando se localiza en los tejidos periapicales se denomina periodontitis perirradicular o apical, (Hargreaves, et al., 2016). "Periodontitis apical" es un término general utilizado para describir el proceso inflamatorio periapical que ocurre en respuesta a la presencia de microorganismos y otros irritantes dentro del sistema de conductos radiculares de un diente (Kakehashi *et al.*, 1965). Aunque muchos pacientes desarrollarán periodontitis apical sin presentar síntomas durante un largo período de tiempo, es muy probable que haya una exacerbación aguda en algún momento y luego se harán evidentes varios signos y / o síntomas (Abbott, P, 2004). La inflamación periapical es un resultado directo de las interacciones entre las bacterias en un sistema de conductos radiculares infectado no tratado y las defensas o el sistema inmunológico del huésped (fig. 9) (Nair P, 1997). Comienza como una respuesta inflamatoria aguda, pero es una situación dinámica que puede cambiar espontáneamente a lo largo del proceso de la enfermedad (fig. 10) (Abbott, P, 2004).

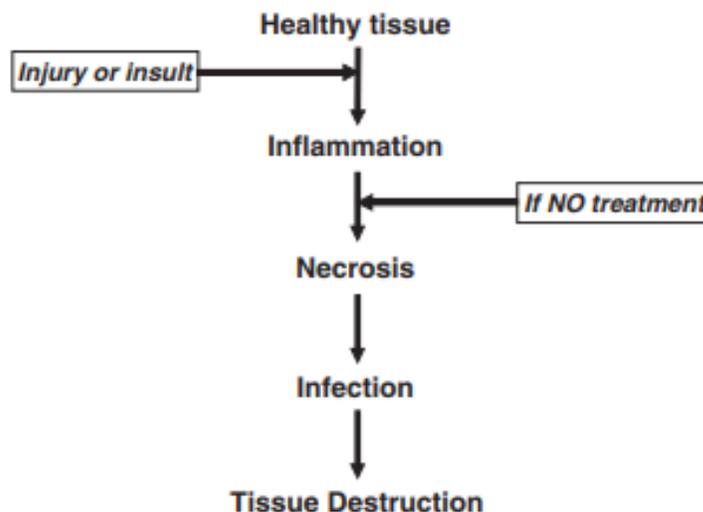


Figura 9: Las etapas generales de progresión de la enfermedad en cualquier tejido como resultado de un estímulo o irritante que no se elimina ni se trata. (Datos tomados del artículo Abbott, P. Classification, diagnosis and clinical manifestations of apical periodontitis. Endodontic Topics, 2004; 8: 36-54.)

4.5.2 Periodontitis apical asintomática

Inflamación y destrucción del periodonto apical que es de origen pulpar, aparece como un área apical radiolúcida, y no produce síntomas clínicos (fig.12) (Glickman GN, 2009).

Características histológicas

Histológicamente, la periodontitis apical asintomática se clasifica como absceso, granuloma o quiste radicular (Bhaskar SN, 1996). El absceso periapical refleja una formación de pus como consecuencia de un cambio en la dinámica celular en respuesta a una infección aguda, mientras que los granulomas periapicales consisten en tejido de granulación con células inflamatorias, fibroblastos y una cápsula fibrosa bien desarrollada. El granuloma puede eventualmente evolucionar a quistes radiculares cuando los restos epiteliales de Malassez, localizados en el tejido periodontal, son estimulados por la respuesta inmunológica para proliferar (Valderhaug J,1972); (Ten Cate AR,1972); (Harris M y Toller P, 1975).



Figura 11: La radiografía muestra un ensanchamiento del espacio del ligamento periodontal (flecha). Imagen obtenida de Torabinejad M, Walton R. Endodoncia Principio y Práctica. Cuarta Edi. Barcelona, España: ELSEVIER; 2010. 59 p.



Figura 12: La radiografía muestra destrucción tisular muy extensa de las regiones periapicales de un primer molar inferior. Imagen obtenida de Torabinejad M, Walton R. Endodoncia Principio y Práctica. Cuarta Edi. Barcelona, España: ELSEVIER; 2010. 59 p.

4.6 Periodontitis apical relacionada con la biopelícula

La etiología infecciosa de la periodontitis apical ha sido bien establecida durante las últimas cuatro décadas, primero utilizando técnicas avanzadas de cultivo anaeróbico y luego métodos sofisticados de microbiología molecular, que han contribuido a definir las especies microbianas asociadas con la enfermedad. (Siqueira JF Jr, 2011) ; (Siqueira JF Jr, 2010).

La prevalencia de las biopelículas y su asociación con diversas presentaciones de la periodontitis apical fueron desveladas por (Ricucci y Siqueira, 2010). Estos autores evaluaron dicha prevalencia en dientes no tratados con periodontitis apical primaria y en dientes tratados con enfermedad postratamiento, y analizaron las asociaciones entre biopelículas y estados clínicos/histopatológicos. Algunas de las principales conclusiones de este estudio son:

Las biopelículas intrarradiculares se observaron en general en el segmento apical del 80%, aproximadamente, de los conductos radiculares de dientes con periodontitis apical primaria o postratamiento.

La morfología de las biopelículas endodóncicas difería de forma continuada entre distintas personas (p. ej., grosor, morfotipos, proporción entre células bacterianas/matriz extracelular). Los túbulos dentinarios bajo las biopelículas estaban a menudo invadidos por células bacterianas de la parte inferior de la comunidad de la biopelícula.

Con frecuencia se observaron también biopelículas que cubrían las paredes de las ramificaciones apicales, los conductos laterales y los istmos.

Las biopelículas bacterianas eran más frecuentes en los conductos radiculares de dientes con lesiones importantes de periodontitis apical.

Las prevalencias de las biopelículas intrarradiculares en dientes asociados con quistes, abscesos y granulomas apicales fueron del 95, el 83 y el 69,5%, respectivamente. Las biopelículas estuvieron asociadas de forma significativa con lesiones epitelizadas.

Las biopelículas extrarradiculares fueron poco frecuentes; se produjeron solamente en el 6% de los casos. Salvo en un caso, siempre estuvieron asociadas biopelículas intrarradiculares. Todos los casos con biopelícula extrarradicular mostraron síntomas clínicos. Así pues, parece que las infecciones extrarradiculares en forma de biopelículas o bacterias planctónicas no son una ocurrencia común, por lo general dependen de la infección intrarradicular y son más frecuentes en dientes sintomáticos.

También se observaron bacterias en la luz del conducto principal, las ramificaciones y los istmos en forma de flocs bacterianos y células planctónicas, ya estuvieran entremezcladas con tejido pulpar necrótico o suspendidas posiblemente en una fase líquida.

4.7. Biofilms en infecciones endodóncicas

El término de biofilm se introdujo para designar condensaciones de microorganismos en películas delgadas (ejemplos. Hongos, bacterias, protozoos) que pueden ocurrir en cualquier superficie en la naturaleza, ya sea que el sustrato es orgánico o inorgánico donde los microorganismos planctónicos sobreviven en soluciones acuosas. (Chávez, et al.,2005). Por otro lado (Siqueira, et al. 2012) define al biofilm como una comunidad sésil de tipo multicelular con una población celular que se une firmemente a una superficie y conviven en una matriz extracelular producida por ellas mismas (fig.13). Estas células bacterianas crecen y van agregando nuevos integrantes con el fin de formar microcolonias dispuestas de una manera organizada dentro de dicha matriz extracelular. Las formas de Biofilm se han descrito muy variadas, desde pequeñas formaciones hasta cadenas de Biofilm, pero la formación más característica encontrada es la de Biofilm en forma de champiñón (mushroom-shape) (Zambrano, et al., 2016).

El estilo de vida de la comunidad de biopelículas proporciona a los microorganismos una serie de ventajas y habilidades que no se observan en las células individuales que viven en un estado de flotación libre (planctónico), incluido el establecimiento de un rango de hábitat más amplio para el crecimiento; aumento de la diversidad y eficiencia metabólicas; protección contra microorganismos competidores, defensas del huésped, agentes antimicrobianos y estrés ambiental; y patogenicidad mejorada (Marsh PD, 2005).

La adherencia microbiana a una superficie y a otros microorganismos es un requisito previo para la formación de biopelículas. En esto, la sustancia polimérica extracelular (EPS) producida por microorganismos juega un papel importante. En una biopelícula madura, varias capas de células microbianas están rodeadas por EPS que consta principalmente de polisacáridos y proteínas extracelulares. El EPS protege las células microbianas de las agresiones ambientales e inhibe la difusión de antimicrobianos. En las biopelículas, las células microbianas se comunican entre sí produciendo pequeñas moléculas que les permiten detectar la densidad de población a su alrededor. Los microbios responden a estas moléculas sensibles al quórum regulando su metabolismo y fisiología, por ejemplo, aumentando su producción de toxinas y EPS (Casadevall A y Pirofski L. Virulence.,2009).



Figura 13: Biopelícula bacteriana mixta adherida a la superficie de un diente (tinción de Brown y Brenn, aumento $\times 1.000$). imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 2341). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.7.1 Formación del biofilm

Autores como (Sirvent, et al., 2010) ; (Zambrano, et al., 2016), concuerdan en que la teoría propuesta por Svensäter & Bergenholtz 2004 sobre la formación de biofilms es la más aceptada la cual consiste en 4 fases.

En la primera fase se produce la formación de una película adhesiva en las paredes de dentina; proceso promovido por el depósito de proteínas y otros compuestos derivados tanto de las bacterias que se encuentran en suspensión como del proceso inflamatorio o necrótico pulpar preestablecido.

La segunda fase, sobre esa película adhesiva, se fijan algunas bacterias específicas con capacidad de adhesión, de todas las que están en suspensión.

En la tercera fase la capa de bacterias que se adhirió en un inicio expresa receptores y mediadores que permiten la adhesión de más bacterias sean estas de la misma clase o de diferente y por otro lado van formando la matriz extracelular que cumplirá la función de ser la barrera defensiva por excelencia del biofilm.

La cuarta fase y la última consiste en la maduración que tiene este biofilm y en la elaboración de sistemas de defensa más complejos por parte del mismo, al mismo tiempo que se encarga de arrojar al medio bacterias las cuales van a cronificar el proceso inflamatorio del hospedador (Svensäter G y Bergenholtz G,2004).

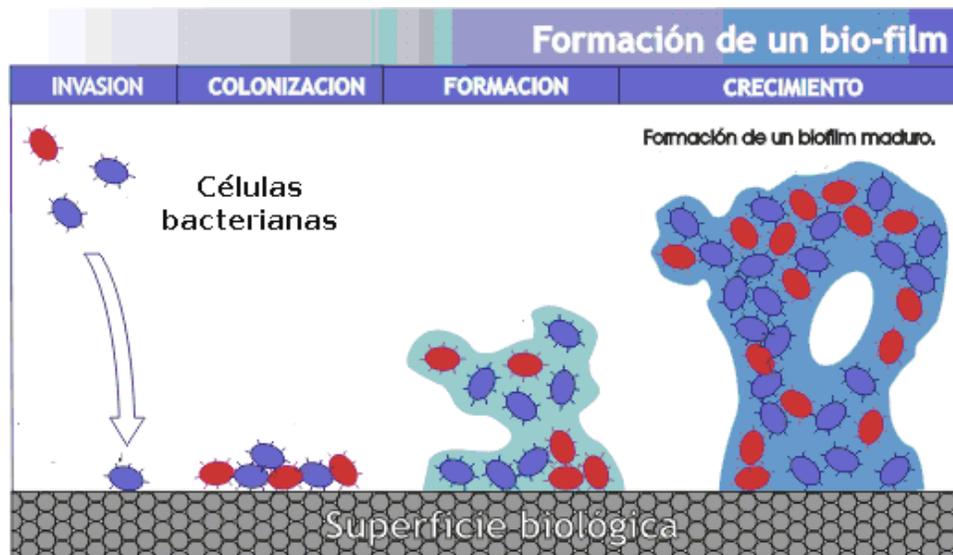


Figura 14: La figura ilustra el proceso de formación del biofilm: unión a la superficie, adherencia con otras células, formación de Microcolonias y maduración dentro de una capa de exopolisacárido. Obtenida del artículo: Zambrano de la Peña S, Salcedo D, Petkova M, Ventocilla M. Biofilm en Endodoncia: una revisión. *Odontol Samarquina*. 2016;19(2):45–9.

4.8 Ecología microbiana y ecosistema del conducto radicular

El conducto radicular representa un entorno especial en el que las presiones selectivas dan como resultado el establecimiento de un grupo restringido de la microbiota oral. Los cambios de población ocurren con el tiempo y los anaerobios obligados finalmente dominan la mezcla bacteriana. Las interrelaciones bacterianas y el suministro nutricional son factores clave para determinar el resultado de la infección. El tratamiento de endodoncia, además de eliminar directamente las bacterias, puede alterar completamente la delicada ecología y privar a las bacterias persistentes de su fuente nutricional (Sundqvist G,1992).

Un consenso general es que el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos que invaden el espacio pulpar está controlado por una variedad de factores ambientales que ocurren en el momento de la infección. Estos factores, de naturaleza física y química, constituyen el filtro de hábitat que limitará el crecimiento de ciertos organismos frente a otros (Fig.15) (Chávez, et al., 2016).

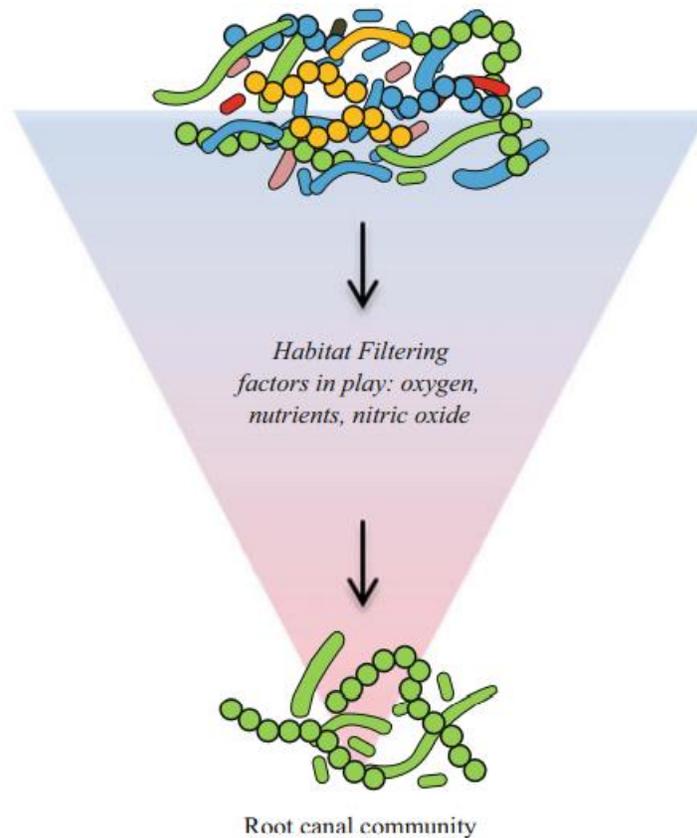


Figura 15: Representación esquemática del proceso de filtrado del hábitat, que muestra las bacterias orales invasoras (células en colores), los factores de filtrado ecológicos y los colonizadores exitosos del conducto radicular (células en verde). Imagen obtenida de Chávez de Paz LE, Sedgley CM, Kishen A, editores. *El biofilm del conducto radicular*. Berlín, Alemania: Springer; 2016.

Las bacterias orales que invaden la cámara pulpar después de la exposición a través de caries, traumatismos o enfermedades periodontales son filtradas ecológicamente por factores ambientales como el oxígeno, los nutrientes y el óxido nítrico. La presencia de óxido nítrico en el ecosistema pulpar se debe a la infiltración de neutrófilos durante el proceso inflamatorio en la pulpa. Los colonizadores exitosos constituirán la microflora del conducto radicular (Chávez, et al., 2016).

Óxido nítrico (NO): NO es un radical pequeño, lipofílico y de fácil difusión que tiene fuertes propiedades citotóxicas debido a su alta reactividad. La capacidad de las bacterias para adaptar su fenotipo con el fin de sobrevivir a los entornos de NO puede ser una característica crucial de los microorganismos orales para la colonización en el ecosistema del conducto radicular. (Chávez, et al., 2016).

Oxígeno: Los niveles de oxígeno en el ecosistema pulpar pueden desempeñar un papel importante en la selección y en la determinación de interacciones funcionales y estructuras espaciales de las comunidades microbianas del conducto radicular. Los microorganismos anaeróbicos aumentan con el tiempo (fig.16) (Chávez, et al., 2016) ; (Möller AJ, et al. 1981).

Nutrientes: Todos los organismos deben recolectar nutrientes y luego coordinar el metabolismo central, la síntesis de monómeros y la polimerización de macromoléculas para la síntesis y el crecimiento de la biomasa (Chubukov V, et al.,2014). Las principales fuentes de nutrientes de las bacterias que colonizan el sistema del conducto radicular son: 1) la pulpa necrótica; 2) las proteínas y glucoproteínas de los líquidos tisulares y el exudado que se embebe en el sistema del conducto radicular a través de los forámenes apical y lateral; 3) los componentes de la saliva que pueden penetrar coronalmente en el conducto radicular, y 4) los productos del metabolismo de otras bacterias (Hargreaves, 2016).

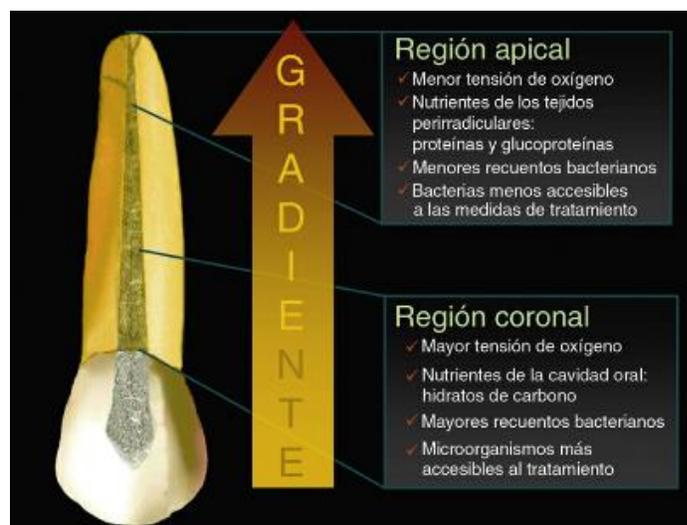


Figura 16: Condiciones ambientales en las distintas zonas del conducto radicular. Se forma un gradiente de tensión de oxígeno y nutrientes (tipo y disponibilidad). En consecuencia, también varían la diversidad. Imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 2376). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.8.1 Interrelaciones bacterianas

Algunos productos metabólicos se pueden acumular en concentraciones que son inhibitoras o tóxicas para otras especies. Las bacteriocinas son compuestos bactericidas producidas por algunas especies que son activas contra otras especies u otras clones de la misma especie, de tal manera que los microorganismos competidores pueden ser eliminados (Sundqvist G, 1992).

Estas interacciones microbianas de una población polimicrobiana son:

Sinergismo:

- Coagregación
- Mantenimiento del ambiente anaerobio
- Complementación enzimática para la degradación mutua de macromoléculas
- Cadenas alimenticias
- Defensa mutua

Antagonismo:

- Competencia por el espacio y los nutrientes
- Productos metabólicos inhibidores
- Bacteriocinas

Estas interacciones de sinergismo y antagonismo entre los miembros desempeñan una función en el establecimiento y regulación de la comunidad clímax en un conducto radicular infectado (fig.17) (Sundqvist G, 1992); (Ribeiro D, et al., 2006); (Bergenholtz G, et al.2007).

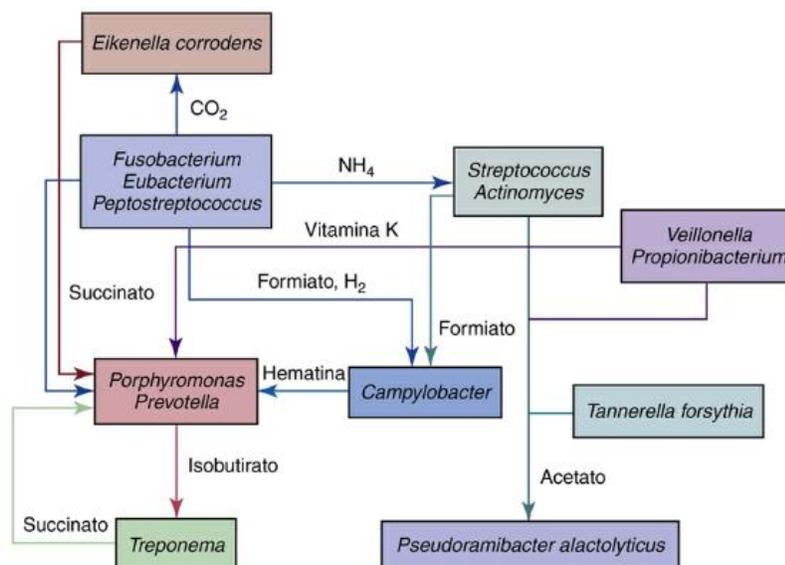


Figura 17: Interacciones nutricionales interbacterianas que pueden tener lugar en los conductos radiculares infectados en los que el crecimiento de algunas especies puede depender de los productos del metabolismo de otras. Imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa* (Spanish Edition) (p. 2379). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.9 Factores de virulencia

La patogenicidad bacteriana está relacionada con sus factores de virulencia (Nair 2004), que son estructuras, productos o estrategias que utilizan las bacterias para infectar al huésped (fig.18) (Gomes y Herrera 2018). Algunos de estos factores son:

- *Lipopolisacáridos (LPS)*: También conocidos como endotoxinas. Son una parte integral de la pared celular de las bacterias Gramnegativas (Lamont RJ,2013). Estas endotoxinas están asociadas con la activación del complemento, reabsorción ósea, dolor pulpar y periapical (Hargreaves, 2016).
- *Pili o Fimbrias*: Son macromoléculas largas y filamentosas, que se encuentra en la superficie de las bacterias Gramnegativas (Liébana J, 2002). Estas se pueden extender de una bacteria a otra durante la conjugación y el intercambio de ADN codificador de factores de virulencia, incluyendo la resistencia a los antibióticos (Lamont RJ,2013).
- *Cápsula*: Es una capa bien organizada fuera de la pared celular bacteriana, generalmente compuesta por polisacáridos. La función de esta es de proteger a la bacteria de la respuesta inflamatoria es decir de la activación del complemento y muerte por fagocitosis (Liébana J, 2002).
- *Vesículas extracelulares*: Son producidas por bacterias Gramnegativas. Contiene muchos de los componentes de la membrana o todos ellos, incluidos LPS, enzimas que atacan tejidos y otros factores de virulencia. Pueden difundirse por los tejidos del huésped llevando factores de virulencia y estimulando reacciones adversas, como inflamación y resorción ósea. (Lamont RJ,2013).
- *Capa-S*: Algunas bacterias pueden producir una capa superficial llamada capa S, que cubre la superficie de la célula bacteriana. Las capas S por lo general constan de una sola proteína, y pueden ser muy eficaces para proteger a los microorganismos contra la fagocitosis y la destrucción por células inmunitarias u otro mecanismo inmune (Lamont RJ,2013).

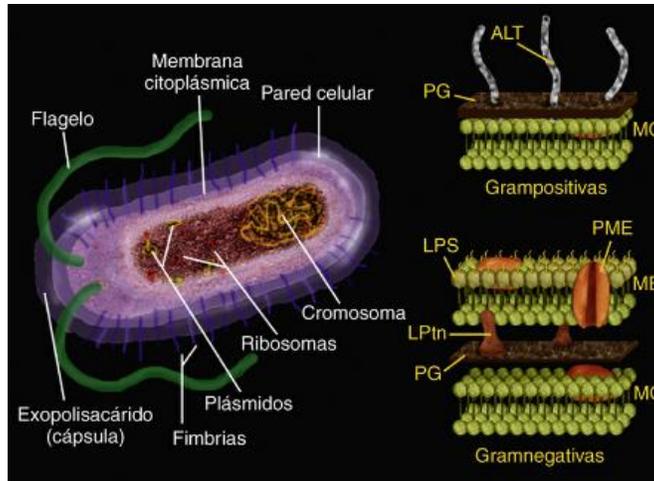


Figura 18: La célula bacteriana y sus componentes estructurales pueden actuar como factores de virulencia. Derecha, esquema de la pared de bacterias grampositivas y gramnegativas. Imagen obtenida Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 2329). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.10 Endodoncia exitosa

El tratamiento de endodoncia es un procedimiento razonablemente predecible con tasas de éxito de entre el 86% y el 98%. El éxito o fracaso de este tratamiento se evalúa por los signos y síntomas clínicos, así como por los hallazgos radiológicos del diente tratado (Allen RK, et al., 1989).

The American Association of Endodontists ha presentado los criterios para el éxito del tratamiento de endodoncia (Ng YL, et al. 2008). Estos incluyen principalmente los signos y síntomas clínicos como:

- Ausencia de dolor.
- Ausencia del tracto sinusal.
- Diente en funcionamiento.
- Tejido blando alrededor del diente está sano.
- Sin infección ni inflamación.
- No sensible a la percusión.

Para (Tabassum, et al., 2016), los síntomas y signos clínicos que definen el éxito son: la ausencia de dolor, la desaparición de la inflamación y las fístulas, si existían antes del tratamiento, así como el mantenimiento del diente funcional y firme en su alvéolo. Radiográficamente, es la curación completa de la lesión ósea periapical existente y el aspecto normal de la lámina dura durante un período de 6 a 24 meses, definirán el éxito. Histológicamente, sin embargo, se debe

producir una reparación completa de las estructuras periapicales con ausencia de células inflamatorias.

El éxito clínico del tratamiento endodóntico se puede analizar en base a diferentes puntos de vista, con valores específicos que involucran al odontólogo, al paciente o al propio diente (fig. 19) (Estrela C, et al.,2014).

Determinants associated with the individual
<ul style="list-style-type: none"> - Patient's age - Oral health (periodontal disease) - Systemic health (systemic diseases) - Patient's collaboration (level of patient's knowledge about the importance of health and of the RCT)
Determinants associated with the tooth
<ul style="list-style-type: none"> - Diagnosis of dental pulp and/or periapical tissue previously to RCT - Dental morphology (dental group - anterior, premolar and molar; dental development disturbances) - RCT planning - Time, extension and type of the infectious process - Understanding the disinfection process, the selection of the antimicrobial agents (irrigant solution, intracanal dressing, filling material, quality of coronary restoration) - RCT (root canal space completely filled, with filling material ending 1-2 mm from the radiograph apex, overfilling, root perforation, fracture of instrument, endoperiodontal lesion, traumatic dental injury) - Type of restoration (composite resin, metallic restoration, unitary prosthesis with or without intraradicular post, extensive dental rehabilitation) - Control and longevity of the RCT - Selection of the cases and gumption
Determinants associated with the professional
<ul style="list-style-type: none"> - Stress - Work environment - Lack of attention - Lack of planning - Domain of new technologies - Technical ability and knowledge (academic level - student, general clinician, specialist, experienced specialist, professor)

Figura 19: Factores determinantes asociados con la salud del individuo, el diente y el profesional que deben ser cuidadosamente observados para el éxito del tratamiento endodóntico. Imagen obtenida de Estrela C, Holland R, Estrela CR, Alencar AH, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Characterization of successful root canal treatment. Braz Dent J. 2014 Jan-Feb;25(1):3-11.

Con la finalización del tratamiento de endodoncia y la colocación de una restauración permanente, la obligación profesional con nuestros pacientes aún no termina. Uno de los aspectos más interesantes de la endodoncia es el seguimiento de los pacientes y la evaluación de cómo el tratamiento realizado afectó el resultado final (Chugaly, et al. 2017).

4.11 Etiología del fracaso del tratamiento endodóntico

Según (Ashley y Harris, 2001) el fracaso es una continuación o recurrencia de los síntomas clínicos junto con la presencia de una radiolucencia periapical.

El tratamiento del sistema de conductos radiculares suele fallar cuando el tratamiento no alcanza los estándares aceptables (Seltzer et al. 1963, Engström et al. 1964, Sjögren 1996, Sundqvist et al. 1998). La razón por la que muchos dientes no responden al tratamiento endodóntico es debido a errores durante el procedimiento (Lopes y Siqueira 1999).

El desbridamiento mecánico inadecuado, la persistencia de bacterias en los conductos y el ápice, la mala calidad de la obturación, la sobreextensión del conducto radicular, la extensión insuficiente del conducto radicular y la filtración coronal, son algunos de los factores en fracaso del tratamiento. Sin duda, el principal factor asociado con la falla endodóntica es la persistencia de la infección microbiana en el sistema de conductos radiculares y / o el área perirradicular (Nair et al. 1990a, Lin et al. 1992). Por lo tanto, (Siqueira JF Jr, 2003). Brinda medidas adecuadas y pautas de seguimiento en un intento de prevenir el desarrollo de dolor intenso y / o inflamación entre citas (fig. 20).

Microbial mechanisms	Preventive measures
Apical extrusion of infected debris	Crown-down instrumentation techniques Instruments used with some sort of rotation action Copious and frequent irrigation
Changes in the endodontic microbiota and/or in environmental conditions	Completion of chemo-mechanical preparation in a single visit Placement of an antimicrobial intracanal medication that temporarily fills the root canal between appointments
Secondary intraradicular infections	Strict aseptic measures Proper coronal sealing Do not leave teeth open for drainage
Increase of the oxidation-reduction potential	Completion of chemo-mechanical preparation in a single visit Placement of an antimicrobial intracanal medication that temporarily fills the root canal between appointments

Figura 20: Mecanismos microbianos en la inducción de brotes y respectivas medidas preventivas. Imagen obtenida de Siqueira JF Jr. *Microbial causes of endodontic flare-ups. Int Endod J.* 2003 Jul;36(7):453-63.

La eliminación de microorganismos de los conductos radiculares infectados es una tarea difícil. Se han descrito numerosas medidas para reducir el número de microorganismos del conducto radicular, incluido el uso de diversas técnicas de instrumentación, regímenes de irrigación y medicamentos intraconductos (Mohammadi, 2018). Estudios han demostrado que parte del espacio del conducto radicular a menudo permanece intacto durante la preparación quimiomecánica, independientemente de la técnica y los instrumentos empleados (Lin et al. 1991, Siqueira et al. 1997). Por lo tanto, las biopelículas bacterianas residuales u´bicadas en estas áreas no se verían afectadas obteniendo así un tratamiento inadecuado (Siqueira Junior JF,2018).

4.12 Clasificación de Vertucci

Con el fin de determinar el número de conductos radiculares, sus diferentes tipos, las ramificaciones del conducto principal, la localización del foramen apical, la anastomosis transversa de los conductos y la frecuencia de deltas apicales, Frank J Vertucci (Vertucci F. J., 1984) en el Colegio de Dentistas de la Universidad de Florida realizó un estudio con 2400 dientes permanentes extraídos, que fueron descalcificados, inyectados con tinción de hematoxilina y diafanizados. A partir de los resultados de este estudio, surge una clasificación detallada del sistema de conductos radiculares muy utilizada en investigaciones que agrupa ocho tipos de conductos radiculares o configuraciones que pueden disponerse en los diferentes grupos dentarios (Fig.21).

Esta clasificación, está basada en una codificación en la cual el conducto se divide en tercios: cervical, medio y apical, especificando el número de conductos presentes en la región indicada (Sánchez, 2017).

Tipo I: un conducto único se extiende desde la cámara pulpar hasta el ápice (1).

Tipo II: dos conductos separados salen de la cámara pulpar y se unen cerca del ápice para formar un conducto (2-1).

Tipo III: un conducto sale de la cámara pulpar y se divide en dos en la raíz; los dos conductos se funden después para salir como uno solo (1-2-1).

Tipo IV: dos conductos distintos y separados se extienden desde la cámara pulpar hasta el ápice (2).

Tipo V: un conducto sale de la cámara pulpar y se divide cerca del ápice en dos conductos distintos, con agujeros apicales separados (1-2).

Tipo VI: dos conductos separados salen de la cámara pulpar, se funden en el cuerpo de la raíz y vuelven a dividirse cerca del ápice para salir como dos conductos distintos (2-1-2).

Tipo VII: un conducto sale de la cámara pulpar, se divide y después vuelve a unirse en el cuerpo de la raíz, y finalmente se divide otra vez en dos conductos distintos cerca del ápice (1-2-1-2).

Tipo VIII: tres conductos distintos y separados se extienden desde la cámara pulpar hasta el ápice. (Hargreaves,2014).

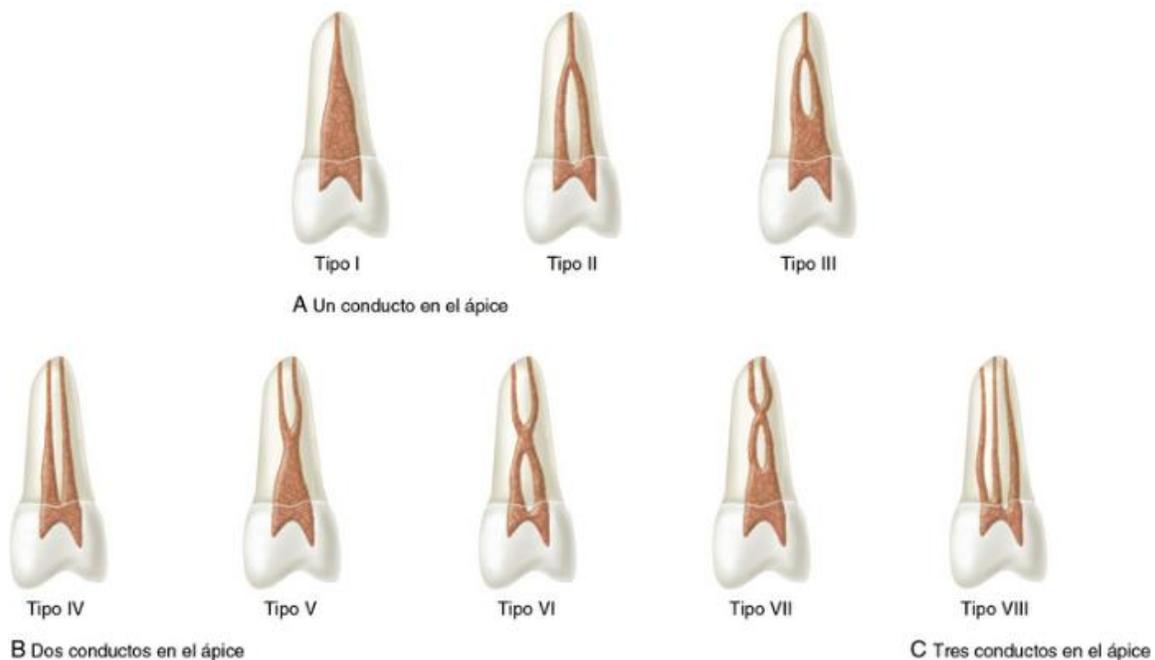


Figura 21: Representación esquemática de las configuraciones de los conductos basada en el trabajo de Vertucci. Imagen obtenida de Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa (Spanish Edition)* (p. 553). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.

4.13 Conductos ovales

El sistema de conductos radiculares es una estructura compleja de conocer debido a las múltiples variables anatómicas descritas; sin embargo, el conocimiento de la anatomía más común y frecuente dentro de la dentición humana es fundamental para el éxito del tratamiento de conductos (Blaine M, *et al*, 2008).

En los sistemas de conductos radiculares se pueden observar varias secciones transversales según la forma interna del conducto: circulares, ovaladas, aplanadas o irregulares (Mohammadi Z, *et al*, 2015). La prevalencia de conductos ovales es común entre los dientes a tratar endodónticamente, al alcanzando una prevalencia superior al 50% . Estos conductos presentan un diámetro hasta dos veces mayor en sentido vestíbulo-lingual (VL) que en sentido mesio-distal (MD). Dentro de esta clasificación de conductos ovales existe una variación llamada conducto oval largo, definido como aquel cuyo diámetro máximo es entre dos y cuatro veces mayor al diámetro menor haciendo el conducto más irregular debido a las extensiones vestíbulo-linguales del mismo (Wu MK, *et al*, 2000).

Los estudios que utilizan imágenes de microtomografía computarizada (micro-CT) han revelado que la cantidad de áreas de superficie no preparadas en los conductos radiculares oscila entre el 5% y el 80% en conductos de forma ovalada después de usar diferentes técnicas de instrumentación (Paqué F, *et al*, 2009).

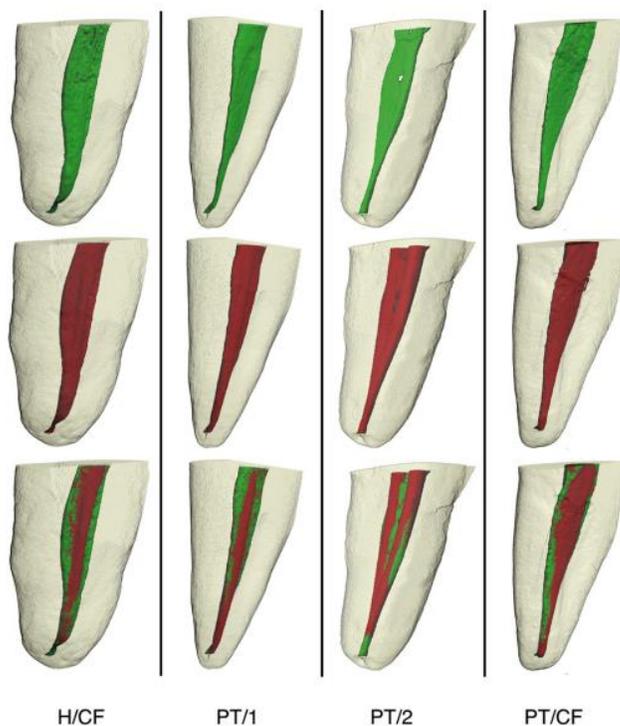


Fig. 22: Panel con modelos reconstruidos de raíces distales de molares mandibulares. El color verde indica superficies preoperatorias (fila superior), superficies postoperatorias indicadas en color rojo (fila central). La superposición (fila inferior) ilustra la cantidad y la localización de áreas no instrumentadas. Las raíces se muestran desde el aspecto proximal. Imagen obtenida del artículo de : Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. J Endod. 2010 Apr;36(4):703-7. doi: 10.1016/j.joen.2009.12.020. PMID: 20307747.

4.14 Preparación biomecánica

Uno de los objetivos más importantes de la terapia endodóntica es la preparación químico-mecánica satisfactoria del sistema de conductos radiculares. Esta fase es realizada con instrumentos endodónticos y soluciones irrigadoras que promueven la limpieza de las paredes del conducto removiendo materia orgánica e inorgánica. Los términos *cleaning and shaping* (limpieza y conformación), sinónimos de preparación químico-mecánica, resaltan que la fase de instrumentación no implica solamente remoción de tejido pulpar, material orgánico de la dentina infectada y de la capa residual (*smear layer*), sino también una adecuada preparación de las paredes internas, requisito necesario para las etapas del tratamiento posterior a la instrumentación (Lima,2019).

La preparación quimiomecánica es de suma importancia para la desinfección del conducto radicular porque los instrumentos y los irrigantes actúan principalmente sobre el conducto principal, que es el área más voluminosa del sistema y, en consecuencia, alberga el mayor número de células bacterianas (Siqueira et al, 2008).

Estudios han demostrado que más del 90% de la eliminación de bacterias del conducto radicular se promueve mediante la acción mecánica de los instrumentos (Machado et al. 2013, Nabeshima et al. 2014, Machado et al. 2017).

Es esencial eliminar todos los tejidos pulpares, restos de dentina y microorganismos viables del sistema de conductos radiculares durante el tratamiento de endodoncia. Dado que las bacterias y sus subproductos son los factores causantes de la inflamación pulpar y perirradicular, su eliminación es vital para el éxito del tratamiento endodóntico. Si no se eliminan eficazmente, se podría producir una inflamación persistente y un deterioro de la cicatrización (Eddy et al. 2005).

Es probable que las bacterias ubicadas en ramificaciones, istmos y otras irregularidades escapen de los efectos de los instrumentos (debido a limitaciones físicas) y de irrigantes (debido a limitaciones de tiempo) utilizados durante los procedimientos quimiomecánicos (Nair et al, 2005).

Varios autores han demostrado que durante la instrumentación existe un alto índice de áreas no tocadas por los instrumentos endodónticos debido a la complejidad de la anatomía de los conductos radiculares, y que cuando se trata de conductos estrechos y/o curvos preparados con instrumentos de acero inoxidable que son considerablemente rígidos, aumenta el riesgo de fractura del instrumento, pudiendo causar transporte del foramen y perforación; muchas veces ocasionando el fracaso de la terapia endodóntica por una limpieza ineficiente. (Davis et al, 1972); (Joviano et al, 2015).

4.15 Aleación de níquel titanio en endodoncia

Nitinol (Nickel – Titanium Naval Ordnance Laboratory) es una aleación de Níquel y Titanio que fue descubierta por William J. Buchler en 1963, compuesta por un 55% de Níquel y 45% de Titanio, tiene la propiedad de tener memoria de forma o SMA (Shape Memory Alloy) además de tener una alta elasticidad y resistente a la corrosión (Civjan et al. 1975, Walia et al. 1988).

La aleación de níquel-titanio se desarrolló originalmente para el programa espacial de EE. UU. En el Laboratorio de Artillería Naval, en 1963, y recibió el nombre genérico de "Nitinol". En odontología, fue utilizada por primera vez en 1971 por Andreasen y Hilleman, en la fabricación de alambres de ortodoncia, debido a su bajo módulo de elasticidad, efecto de memoria de forma y superflexibilidad. Específicamente en endodoncia, Civjan et al. fueron los primeros en conceptualizar la fabricación de instrumentos endodónticos a partir de aleaciones NiTi, en 1975. Posteriormente, en 1988, Walia, Brantley y Gerstein introdujeron los primeros instrumentos endodónticos NiTi de mano, hechos por alambre de ortodoncia (Markus et al, 2013).

4.15.1 Propiedades

Los instrumentos endodónticos conformados de aleaciones de NiTi han sido sometidos a diversos estudios con la finalidad de descubrir sus propiedades y características, presentan propiedades físicas buenas como gran flexibilidad, resistencia a la fractura por torsión aceptable, buena capacidad de corte, memoria de forma (Canalda S y Brau A, 2001).

Las propiedades más destacadas de esta aleación se describen a continuación:

Memoria de forma: se refiere a la capacidad que poseen ciertos materiales para poder “recordar” su forma inicial aún después de sufrir severas deformaciones, al ser calentados retornarán espontáneamente a su forma original (De La Flor López S,2005).

Las limas de Níquel-Titanio tienen la capacidad de deformarse de manera reversible ante la presencia de alguna presión, sin embargo, cuando la fuerza supera su límite elástico, se deforma de manera irreversible. Esta característica se debe a que este tipo de aleaciones poseen dos formas cristalográficas: austenita y martensita. Cuando se aplica estrés al instrumento con componentes de presión y calor se produce la transformación de la fase austenita en martensita (Canalda S y Brau A, 2001).

La fase austenita está presente cuando el instrumento se encuentra en reposo, mientras que pasa a la fase martensita cuando es sometido a estrés; en este punto tiende a ser más susceptible a sufrir fractura o modificar su superficie de manera permanente, por lo que se considera que poseen mayor tendencia a separarse que las limas de acero inoxidable (Berutti E, et al.,2004).

Superelasticidad: se presenta cuando el Nitinol es deformado mecánicamente a una temperatura determinada y una vez que el esfuerzo es retirado la transformación se invierte y el material recupera su forma original (Ochoa G y Rojas A, 2006).

Esta propiedad hace que los instrumentos sean más flexibles que los de acero inoxidable, sin exceder su límite de elasticidad, permitiendo así una mejor instrumentación de los conductos radiculares curvos, como también minimizando el transporte del foramen (Leonardo MR y Leonardo RdT, 2002).

Resistencia a la deformación: es la fuerza que tiene como finalidad estirar el alambre contraído cuando ya se ha enfriado. Esta representa una sexta parte de la fuerza que se emplea cuando la aleación se contrae (De La Flor López S,2005).

Módulo de elasticidad: representa la tenacidad y rigidez del material. Mientras mayor es el valor, más rígida la aleación. Los materiales con valores bajos son más elásticos. Los instrumentos fabricados a partir de la aleación de níquel titanio tienen un bajo módulo de elasticidad, lo que les permite reducir la posibilidad de producir deformaciones de los conductos, especialmente los que presentan curvaturas (Kum KY, et al.,2000).

4.16 Tipo de movimiento

Diversas técnicas para la conformación del sistema radicular con instrumentación rotatoria de níquel titanio y diferentes cinemáticas han avanzado para mantener la forma original del conducto radicular y sobretodo mantenerlo centrado. Los tipos de movimiento en instrumentación NiTi activadas por motor se dividen en dos: movimiento rotatorio y movimiento reciprocante.

Las limas endodónticas rotatorias y reciprocantes son útiles y seguras para la conformación del conducto radicular, permitiendo la eficiencia de la preparación. Con los avances en la tecnología, los instrumentos endodónticos, el día de hoy se desarrollan en una gran variedad de diferentes diseños y costos (Capar et al., 2014a, b).

El movimiento rotatorio es utilizado durante el tratamiento de conductos con 15 instrumentos NiTi, los cuales son elaborados con el objetivo de proveer más rapidez y una preparación más consistente con menos errores de procedimiento. La cinemática de los instrumentos rotatorios es una continua rotación y por lo tanto simple de describir, con una velocidad de rotación en rotaciones por minuto (Fidler, 2014).

En 2007, Ghassan Yared introdujo el movimiento de reciprocidad con el concepto de fuerzas balanceadas y se mostró de forma efectiva en la preparación del conducto radicular usando 1 sólo instrumento. Este movimiento de reciprocidad es similar a las fuerzas balanceadas porque su ángulo antihorario es mayor que su movimiento de corte en sentido horario y esto le permite al instrumento dirigirse al ápice continuamente (Fruchi et al., 2014).

El sistema de instrumentación reciprocante, Reciproc, tiene un corte antihorario y horario que se describen apropiadamente como de 150 y 30 grados (Hwang et al., 2014). Los fabricantes aseguran que el movimiento reciprocante reduce el estrés torsional que se acumula periódicamente durante la conformación del conducto, y esto es gracias al movimiento de regreso o movimiento antihorario que tiene el instrumento en el movimiento de reciprocidad, esto lo hace permanecer dentro del límite plástico permitido de la lima y alargar la vida cíclica del instrumento (Plotino et al., 2014).

4.17 Aleación de níquel titanio tratadas termomecánicamente

A principios del 2000 una serie de estudios encontraron que por medio de calor se puede modificar el comportamiento de la aleación NiTi, incrementando su flexibilidad (Shen et al, 2013). Así, alterando microestructuralmente sus propiedades mecánicas se consiguen propiedades muy superiores al NiTi convencional. Este proceso termomecánico abarca el endurecimiento y el tratamiento térmico del material en un solo proceso. En reposo, estos instrumentos se encuentran en fase austenita, mientras que, al estar en movimiento rotatorio o reciprocante durante el uso clínico, presentan una deformación conocida como martensita, la cual es susceptible a la fractura o a la deformación (Shen et al, 2013); (Testarelli et al, 2011).

Recientemente, el tratamiento de las aleaciones de NiTi, que son: memoria controlada (CM Wire; DS Dental, Johnson City, TN), M-Wire (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK) y Fase-R (SybronEndo, Orange, CA) se han utilizado para modificar las propiedades mecánicas de estos materiales. El procesamiento termomecánico es usado frecuentemente para optimizar la microestructura y el comportamiento de la transformación de la aleación, que como resultado tiene mejor influencia en las propiedades mecánicas de los instrumentos NiTi (Hieawy et al, 2015).

Los estudios han demostrado que, a pesar de la flexibilidad, la resistencia a la torsión y la memoria elástica de los instrumentos de NiTi, todavía dejan un porcentaje significativo de la superficie de los conductos intactos. Esto se debe principalmente a las características anatómicas de los conductos radiculares, como curvaturas, istmos y ramificaciones, que dificultan el desempeño del instrumento y pueden dejar restos de tejido y bacterias (Wu y Wesselink. 2001, Barbizam et al. 2002, Fariniuk et al. 2003, Ricucci y Bergenholtz. 2003, Baratto-Filho F et al. 2004, Peters, 2004, Paqué et al. 2009, Metzger, et al. 2010).

y por esta razón, los investigadores y las empresas de materiales se han involucrado en una carrera constante para obtener la aleación perfecta y el diseño del instrumento perfecto para limpiar anatomías difíciles con una preparación mínimamente invasiva y preservar la mayor cantidad de dentina posible (Peters et al. 2001, Shen et al. 2013, Metzger, et al. 2010, Gluskin et al. 2014).

4.18. BlueShaper (Zarc4endo, Gijón-Spain)

Recientemente, en el año 2020 surgen los instrumentos BlueShaper (Zarc4endo, Gijón-Spain), que se caracterizan por presentar dos aleaciones: pink y blue, permitiendo combinar las principales características de estos materiales, dando resistencia a la torsión al primer instrumento (Z1), y presentando una gran flexibilidad y control de memoria de forma para los demás instrumentos (Z2-Z3-Z4) (Dakota del Norte;2021).



Fig. 23: Sistema de limas BlueShaper. Autor: (Zarc4endo, Gijón-Spain) imagen obtenida de: <https://www.zarc4endo.com/producto/limas-blueshaper/>

4.18.1 Características clínicas

Rendimiento garantizado en todas las situaciones.

Respeto de la anatomía original incluso en conductos con gran curvatura.

Accesibilidad y comodidad incluso en dientes posteriores.

La doble aleación de BlueShaper® aporta unos resultados predecibles por haber sido desarrollada por odontólogos para odontólogos.

BlueShaper® crea de manera más eficiente y suave la forma cónica del conducto, aportando nuevas ventajas: máxima flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica con un sistema de limas completo, sin modificar su dinámica de trabajo.

La sección convexa y la conicidad progresiva mejora la eficacia de corte, reduciendo la fricción entre la lima y la dentina.

	MFD	TAPER	Ø
Z1	0,90	2-10%	0,14
Z2	0,90	2-10%	0,17
Z3	0,88	5-6%	0,19
Z4	0,91	5-6%	0,25

Fig. 24: Sistema de limas BlueShaper. Autor: (Zarc4endo, Gijón-Spain) imagen obtenida de: <https://www.zarc4endo.com/producto/limas-blueshaper/>



Fig. 25: Características clínicas de lima BlueShaper imagen obtenida de: <https://www.zarc4endo.com/producto/limas-blueshaper/>

4.18.3 Mayor resistencia a la fatiga cíclica.

BlueShaper® aporta una mayor resistencia a la fatiga cíclica que otros sistemas, lo cual representa una ventaja fundamental, al ser la fatiga cíclica la responsable de la rotura de la lima. BlueShaper®, por su avanzada doble metalurgia, ofrece una mayor eficacia clínica con mayor sencillez y seguridad.

4.18.4 Ventajas:

Único sistema con doble aleación.

Máxima flexibilidad.

Resistente a la fatiga cíclica.

Gran poder de torsión.

4.18.5 Revoluciones de trabajo y torque:

Z-Glider - 350 rpm y Torque 2 Ncm

Z1-Z2-ZX - 500 rpm y Torque 4 Ncm

Z3-Z7 - 350 rpm y Torque 4 Ncm

4.18.6 Secuencia y técnica de uso de BlueShaper®

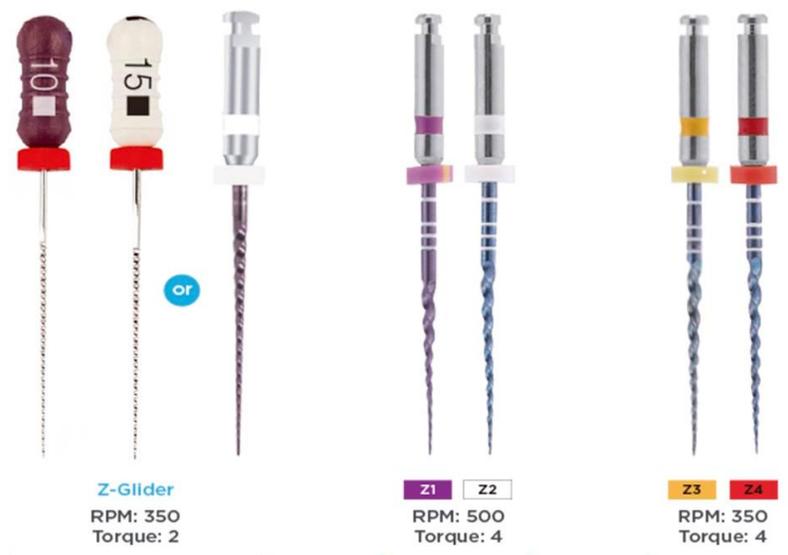


Fig. 26: Secuencia de uso de las limas BlueShaper imagen obtenida de:
<https://www.zarc4endo.com/producto/limas-blueshaper/>

4.19. Sistema Rotatorio TruNatomy™

Las limas rotatorias TruNatomy es un nuevo sistema desarrollado por los endodoncistas George Bruder y Ove Peters para Dentsply Sirona (Fig. 27).



Figura. 27. Sistema TruNatomy Autor Dentsply. Imagen obtenida de: <https://www.dentsplysironachile.cl/producto/trunatomy/>

TruNatomy combina la precisión suiza con ingeniería avanzada para un respeto absoluto de la anatomía del diente. La familia TruNatomy está formada por una serie de limas que pretenden acompañar al endodoncista durante todo el proceso:

Orifice Modifier TruNatomy, de 16 mm, es perfecto para preparar el acceso preservando la anatomía coronal gracias a su flexibilidad, diámetro y aleación NiTi. También se recomienda en casos en los que el conducto no está orientado verticalmente ya que permite acceder al diente desde diferentes ángulos.

TruNatomy Glider facilita la creación de una vía de deslizamiento o vía de deslizamiento efectiva sin necesidad de aplicar demasiada presión.

TruNatomy son limas de conformación con un diseño del alambre más delgado (0,8 mm en vez de 1,2 mm) y una sección transversal descendente que proporciona una mayor flexibilidad para que la lima se curva previamente si es necesario. Están disponibles en tres tamaños: pequeño, prime y mediano (Fig. 28).



Figura. 28. Sistema TruNatomy Autor Dentsply. Imagen obtenida de <https://www.dentsplysironachile.cl/producto/trunatomy/>

Estas limas proporcionan una mayor seguridad y un menor riesgo de rotura gracias a su flexibilidad y resistencia a la fatiga cíclica. Además, ahorran tiempo al endodoncista ya que requiere menos tiempo de conformación que puede ser empleado en irrigación.

Las principales ventajas que ofrece el sistema TruNatomy son:

Suave sensación durante la preparación del conducto.

Mejor desempeño y eficacia

Más espacio para desbridamiento y eliminación de barrillo dentinario.

Respeto de la anatomía natural del diente.

Preserva la estructura dental.

Las limas TruNatomy están disponibles en blíster de 6 unidades para su versión Orifice Modifier, Glider y limas de conformación y en las longitudes habituales (21, 25 y 31 mm). También existen blíster surtidos de limas TruNatomy con 5 limas en 21, 25 y 31 mm. Para aquellos que lo prefieran, existen secuencia de limas de conformación TruNatomy con 3 limas en 21, 25 y 31 mm (Fig. 29).



Figura. 29. Blister de 3 y 6 unidades Sistema TruNatomy Autor Dentsply.

4.19.1 Secuencia y técnica de uso de TruNatomy™

Estimar la longitud de trabajo mediante radiografías preoperatorias con el ángulo adecuado, como en 6.1.

Preparar una cavidad de acceso conservadora con tamaño suficiente para revelar todos los orificios del conducto radicular.

Explorar los 2/3 coronales de los conductos con una lima K de calibre 10 usando un lubricante como, por ejemplo, GLYDE™ FILE PREP, e irrigar el conducto.

Continuar con un TruNatomy™ Orifice Modifier a 500 rpm y 1,50 Ncm. Con irrigante en el conducto, avanzar el TruNatomy™ Orifice Modifier en 2 o 3 movimientos suaves de entre 2 y 5 mm dentro y fuera del conducto. Repetir hasta que el tercio coronal esté conformado. El instrumento tiene 7 mm de espiras cortantes que no deben sobrepasar el orificio del conducto. Irrigar el conducto y limpiar las espiras cortantes de manera rutinaria.

Explorar el conducto radicular completo con una lima K de calibre 10, determinar la longitud de trabajo (LT) mediante un localizador de ápice electrónico (LAE) en combinación con radiografías, irrigar y confirmar la permeabilidad.

Con irrigante en el conducto, crear y confirmar una vía de deslizamiento reproducible con TruNatomy™ Glider en 2 o 3 movimientos suaves de entre 2 y 5 mm. Irrigar y repetir hasta alcanzar la LT previamente confirmada con el LAE.

Comenzar a conformar SIEMPRE con la lima TruNatomy™ PRIME (500 rpm / 1,5 Ncm) de manera pasiva y en presencia de hipoclorito de sodio con no más de 2 o 3 movimientos suaves de entre 2 y 5 mm dentro y fuera del conducto. Irrigar y repetir las veces necesarias hasta alcanzar la LT. Al alcanzar dicha longitud, retirar la lima para evitar agrandar el foramen apical en exceso.

Irrigar el conducto de manera rutinaria y limpiar de restos las espiras cortantes de las limas al retirarlas.

Si la lima TruNatomy™ PRIME no avanza con facilidad, retirar, irrigar y recapitular con una lima K de calibre 10 para confirmar la permeabilidad del canal y pasar a la lima TruNatomy™ SMALL.

Inspeccionar las espiras cortantes de manera rutinaria al retirarlas para detectar partes estiradas o deformadas. Si se nota alguna deformación, descartar y emplear una nueva lima TruNatomy™.

Avanzar la lima TruNatomy™ SMALL de manera pasiva y en presencia de hipoclorito de sodio con no más de 2 o 3 movimientos suaves de entre 2 y 5 mm dentro y fuera del canal y retirar la lima. Irrigar y repetir las veces necesarias hasta alcanzar la LT con movimientos suaves/pasivos hacia dentro y hacia fuera (como se ha descrito antes) y después usar la lima TruNatomy™ PRIME hasta la longitud de trabajo para optimizar la forma*. Al alcanzar dicha longitud, retirar la lima para evitar agrandar el foramen apical en exceso.

Una vez confirmada la forma, continúe con los protocolos de desinfección 3-D.

4.20. Sistema rotatorio HyFlex EDM

Las nuevas limas HyFlex EDM constituyen la 5.^a generación de limas endodóncicas. Las limas de NiTi HyFlex EDM tienen propiedades totalmente nuevas gracias a su innovador proceso de fabricación con mecanizado por descarga eléctrica o EDM.

Al entrar en contacto el material de base y la herramienta eléctrica, se genera una potente descarga. Las chispas generadas durante este proceso hacen que la superficie del material se funda y se evapore. Así es como se crea la superficie única de las nuevas limas de NiTi HyFlex EDM, ahora más fuertes y resistentes a la rotura.

Esta combinación totalmente única de flexibilidad y resistencia a la rotura permite reducir el número de limas necesarias para la limpieza y el conformado durante las endodoncias sin comprometer la conservación de la anatomía del canal radicular. Al igual que las limas HyFlex CM, las HyFlex EDM cuentan con el conocido efecto de memoria controlada o CM. De esta forma se obtienen unas propiedades muy similares en cuanto a regeneración y flexibilidad del material (Fig.30).

EDM OneFile HyFlex at a Glance

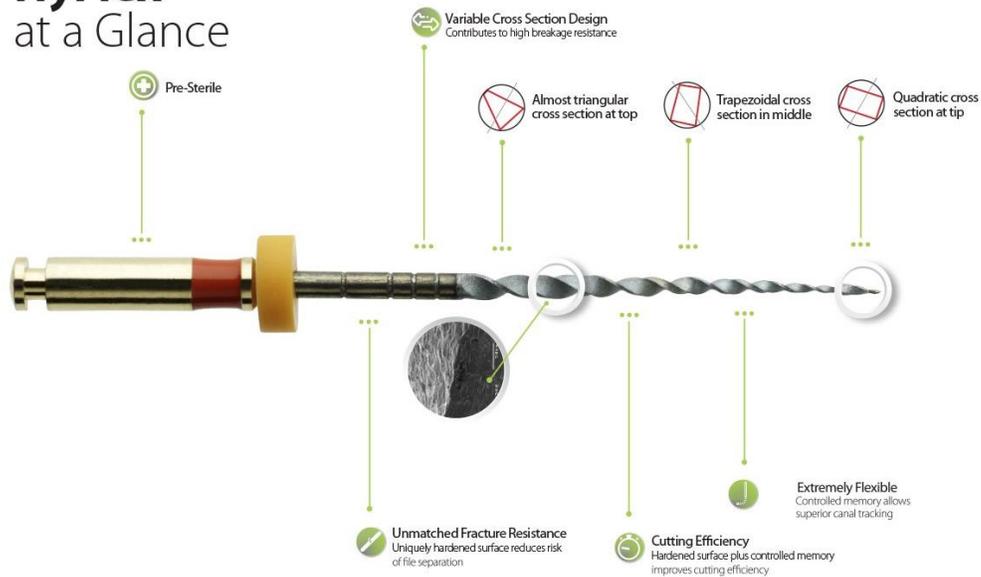


Figura. 30. Sistema HYFLEX EDM Autor. COLTENE <https://global.coltene.com/products/hyflex-rotary-files>

4.20.1 Secuencia y técnica de uso HyFlex EDM

Según la situación clínica, el uso de las limas HyFlex EDM se reduce a 2-3 limas, especialmente en los canales rectos y más grandes (Fig. 31).

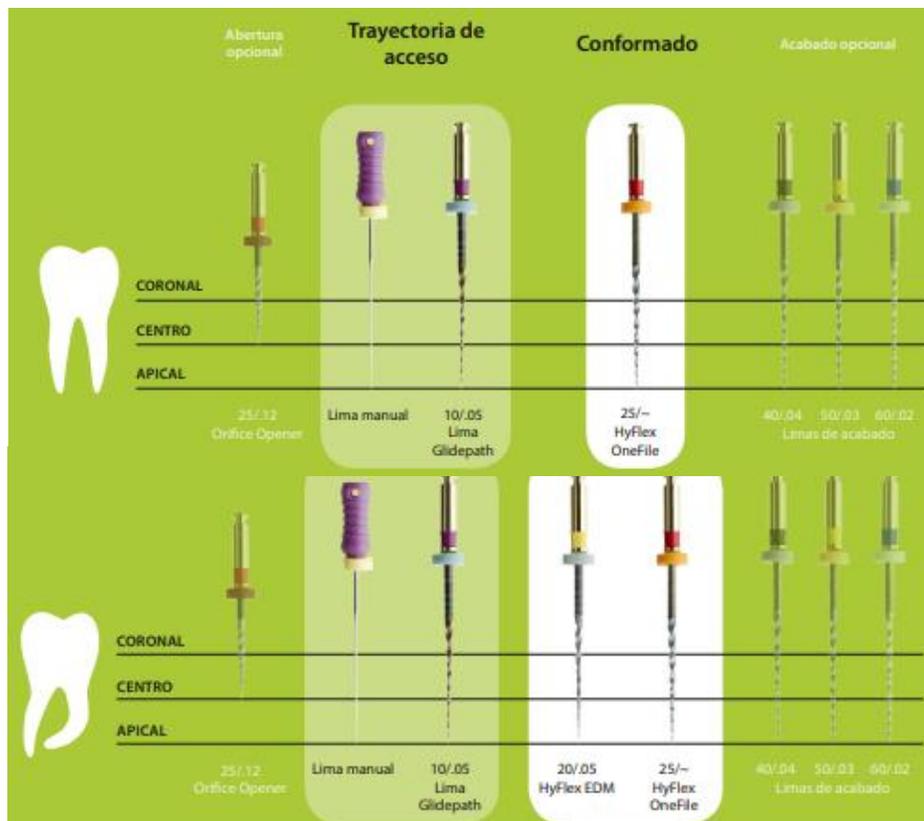


Figura. 31. Técnica de uso de HYFLEX EDM Autor. COLTENE <https://global.coltene.com/products/hyflex-rotary-files>

4.20.2 Velocidad y torque de HyFlex EDM

Todas las limas de NiTi HyFlex EDM se pueden utilizar a 400 rpm y con un torque de hasta 2,5 Ncm (25 mNm), a excepción de las limas Glidepath, que se pueden utilizar a 300 rpm y con un par de apriete de hasta 1,8 Ncm (18 mNm).

4.20.3 Regeneración mediante tratamiento térmico

La memoria de forma incorporada de las limas HyFlex EDM evita el estrés durante la preparación del conducto al cambiar su forma en espiral. Un proceso normal de esterilización en autoclave "es suficiente para devolver las limas a su forma original y resistencia a la fatiga. Si la lima no recupera su forma después del tratamiento térmico, aumenta el riesgo de fractura y la lima no debe usarse después de la inspección visual (Fig. 32).



Figura. 32. Regeneración mediante calor HYFLEX EDM Autor. COLTENE [https://global.coltene.com › products › hyflex-rotary-files](https://global.coltene.com/products/hyflex-rotary-files)

4.21 Sistema rotatorio DC-Taper H

(SS White Dental, New Jersey)

Las limas V-Taper 2H, ahora conocidas como DC Taper H, están diseñadas para proporcionar mayor seguridad y flexibilidad dentro del conducto sin alterar su anatomía, especialmente la dentina pericervical, y favorecen la irrigación y obturación tridimensional. Cada lima es tratada en fábrica con un tratamiento de calor especial que la hace más flexible. Este sistema mejorado facilita la conformación del conducto de manera más fácil y segura:

La forma apical crea un mejor acceso para la irrigación, la limpieza y la obturación 3D.

El diseño de conicidad variable preserva la dentina.

Solo es necesario el uso de una a dos limas por cada caso clínico lo que supone ahorro de tiempo y coste.

4.21.1 Características de diseño

El instrumento está compuesto por un vástago, una montura con anillo de color, y la parte activa. El instrumento (Fig.33) V-Taper 2H tiene una punta no cortante, un eje reducido, conicidad variable, un pitch variable, una sección transversal triangular y un ángulo helicoidal variable.

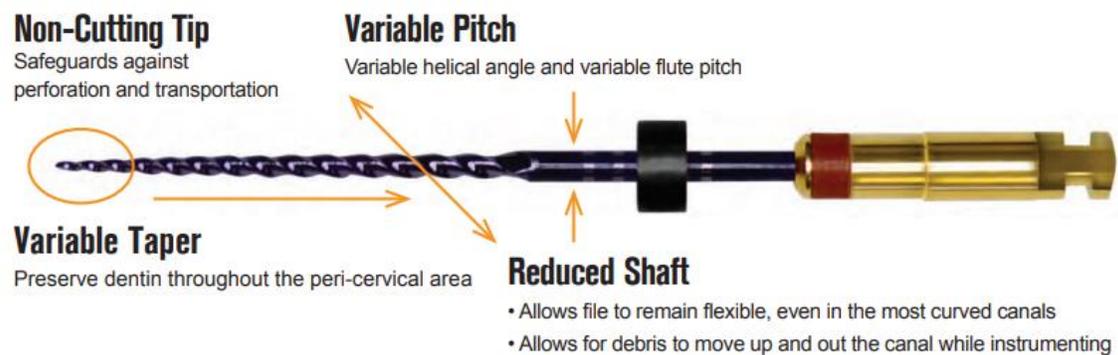


Figura 33: características del diseño. Autor SS White Dental, New Jersey.

4.21.2 Núcleo fuerte y flexible

El núcleo de las limas es fuerte y flexible, incluso frente a otras marcas, para alcanzar una alta flexibilidad dentro del conducto, incluso en aquellos que son curvos. Protege también contra la separación (Fig.34 y 35).



Figura 34: Lima rotatoria V-Taper 2H. Autor SS White Dental, New Jersey.



Figura 35. Sección transversal de Lima rotatoria V-Taper 2H. Autor SS White Dental, New Jersey.

4.21.3 Conicidad variable

Las limas rotatorias V-Taper 2H han sido pensadas para tener una conicidad variable que favorezca el respeto por la anatomía del conducto sin modificarlo o alterarlo. La punta de la lima tiene una conicidad decreciente en forma de V que va de punta a eje (fig. 36).

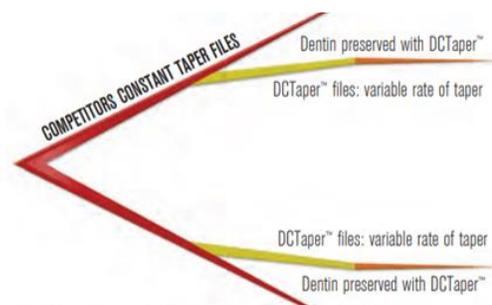


Figura 36. Punta de Lima rotatoria V-Taper 2H. Autor SS White Dental, New Jersey.

Su diseño anatómico preserva la dentina pericervical para mantener la forma natural del conducto. Disponibles en varias conicidades y en longitudes 21, 25 y 31 mm. Los Blisters no son estériles y están disponibles en 3 o 6 unidades (fig. 37-38).



Figura 36: Blisters en 6 unidades.



Figura 38: Blisters en 3 unidades.

4.21.4 Secuencia y técnica de uso de DC-Taper H (FIG.39)

Se recomiendan 3-4 usos. Realizar inspección visual de los instrumentos cada que se utilizan y considerar la dificultad de cada caso para calcular aproximadamente la fatiga.

Realizar el Glide Path con limas manuales (#'s 6, 8, 10, 15), de acuerdo con cada caso.

En caso necesario realizar apertura del orificio del conducto radicular con fresas Endo Guide no. 2 (baja velocidad y conservadoras de dentina) o abridores de orificios V-Taper 2H.

Irrigación con NAOCL, alternando con EDTA o equivalente en caso necesario, en cada paso de la instrumentación y recapitulación.

Uso de lubricante en cada lima V-Taper 2H.

Usar V-Taper 2H secuencialmente hasta el largo de trabajo y ampliar el conducto hasta el numero deseado, de acuerdo con la anatomía y necesidades de cada caso.

Permitir a las limas V-Taper 2H avanzar por sí solas sin empujar o “ayudarlas” durante la instrumentación del conducto.

Limpiar las limas constantemente, para incrementar su capacidad de remoción.



Figura: 39 Secuencia y técnica de uso de DC-Taper H: White Dental, New Jersey.

4.21.5 Velocidad y Torque

La velocidad recomendada es de 150 a 400 rpm.

El límite del torque es 450 g / cm (4,4 N / cm).

4.22. Análisis de Micro-CT

Un método no destructivo introducido recientemente para evaluar los cambios en la geometría del conducto radicular después del tratamiento endodóntico con más detalle es mediante el uso de microtomografía computarizada (micro-CT). Este procedimiento analítico permite la evaluación tridimensional de la geometría del conducto radicular, antes y después de la preparación. Además, la técnica produce una gran cantidad de datos métricos exactos (Peters et al. 2000). La evaluación de la superficie de las paredes del conducto instrumentado que entra en contacto con las limas rotatorias se puede medir con precisión utilizando un escaneo tridimensional micro-CT. El análisis de micro-TC se considera actualmente el estándar de oro, que permite un análisis no invasivo de los cambios en la morfología del conducto, el área de superficie y el volumen y la identificación de áreas no instrumentadas (Versiani et al. 2013, Guimaraes et al. 2017, Bayram et al. 2017, Peters et al. 2000).

Los estudios de microtomografía computarizada (micro-CT) han demostrado que un área sustancial de las paredes dentinarias en los conductos radiculares de forma ovalada permanece intacta después de la preparación, lo que representa un desafío para los protocolos establecidos de preparación del conducto radicular (Paqué et al. 2010, Paqué & Peters 2011, Versiani et al. 2013, De-Deus et al. 2015).

5. MÉTODOS

5.1 Descripción de procedimientos.

Los primeros premolares mandibulares ($n = 60$) se seleccionaron de dientes extraídos almacenados por razones no relacionadas con este estudio. Se tomaron radiografías a los dientes en dirección vestibulolingual y mesiodistalmente. Solo aquellos con clasificación tipo I de Vertucci que midieron el doble del diámetro del conducto vestibulolingual (evaluado en la radiografía mesiodistalmente) a 5 mm del vértice fueron seleccionados.

Cada raíz se inspecciono bajo un microscopio quirúrgico con un aumento de 1.6 X para verificar que los ápices estuvieran completamente formados y que las superficies de las raíces estuvieran libres de grietas o reabsorción.

Los dientes se sometieron a un escaneo preoperatorio en el SkyScan 1174v2; El dispositivo Bruker-micro CT y las muestras se emparejaron en 4 grupos en función de la configuración anatómica del conducto radicular evaluada mediante imágenes de micro-CT. Una vez establecidos los grupos, se utilizó una designación aleatoria para definir qué grupo de dientes se trataría con cada uno de los siguientes sistemas: Blue Shaper TruNatomy, HyFlex EDM o DC-Taper H.

La preparación se inició con una ruta de deslizamiento establecida para todos los grupos hasta la lima K # 15 posterior a ello se utilizó las limas del estudio de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Los modelos de conductos radiculares tridimensionales (3D) se reconstruyeron sobre la base de Micro - CT, y el análisis de los datos se realizó y analizo a través de un software especializado con el fin de cuantificar los cambios producidos en la geometría del conducto en términos de superficie, volumen, espesor de la estructura, índice de convexidad de la superficie, índice del modelo de estructura, porcentaje de superficie tocada y centroide.

5.1.1. Procedimientos quimiomecánicos

Se utilizo una lima K # 15 para explorar los conductos radiculares hasta que se observó la punta del instrumento en el foramen apical utilizando un microscopio quirúrgico. Esta medida se registró como longitud de permeabilidad y la longitud de trabajo (WL) se estableció 1 mm menos. La raíz se envolvió en una gasa humedecida y se sujetó a un tornillo de banco para obtener una estabilización durante los pasos de preparación.

5.1.2. Grupo DC Taper H

Se instrumentaron los conductos de forma manual con limas k #15. El primer instrumento rotatorio que se utilizó fue Orifice Opener seguido de la lima 14.03 hasta la longitud de trabajo, haciendo movimientos de cepillado y sin presión. Tan pronto se obtuvo la longitud de trabajo se utilizó el instrumento 17.04 y así sucesivamente con los instrumentos hasta la lima 25.06. En el cual se realizó un segundo escaneo y posteriormente se instrumentó a una lima 30 .06. Se trabajó con el motor X-SMART PLUS. Durante la instrumentación, entre cada instrumento se irrigo con NaOCl al 2.5% a tres milímetros antes de la longitud de trabajo con una jeringa EndoEze calibre 27 para limpiar los restos de dentina y se verificó con una lima k #15 la patenticidad del conducto hasta su longitud de trabajo. Todos los conductos fueron instrumentados por el mismo operador y siguiendo las indicaciones del fabricante.

En todos los dientes se utilizó como irrigación final 5 ml de NaOCL al 2.5%.

5.1.3. Grupo BlueShaper

Se instrumentaron los conductos de forma manual con limas k #15. El primer instrumento rotatorio que se utilizó fue el abridor ZX seguido del instrumento Z1 hasta la longitud de trabajo, haciendo movimientos de cepillado y sin presión. Tan pronto se obtenga la longitud de trabajo se utilizó el instrumento Z2 y Z3 en el cual se realizó un segundo escaneo y posteriormente se finalizó la instrumentación con la lima Z4 en todos los conductos. Se trabajó con el motor X-SMART PLUS. Durante la instrumentación, entre cada instrumento se irrigo con NaOCl al 2.5% a tres milímetros antes de la longitud de trabajo con una jeringa EndoEze calibre 27 para limpiar los restos de dentina y se verificó con una lima k #15 la patenticidad del conducto hasta su longitud de trabajo. Todos los conductos fueron instrumentados por el mismo operador y siguiendo las indicaciones del fabricante.

En todos los dientes se utilizó como irrigación final 5 ml de NaOCL al 2.5%.

5.1.4. Grupo TruNatomy

Se instrumentaron los conductos de forma manual con limas k #15. El primer instrumento rotatorio que se utilizó fue el abridor Orifice Modifier seguido del instrumento TruNatomy Glider hasta la longitud de trabajo, haciendo movimientos de cepillado y sin presión. Tan pronto se obtuvo la longitud de trabajo se utilizó el instrumento TruNatomy™ SMALL y se pasó a la lima TruNatomy™ PRIME, donde se realizó el segundo escaneo, posteriormente se terminó la instrumentación con la lima TruNatomy™ Medium 036 .03v. Se trabajó con el motor X-SMART PLUS. Durante la instrumentación, entre cada instrumento se irrigo con NaOCl al 2.5% a tres milímetros antes de la longitud de trabajo con una jeringa EndoEze calibre 27 para limpiar los restos de dentina y se verificó con una lima k #15 la patenticidad del conducto hasta su longitud de trabajo. Todos los conductos fueron instrumentados por el mismo operador y siguiendo las indicaciones del fabricante.

En todos los dientes se utilizó como irrigación final 5 ml de NaOCl al 2.5%.

5.1.5. Grupo HyFlex EDM

Se instrumentaron los conductos de forma manual con limas k #15. El primer instrumento rotatorio que se utilizó fue el abridor 25/.12 (Orifice Opener) seguido del instrumento Glider Path File 10/.05 hasta la longitud de trabajo, haciendo movimientos de cepillado y sin presión. Tan pronto se obtuvo la longitud de trabajo se utilizó el instrumento 25 /- HyFlex OneFile. Solo se realizó un escaneo debido a que el sistema HyFlex EDM cuenta con lima única. Se trabajó con el motor X-SMART PLUS . Durante la instrumentación, entre cada instrumento se irrigo con NaOCl al 2.5% a tres milímetros antes de la longitud de trabajo con una jeringa EndoEze calibre 27 para limpiar los restos de dentina y se verificó con una lima k #15 la patenticidad del conducto hasta su longitud de trabajo. Todos los conductos fueron instrumentados por el mismo operador y siguiendo las indicaciones del fabricante.

En todos los dientes se utilizó como irrigación final 5 ml de NaOCl al 2.5%.

5.2. Evaluación por Micro CT

Las muestras se montaron en un accesorio personalizado y la evaluación morfométrica del conducto radicular se realizó con un dispositivo micro-CT (SkyScan 1174v2; Bruker micro-CT, Kontich, Bélgica) con una resolución isotrópica de 16,29 μm , 50 Kv y 800 μA . El barrido se realizó mediante una rotación de 180° alrededor de los ejes verticales con un paso de rotación de 1° utilizando filtros de aluminio de 0.5 mm de espesor. Después de este primer análisis de micro-CT, los dientes se distribuyeron en 4 grupos según similitudes anatómicas y de volumen. Las imágenes de cada espécimen se reconstruyeron con el software NRecon 1.6.9 (Bruker micro-CT) proporcionando secciones transversales axiales de la muestra. Se utilizó el software CT vol v.2.2.1 (Bruker micro-CT) para crear los modelos tridimensionales (3D) para permitir la visualización de la estructura dental interior.

También se evaluó el índice de modelo de estructura (SMI), que es una medida de la convexidad de la superficie y, por lo tanto, un parámetro adecuado para evaluar los canales ovales. Los valores de SMI van de 0 a 4 y representan la forma del conducto radicular (0 corresponde a planos planos paralelos y 4 corresponde a una bola perfecta) (Versiani, et al, 2011). El transporte del canal se evaluó a partir de los centros de gravedad calculados para cada corte y conectados a lo largo del eje z con una línea ajustada utilizando XLSTAT-3DPlot para Windows (Addinsoft, Nueva York, NY). (Venino, et al, 2017). El transporte medio (en mm) se calculó comparando los centros de gravedad antes y después de la preparación de los segmentos coronal, medio y apical de los conductos radiculares.

Se empleó el software ImageJ 1.50d para calcular el área de la superficie del canal sin preparar mediante el cálculo del número de vóxeles estáticos, que se expresó como un porcentaje del número total de vóxeles en la superficie del canal. Se usó el software CTVol v.2.2.1 para definir un estándar codificado por colores para los modelos del canal radicular de la siguiente manera: se usó verde para la superficie del conducto pre-instrumentación, rojo para la penúltima lima maestra apical y azul para la lima maestra apical. Además, se utilizó el CTAN v1.12 para evaluar el grosor de la dentina en las paredes radiculares mesial y distal a nivel de la UCE y 3 mm apicalmente hasta este punto, antes y después de la preparación.

5.3 Análisis estadístico

Se confirmó la distribución normal de los datos (prueba de Shapiro-Will). Se usó la prueba t de muestras pareadas dentro de los grupos y el análisis de varianza de 1 vía entre grupos usando IB; Estadística SPSS 26 (SPSS Inc, Chicago, IL). La significancia se fijó en $\alpha=5\%$.

6. Resultados

Los resultados del análisis 2D y 3D, para todas las técnicas de instrumentación, se detallan en la Tabla 1.

6.1 Blue Shaper

Con respecto a la longitud total del conducto y la parte apical, el volumen y el área de superficie aumentaron significativamente después de la ampliación con cada tamaño de instrumento ($P < 0,05$). El número medio de áreas intactas, para la longitud total del conducto después de la preparación con lima 25/.05 y 29/.05 fue 38,23% y 32,78% respectivamente, y 40,54% y 29,48% en el segmento apical de 4 mm (Fig. 1). Hubo una reducción significativa en el número de áreas no preparadas después de cada aumento en el tamaño del instrumento, tanto para la longitud total del conducto como para los 4 mm apicales ($P < 0,05$).

La forma del conducto, como lo indica el SMI, fue de $2,20 \pm 0,42$ antes de la instrumentación y de $2,46 \pm 0,37$ después de la preparación con la lima 29/0,05, esta diferencia fue estadísticamente significativa ($P < 0,05$).

En la unión cemento-esmalte (UCE), así como 3 mm apicalmente hasta este punto, se observó una disminución significativa en el espesor de la dentina remanente, tanto en las paredes mesiales como distales, después de usar los instrumentos progresivamente más grandes ($P < 0,05$), excepto para pared mesial antes y después de instrumentación con lima 25/.05 en UCE ($P > .05$). El análisis estadístico no revela diferencias en los ejes x, y y z, antes y después de la instrumentación, lo que significa que no hubo transporte.

6.2 TruNatomy

Con respecto a la longitud total del conducto y la parte apical, el volumen y el área de superficie aumentaron significativamente después de la ampliación con cada tamaño de instrumento ($P < 0,05$). La cantidad media de áreas intactas, para la longitud total del conducto después de la preparación con lima 26/04 y 36/03 fue 52,14% y 28,28% respectivamente, y 47,24 y 21,80% en el segmento apical de 4 mm (Fig. 1).

Hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas después de cada aumento en el tamaño del instrumento, tanto para la longitud total del conducto como para los 4 mm apicales ($P < 0,05$).

La forma del conducto, como lo indica el SMI, fue de $2,18 \pm 0,62$ antes de la instrumentación y de $2,34 \pm 0,30$ después de la preparación con la lima 36/0,3, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0,05$).

También en la unión cemento-esmalte (UCE), 3 mm apicalmente hasta este punto, se observó una disminución significativa en el espesor de la dentina remanente, tanto en las paredes mesial como distal, después de usar los instrumentos progresivamente más grandes ($P < 0,05$). El análisis estadístico no revela diferencias en los ejes x, y y z, antes y después de la instrumentación, lo que significa que no hubo transporte.

6.3 DC Taper

Con respecto a la longitud total del conducto y la parte apical, el volumen y el área de la superficie aumentaron significativamente después de la ampliación con cada tamaño de instrumento ($P < 0,05$), excepto en la comparación entre la lima 25/0,6 versus la lima 30/0,6.

La cantidad media de áreas intactas, para la longitud total del conducto después de la preparación, con lima 25/0,6 y 30/0,6 fue 56,08% y 42,02% respectivamente, y para el segmento apical de 4 mm, 50,56% y 32,83% correspondientemente (Fig. 1). Hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas después de cada aumento en el tamaño del instrumento, tanto para la longitud total del conducto como para los 4 mm apicales ($P < 0,05$).

La forma del canal, según lo indicado por SMI, fue de $3,66 \pm 4,34$ antes de la instrumentación y de $3,71 \pm 4,38$ después de la preparación con la lima 30/0,6, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0,05$).

En la unión cemento-esmalte (UCE), así como en el segmento apical de 3 mm, se observó una disminución significativa en el espesor de la dentina remanente, tanto en las paredes mesial como distal, después de usar los instrumentos progresivamente más grandes ($P < 0,05$). El análisis estadístico no revela diferencias en los ejes x, y, z, antes y después de la instrumentación, lo que significa que no hubo transporte.

6.4 EDM HyFlex

Acerca de la longitud total del conducto y la parte apical, el volumen y el área de superficie aumentaron significativamente después de la ampliación con un tamaño de instrumento de 25 ($P < 0,05$). La cantidad media de áreas intactas para la longitud total del conducto después de la preparación con la lima 25 fue del 44,6 % y para el segmento apical de 4 mm del 39,07 % (Fig. 1). Hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas después del aumento en el tamaño del instrumento, tanto para la longitud total del canal como para los 4 mm apicales ($P < 0,05$).

La forma del conducto, según lo indicado por SMI, fue de $2,31 \pm 0,47$ antes de la instrumentación y de $2,33 \pm 0,43$ después de la preparación; esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($P > 0,05$).

En la unión cemento-esmalte (UCE), así como en el segmento apical de 3 mm, se observó una disminución significativa en el espesor de la dentina remanente, tanto en las paredes mesiales como distales, después de usar el instrumento de lima 25 ($P < 0,05$).

El análisis estadístico no revela diferencias en los ejes x, y y z, antes y después de la instrumentación, lo que significa que no hubo transporte.

6.5 Comparación intergrupal

Pre-instrumentación no hubo diferencias entre los grupos en volumen, área, conducto completo y 4 mm apical. Tampoco sobre SMI y espesor de dentina en la UCE y 3 mm apical hasta este punto ($p > .05$).

No se observaron diferencias significativas entre los 4 sistemas con respecto al volumen y área del conducto completo y apical, SMI, centros de gravedad y grosor de la dentina después de las preparaciones del canal radicular a pesar del tamaño de las limas ($P > 0,05$).

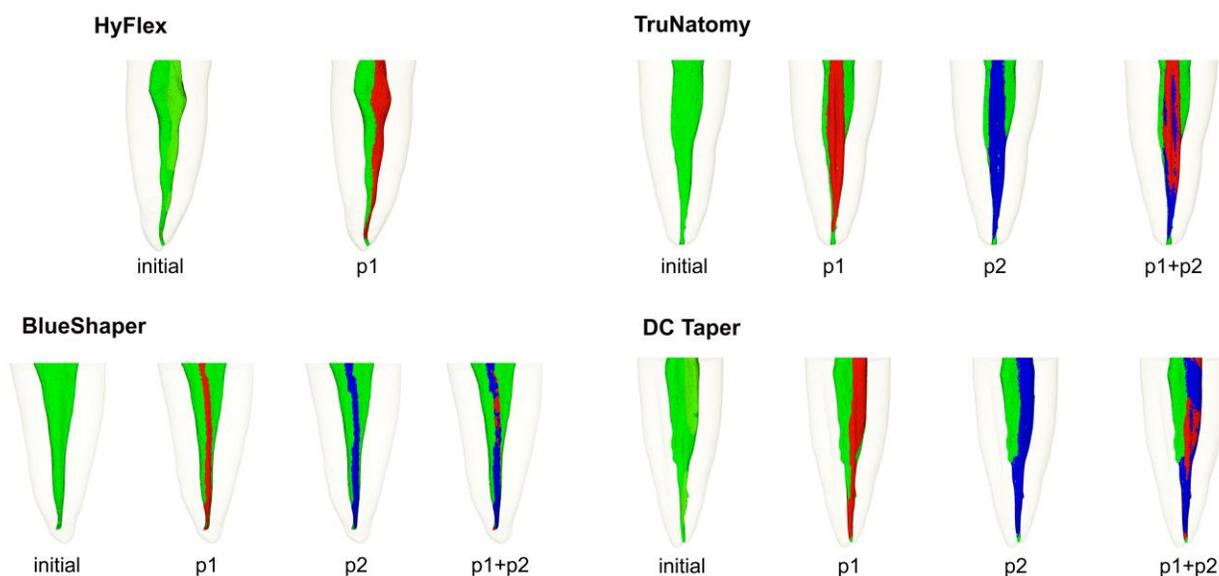


Figura. 1 Porcentaje de superficies no tocadas en el conducto total y parte apical. Donde se realizó un escaneo inicial (color verde), el segundo escaneo (rojo P1) donde se representa la superficie tocada por la lima 25 de cada sistema, un tercer escaneo (azul P2) donde se representa la lima 30 . P1+P2 representa la unión de todos los escaneos.

Table 1. Microcomputed tomographic analyses after preparation of oval root canals using four instrument systems. Data for the total root canal length (10 mm) and the apical segment (4 mm); expressed as mean \pm SD]

Data	Dc Taper	Blue Shaper	TruNatomy	Hyflex EDM
Total length (10 mm)				
Volume (mm³)				
Initial	9.14 \pm 3.75	7.08 \pm 3.66	8.45 \pm 4.62	11.11 \pm 4.88
After	9.68 \pm 3.65	8.27 \pm 3.20	9.16 \pm 4.45	11.37 \pm 4.94
Surface area (mm²)				
Initial	53.54 \pm 13.17	48.50 \pm 10.79	50.80 \pm 15.48	60.00 \pm 16.76
After	55.89 \pm 12.41	52.09 \pm 10.53	52.77 \pm 14.16	60.62 \pm 16.69
Unprepared area (%)				
Apical portion (4 mm)				
Volume (mm³)				
Initial	1.49 \pm 1.14	1.17 \pm 0.88	1.33 \pm 0.94	1.66 \pm 1.24
After	1.67 \pm 1.21	1.41 \pm 0.82	1.53 \pm 0.92	1.76 \pm 1.18
Surface area (mm²)				
Initial	13.39 \pm 5.41	11.70 \pm 4.35	12.41 \pm 4.99	14.66 \pm 6.70
After	14.15 \pm 5.06	12.93 \pm 3.99	13.34 \pm 4.60	15.16 \pm 6.45
Unprepared area (%)				
Dentin thickness (mm)				
At the CEJ				
Mesial canal wall				
Initial	1.45 \pm 0.24	1.42 \pm 0.10	1.39 \pm 0.17	1.53 \pm 0.26
Final	1.41 \pm 0.25	1.28 \pm 0.14	1.30 \pm 0.18	1.50 \pm 0.25
Distal canal wall				
Initial	1.45 \pm 0.15	1.41 \pm 0.15	1.41 \pm 0.16	1.49 \pm 0.24
Final	1.42 \pm 0.16	1.30 \pm 0.16	1.34 \pm 0.15	1.45 \pm 0.25
3mm below the CEJ				
Mesial canal wall				
Initial	1.12 \pm 0.17	1.16 \pm 0.12	1.15 \pm 0.14	1.20 \pm 0.21
Final	1.06 \pm 0.20	1.03 \pm 0.13	1.08 \pm 0.14	1.18 \pm 0.21
Distal canal wall				
Initial	1.19 \pm 0.21	1.15 \pm 0.14	1.18 \pm 0.12	1.20 \pm 0.25
Final	1.10 \pm 0.22	1.01 \pm 0.17	1.10 \pm 0.15	1.14 \pm 0.26

Tabla 2.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Full canal)

	Media	Desviación estándar	Error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes 10 mm (mm3)	7.08	3.66	0.98		
Volumen después (2) 25 10 mm (mm3)	7.85	3.22	0.86	-3.48	0.004
Volumen antes 10 mm (mm3)	7.08	3.66	0.98		
Volumen después (3) 30 10 mm (mm3)	8.27	3.20	0.85	-5.53	0.000
Área antes (1) 10 mm (mm2)	48.50	10.79	2.88		
Área después (2) 25 10 mm (mm2)	51.38	10.69	2.86	-3.20	0.007
Área antes (1) 10 mm (mm2)	48.50	10.79	2.88		
Área después (3) 30 10 mm (mm2)	52.09	10.53	2.81	-4.06	0.001
Área no tocada 10 mm (2/1) (%)	38.23	25.94	6.93	2.27	0.041
Área no tocada 10 mm (3/1) (%)	32.79	23.25	6.21		
SMI antes (1)	2.20	0.42	0.11		
SMI después (2) 25	2.32	0.45	0.12	-1.42	0.179
SMI antes (1)	2.20	0.42	0.11		
SMI después (3)30	2.46	0.37	0.10	-2.87	0.013

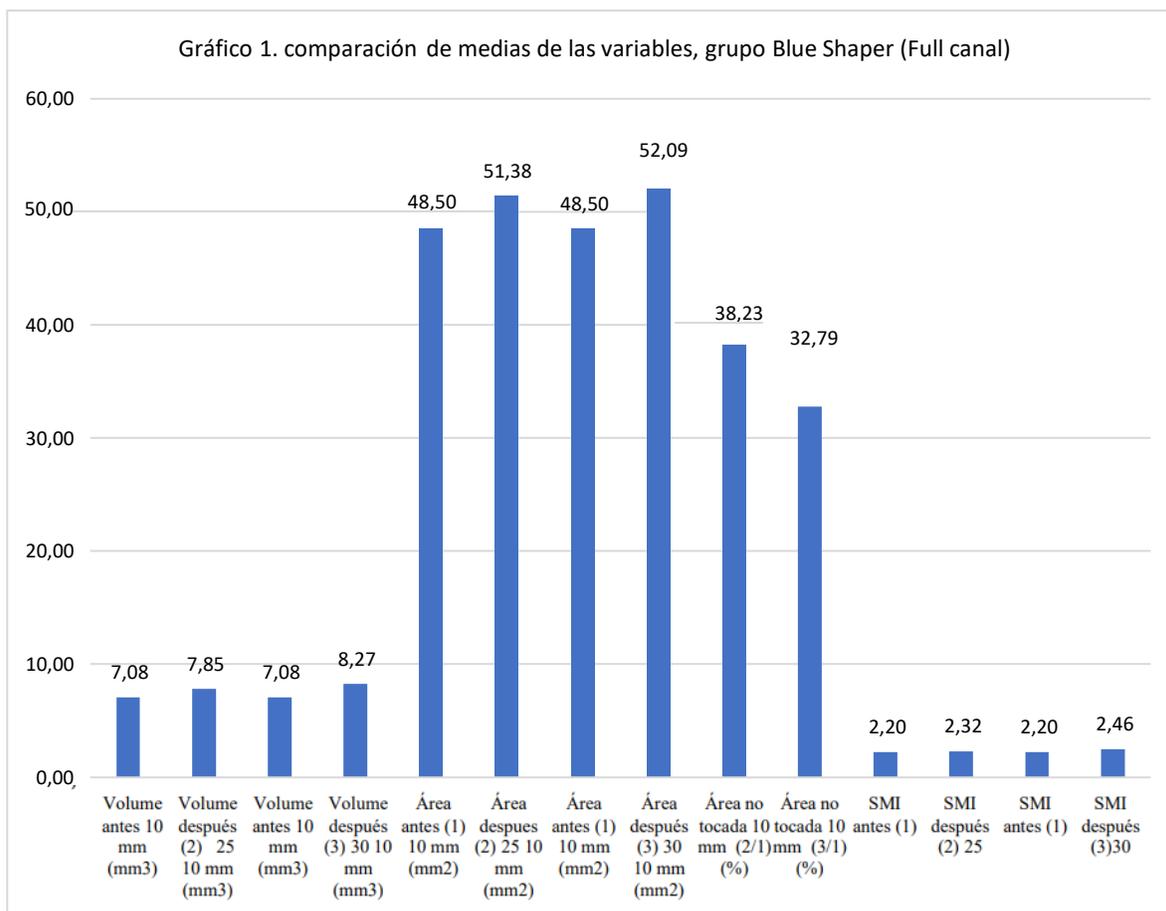


Tabla 3.
Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Full canal)

	Media	Desviación estándar	Error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes 10 mm (mm3)	8.45	4.62	1.23		
Volumen después (2) 25 10 mm (mm3)	8.77	4.56	1.22	-3.01	0.010
Volumen antes 10 mm (mm3)	8.45	4.62	1.23		
Volumen después (3) 30 10 mm (mm3)	9.16	4.45	1.19	-5.26	0.000
Área antes (1) 10 mm (mm2)	50.80	15.48	4.14		
Área después (2) 25 10 mm (mm2)	51.27	15.41	4.12	-2.25	0.043
Área antes (1) 10 mm (mm2)	50.80	15.48	4.14		
Área después (3) 30 10 mm (mm2)	52.77	14.16	3.79	-3.11	0.008
Área no tocada 10 mm (2/1) (%)	52.14	18.14	4.85		
Área no tocada 10 mm (3/1) (%)	28.28	10.30	2.75	3.53	0.004
SMI antes (1)	2.18	0.62	0.17		
SMI después (2) 25	2.44	0.28	0.07	-1.67	0.118
SMI antes (1)	2.18	0.62	0.17		
SMI después (3)30	2.34	0.30	0.08	-1.02	0.328

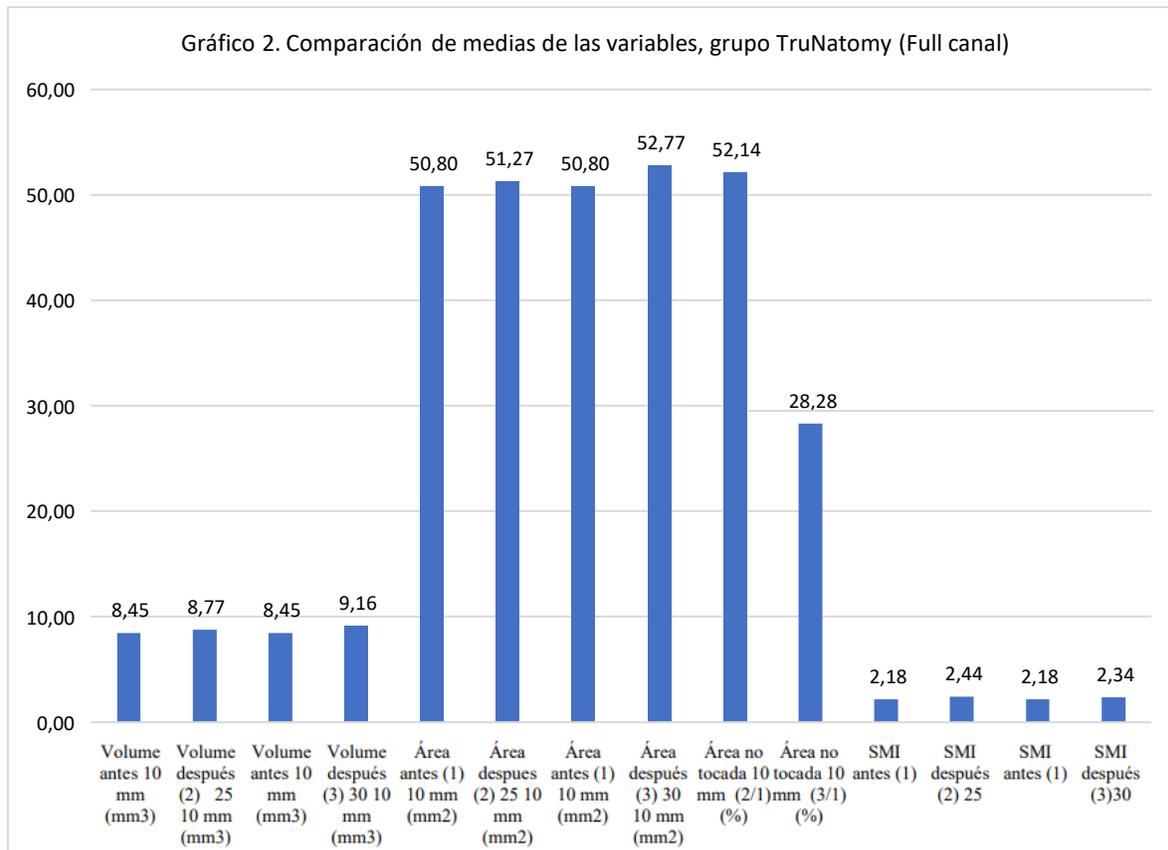


Tabla 4.
Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Full canal)

	Media	Desviación estándar	Error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes 10 mm (mm3)	9.14	3.75	1.08		
Volumen después (2) 25 10 mm (mm3)	9.47	3.73	1.08	-4.39	0.001
Volumen antes 10 mm (mm3)	9.14	3.75	1.08		
Volumen después (3) 30 10 mm (mm3)	9.68	3.65	1.05	-5.45	0.000
Área antes (1) 10 mm (mm2)	53.54	13.17	3.80		
Área después (2) 25 10 mm (mm2)	55.23	12.60	3.64	-3.38	0.006
Área antes (1) 10 mm (mm2)	53.54	13.17	3.80		
Área después (3) 30 10 mm (mm2)	55.89	12.41	3.58	-4.94	0.000
Área no tocada 10 mm (2/1) (%)	56.08	23.23	6.71		
Área no tocada 10 mm (3/1) (%)	42.02	19.28	5.57	2.64	0.0231
SMI antes (1)	3.66	4.34	1.25		
SMI después (2) 25	3.72	4.38	1.26	-0.52	0.6124
SMI antes (1)	3.66	4.34	1.25		
SMI después (3)30	3.71	4.38	1.27	-0.41	0.6912

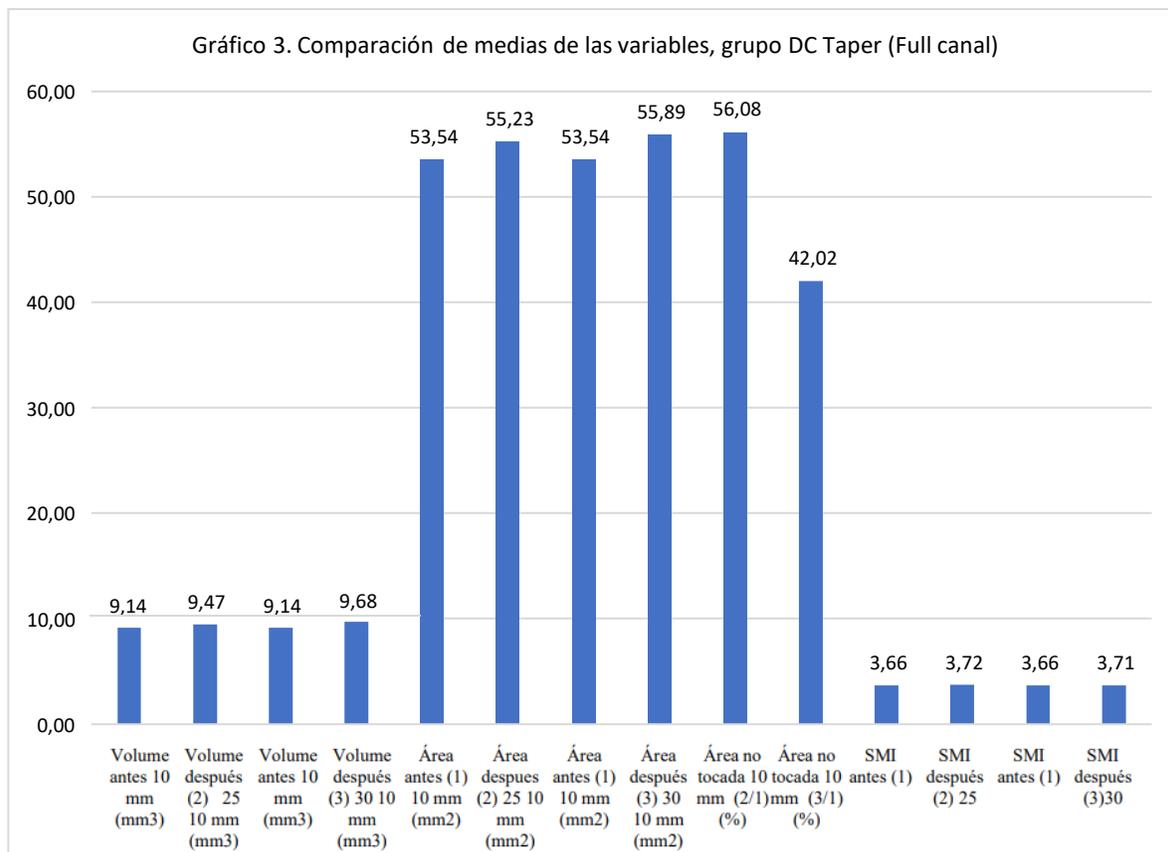


Tabla 5.
Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Full canal)

	Media	Desviación estándar	Error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes 10 mm (mm ³)	11.11	4.88	1.35		
Volumen después (2) 25 10 mm (mm ³)	11.37	4.94	1.37	-4.90	0.0004
Área antes (1) 10 mm (mm ²)	60.00	16.76	4.65		
Área después (2) 25 10 mm (mm ²)	60.62	16.69	4.63	-4.35	0.0009
SMI antes (1)	2.31	0.47	0.13		
SMI después (2) 25	2.33	0.43	0.12	-0.33	0.7453

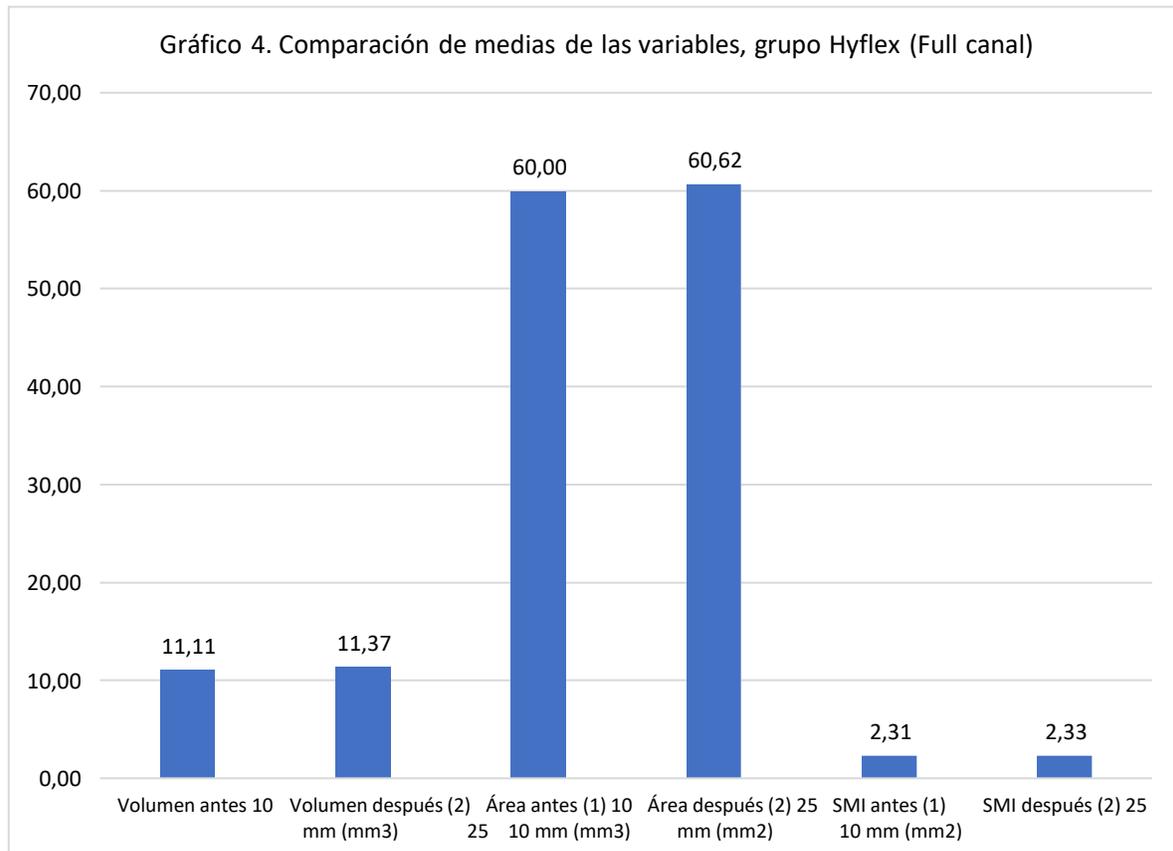


Tabla 6.
Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Full canal)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Prueba F	Valor p
Volumen antes 10 mm (mm3)	Entre grupos	113.38	3.00	37.79	2.07 0.1157
	Dentro de grupos	892.72	49.00	18.22	
	Total	1006.10	52.00		
Volumen después (2) 25 10 mm (mm3)	Entre grupos	88.99	3.00	29.66	1.71 0.1775
	Dentro de grupos	850.82	49.00	17.36	
	Total	939.81	52.00		
Volumen después (3) 30 10 mm (mm3)	Entre grupos	13.37	2.00	6.68	0.46 0.6347
	Dentro de grupos	537.35	37.00	14.52	
	Total	550.72	39.00		
Área antes (1) 10 mm (mm2)	Entre grupos	991.77	3.00	330.59	1.63 0.1934
	Dentro de grupos	9909.57	49.00	202.24	
	Total	10901.35	52.00		
Área después (2) 25 10 mm (mm2)	Entre grupos	775.35	3.00	258.45	1.31 0.2815
	Dentro de grupos	9661.27	49.00	197.17	
	Total	10436.63	52.00		
Área después (3) 30 10 mm (mm2)	Entre grupos	103.40	2.00	51.70	0.33 0.7189
	Dentro de grupos	5743.70	37.00	155.24	
	Total	5847.10	39.00		
Área no tocada 10 mm (2/1) (%)	Entre grupos	2495.13	3.00	831.71	1.95 0.1346
	Dentro de grupos	20949.17	49.00	427.53	
	Total	23444.30	52.00		
Área no tocada 10 mm (3/1) (%)	Entre grupos	1250.72	2.00	625.36	1.85 0.1712
	Dentro de grupos	12493.72	37.00	337.67	
	Total	13744.44	39.00		
SMI antes (1)	Entre grupos	19.06	3.00	6.35	1.43 0.2448
	Dentro de grupos	217.40	49.00	4.44	
	Total	236.46	52.00		
SMI después (2) 25	Entre grupos	17.07	3.00	5.69	1.29 0.2896
	Dentro de grupos	216.74	49.00	4.42	
	Total	233.81	52.00		
SMI después (3)30	Entre grupos	14.40	2.00	7.20	1.24 0.3003
	Dentro de grupos	214.32	37.00	5.79	
	Total	228.72	39.00		

Tabla 7

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Canal Apical)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes (1) ZCA (mm3)	1.17	0.88	0.24		
Volumen después (2) 25 ZCA (mm3)	1.31	0.83	0.22	-3.90	0.002
Volumen antes (1) ZCA (mm3)	1.17	0.88	0.24		
Volumen después (3) 30 ZCA (mm3)	1.41	0.82	0.22	-6.13	0.000
Área antes ZCA (1) (mm2)	11.70	4.35	1.16		
Área después ZCA (2) 25 (mm2)	12.55	4.08	1.09	-3.65	0.003
Área antes ZCA (1) (mm2)	11.70	4.35	1.16		
Área después ZCA (3) 30 (mm2)	12.93	3.99	1.07	-4.89	0.000
Área tocada 4mm (2/1) (%)	59.45	25.10	6.71		
Área no tocada 4mm (2/1) (%)	40.55	25.10	6.71	1.41	0.182
Área tocada 4mm (3/1) (%)	70.52	24.91	6.66		
Área no tocada 4mm (3/1) (%)	29.48	24.91	6.66	3.08	0.009

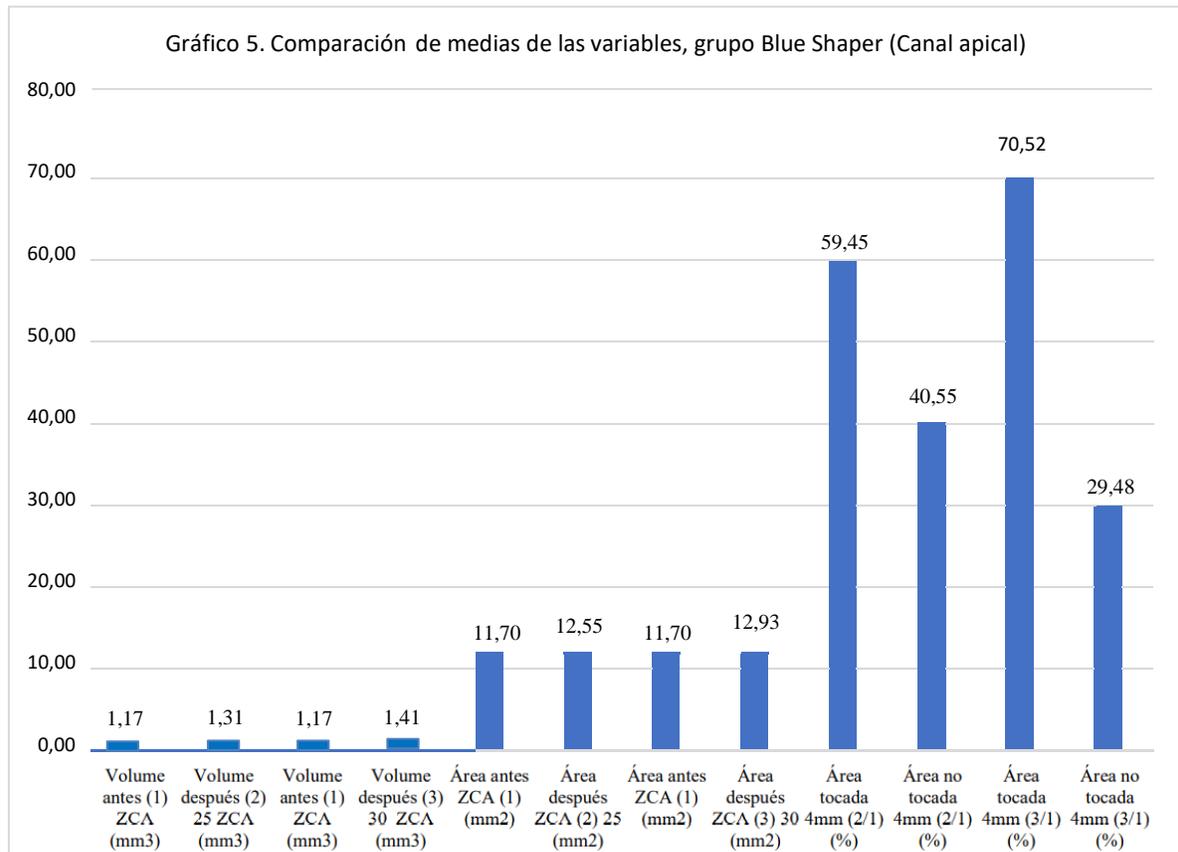


Tabla 8.
Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Canal Apical)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes (1) ZCA (mm3)	1.33	0.94	0.25		
Volumen después (2) 25 ZCA (mm3)	1.41	0.95	0.25	-5.49	0.000
Volumen antes (1) ZCA (mm3)	1.33	0.94	0.25		
Volumen después (3) 30 ZCA (mm3)	1.53	0.92	0.25	-5.64	0.000
Área antes ZCA (1) (mm2)	12.41	4.99	1.33		
Área después ZCA (2) 25 (mm2)	12.75	5.04	1.35	-4.11	0.001
Área antes ZCA (1) (mm2)	12.41	4.99	1.33		
Área después ZCA (3) 30 (mm2)	13.34	4.60	1.23	-4.31	0.001
Área tocada 4mm (2/1) (%)	52.76	20.19	5.40		
Área no tocada 4mm (2/1) (%)	47.24	20.19	5.40	0.51	0.618
Área tocada 4mm (3/1) (%)	78.20	13.87	3.71		
Área no tocada 4mm (3/1) (%)	21.80	13.87	3.71	7.61	0.000

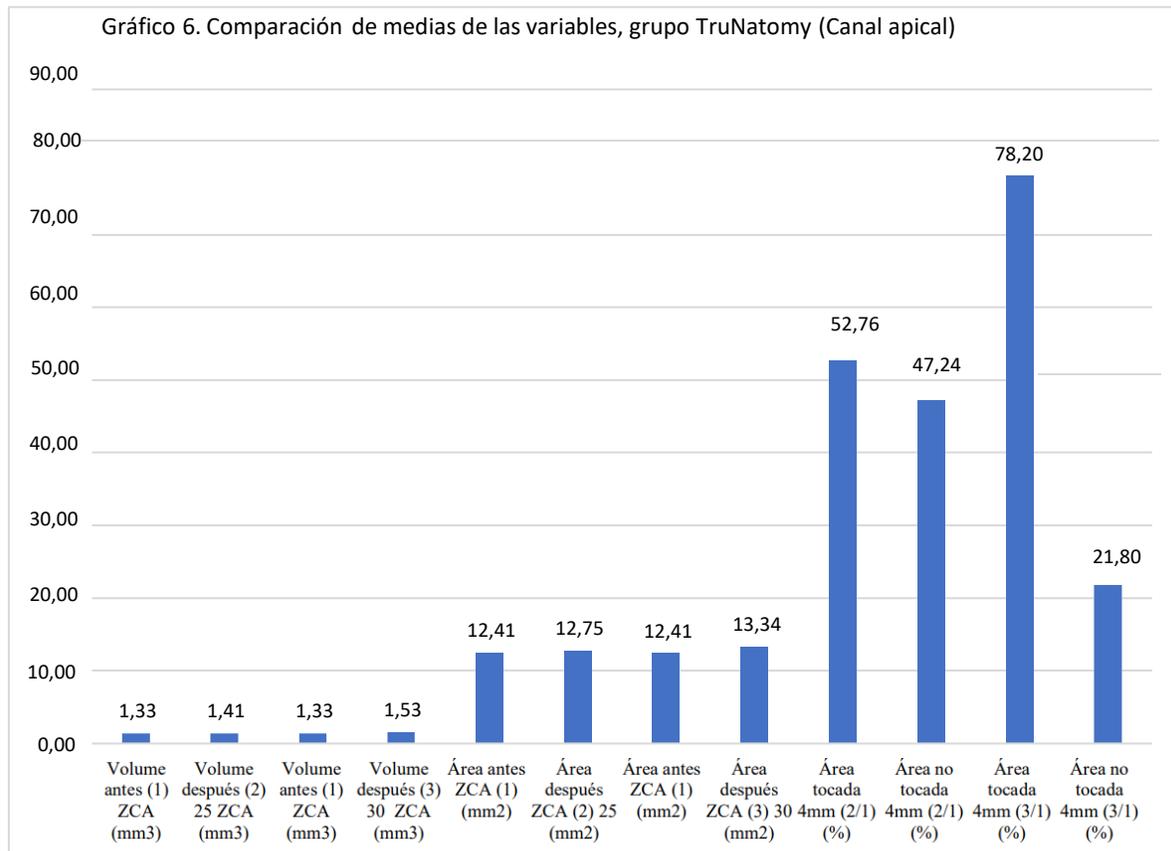


Tabla 9.
Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Canal Apical)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes (1) ZCA (mm ³)	1.49	1.14	0.33		
Volumen después (2) 25 ZCA (mm ³)	1.58	1.11	0.32	-4.16	0.002
Volumen antes (1) ZCA (mm ³)	1.49	1.14	0.33		
Volumen después (3) 30 ZCA (mm ³)	1.67	1.21	0.35	-4.35	0.001
Área antes ZCA (1) (mm ²)	13.39	5.41	1.56		
Área después ZCA (2) 25 (mm ²)	14.00	5.13	1.48	-3.53	0.005
Área antes ZCA (1) (mm ²)	13.39	5.41	1.56		
Área después ZCA (3) 30 (mm ²)	14.15	5.06	1.46	-4.23	0.001
Área tocada 4mm (2/1) (%)	49.44	31.16	8.99		
Área no tocada 4mm (2/1) (%)	50.56	31.16	8.99	-0.06	0.951
Área tocada 4mm (3/1) (%)	67.17	22.08	6.38		
Área no tocada 4mm (3/1) (%)	32.83	22.08	6.38	2.69	0.021

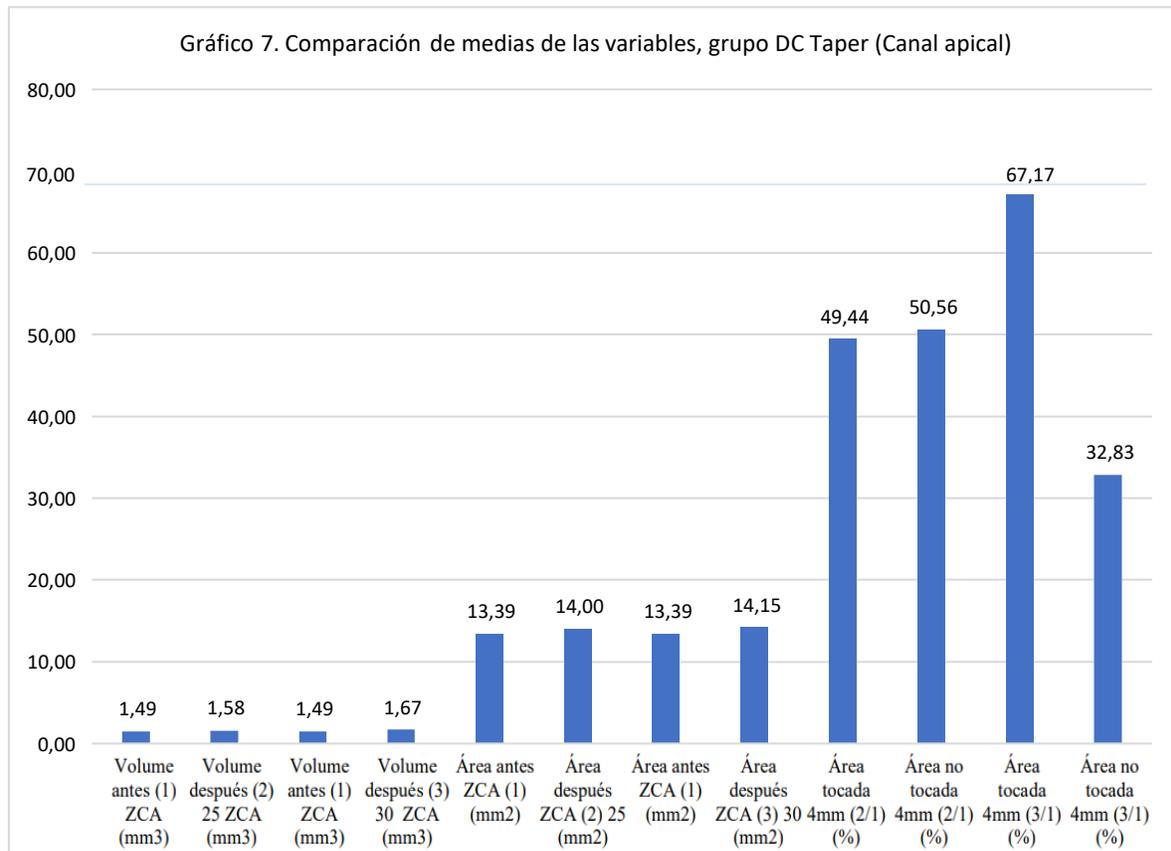


Tabla 10.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Canal Apical)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Volumen antes (1) ZCA (mm ³)	1.66	1.24	0.34		
Volumen después (2) 25 ZCA (mm ³)	1.76	1.18	0.33	-4.23	0.001
Área antes ZCA (1) (mm ²)	14.66	6.70	1.86		
Área después ZCA (2) 25 (mm ²)	15.16	6.45	1.79	-3.93	0.002
Área tocada 4mm (2/1) (%)	60.92	18.30	5.08	2.15	0.052
Área no tocada 4mm (2/1) (%)	39.08	18.30	5.08		

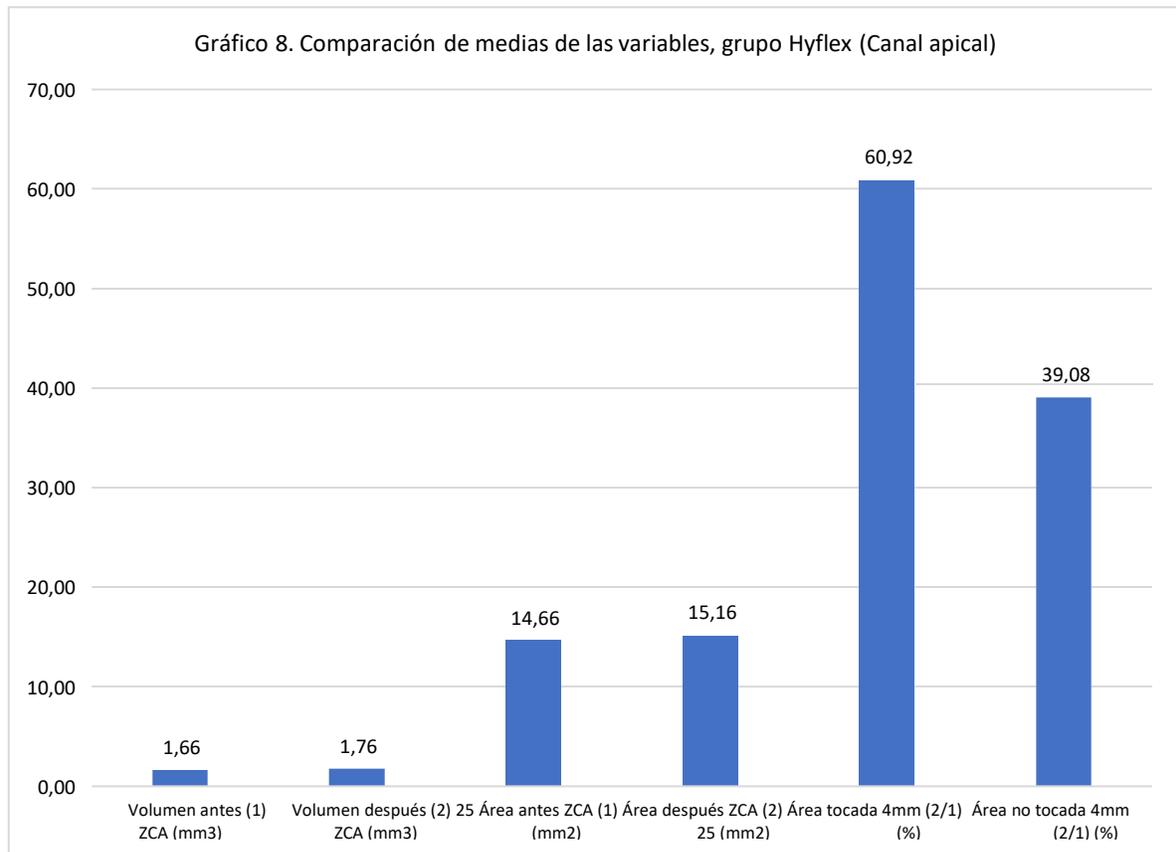


Tabla 11.
Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Canal Apical)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Prueba F	Valor p
Volumen antes (1) ZCA (mm3)	Entre grupos	1.79	3.00	0.60	0.54	0.6585
	Dentro de grupos	54.24	49.00	1.11		
	Total	56.03	52.00			
Volumen después (2) 25 ZCA (mm3)	Entre grupos	1.53	3.00	0.51	0.49	0.6915
	Dentro de grupos	51.22	49.00	1.05		
	Total	52.75	52.00			
Volumen después (3) 30 ZCA (mm3)	Entre grupos	0.44	2.00	0.22	0.23	0.7962
	Dentro de grupos	35.80	37.00	0.97		
	Total	36.24	39.00			
Área antes ZCA (1) (mm2)	Entre grupos	66.25	3.00	22.08	0.76	0.5237
	Dentro de grupos	1429.52	49.00	29.17		
	Total	1495.76	52.00			
Área después ZCA (2) 25 (mm2)	Entre grupos	58.95	3.00	19.65	0.72	0.5443
	Dentro de grupos	1335.54	49.00	27.26		
	Total	1394.50	52.00			
Área después ZCA (3) 30 (mm2)	Entre grupos	9.88	2.00	4.94	0.24	0.7884
	Dentro de grupos	763.73	37.00	20.64		
	Total	773.61	39.00			
Área tocada 4mm (2/1) (%)	Entre grupos	1142.85	3.00	380.95	0.66	0.5793
	Dentro de grupos	28186.74	49.00	575.24		
	Total	29329.59	52.00			
Área no tocada 4mm (2/1) (%)	Entre grupos	1142.85	3.00	380.95	0.66	0.5793
	Dentro de grupos	28186.74	49.00	575.24		
	Total	29329.59	52.00			
Área tocada 4mm (3/1) (%)	Entre grupos	846.77	2.00	423.38	0.98	0.3837
	Dentro de grupos	15933.59	37.00	430.64		
	Total	16780.35	39.00			
Área no tocada 4mm (3/1) (%)	Entre grupos	846.77	2.00	423.38	0.98	0.3837
	Dentro de grupos	15933.59	37.00	430.64		
	Total	16780.35	39.00			

Tabla 12.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Centroide)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Z Antes	4.60	0.66	0.18	0.39	0.699
Z D25	4.59	0.66	0.18		
Z Antes	4.60	0.66	0.18	-0.95	0.360
Z D30	4.68	0.67	0.18		
X Antes	3.77	0.84	0.22	0.00	0.996
X D25	3.77	0.81	0.22		
X Antes	3.77	0.84	0.22	0.93	0.368
X D30	3.68	0.72	0.19		
Y Antes	3.13	0.35	0.09	-1.23	0.241
Y D25	3.17	0.32	0.08		
Y Antes	3.13	0.35	0.09	-2.01	0.066
Y D30	3.21	0.27	0.07		

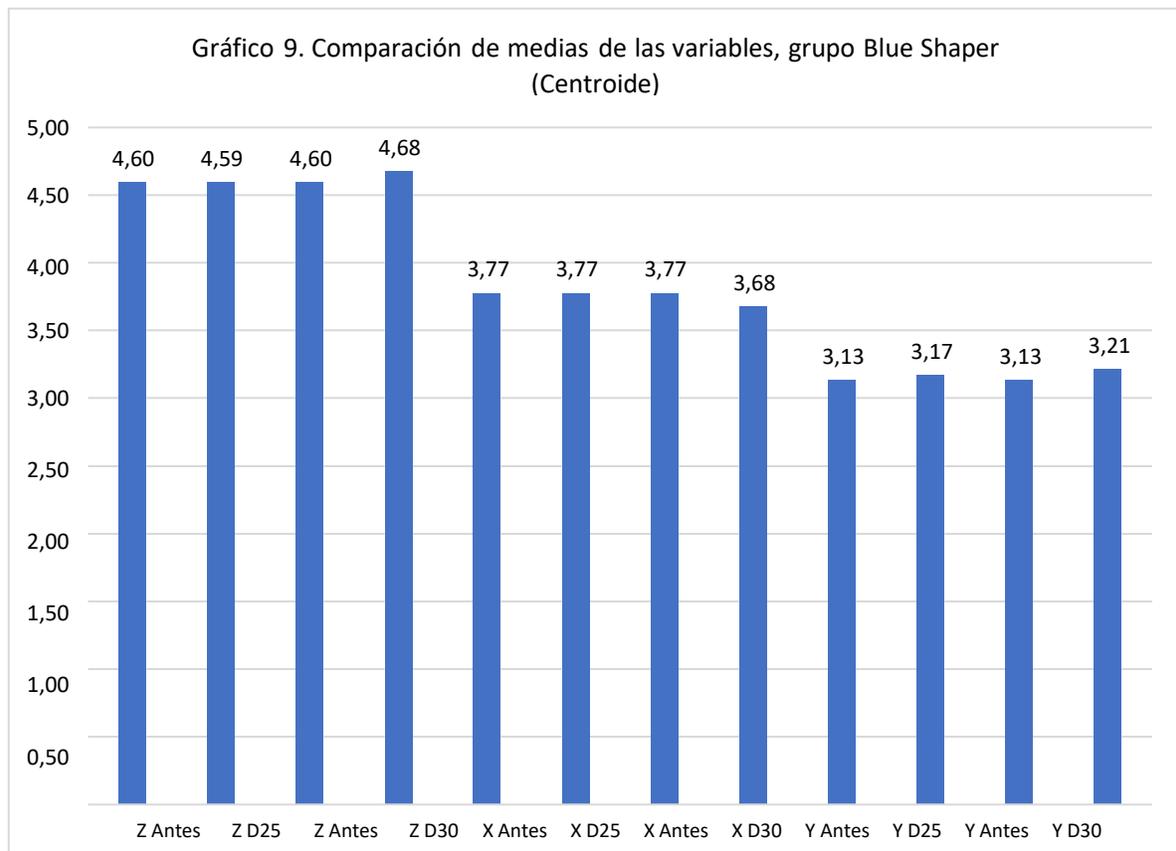


Tabla 13.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy(Centroide)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Z Antes	4.40	0.41	0.11	-0.52	0.615
Z D25	4.40	0.41	0.11		
Z Antes	4.40	0.41	0.11	1.63	0.126
Z D30	4.36	0.41	0.11		
X Antes	3.52	0.48	0.13	-1.56	0.143
X D25	3.53	0.49	0.13		
X Antes	3.52	0.48	0.13	0.99	0.339
X D30	3.43	0.41	0.11		
Y Antes	3.07	0.30	0.08	-1.26	0.230
Y D25	3.15	0.35	0.09		
Y Antes	3.07	0.30	0.08	-2.33	0.036
Y D30	3.17	0.24	0.06		

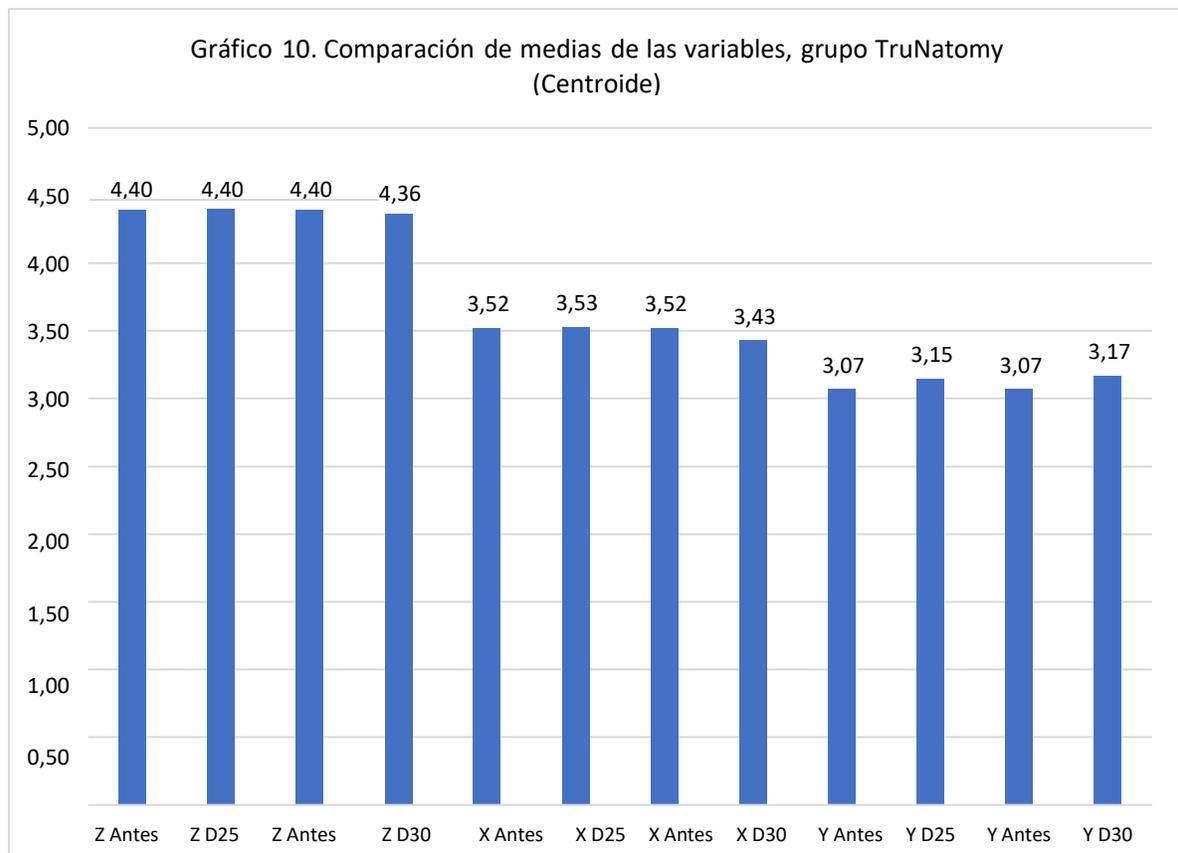


Tabla 14.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Centroide)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Z Antes	4.59	0.90	0.26		
Z D25	4.86	0.44	0.13	-1.05	0.318
Z Antes	4.59	0.90	0.26		
Z D30	4.78	0.48	0.14	-0.70	0.498
X Antes	4.02	0.88	0.25		
X D25	3.91	0.82	0.24	0.95	0.363
X Antes	4.02	0.88	0.25		
X D30	3.61	0.67	0.19	1.84	0.093
Y Antes	3.10	0.47	0.14		
Y D25	3.11	0.39	0.11	-0.37	0.715
Y Antes	3.10	0.47	0.14		
Y D30	3.07	0.36	0.10	0.35	0.734

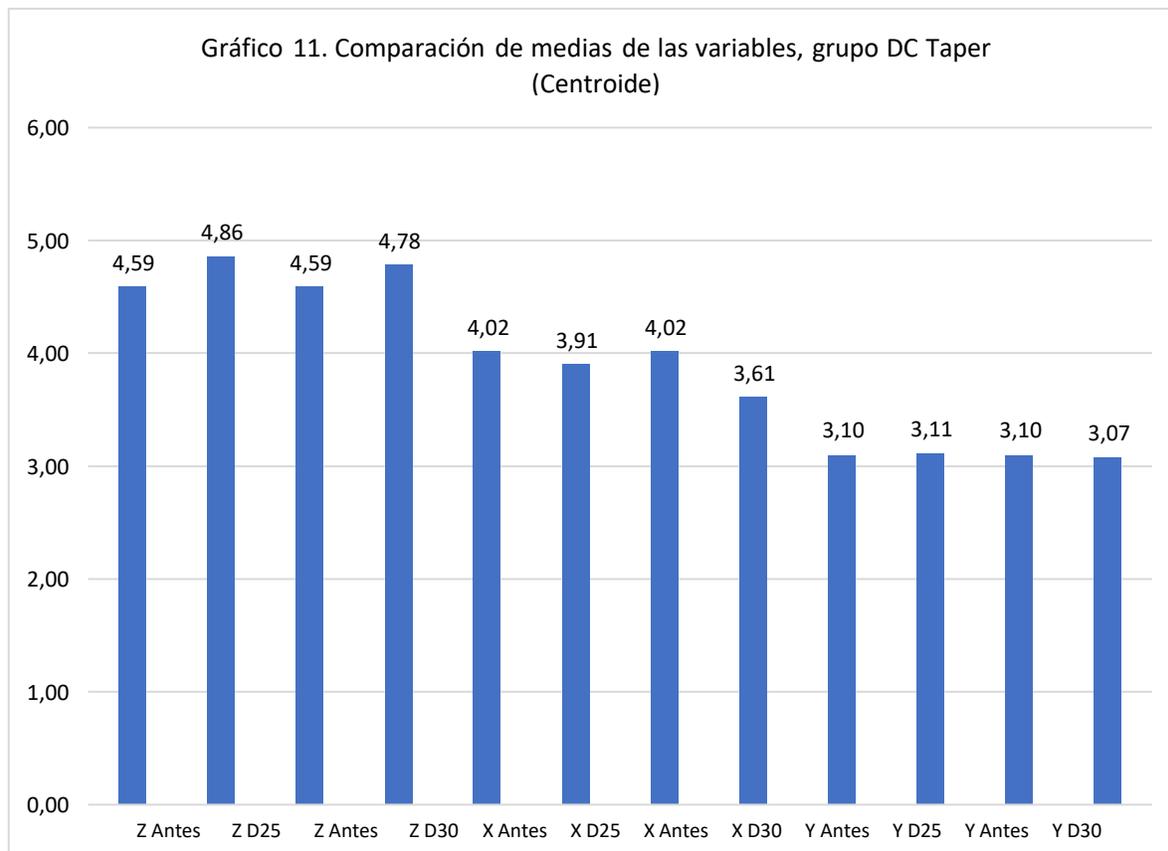


Tabla 15.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Centroide)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
Z Antes	4.78	0.72	0.20	0.77	0.454
Z D25	4.77	0.73	0.20		
X Antes	3.91	0.66	0.18	1.05	0.314
X D25	3.90	0.67	0.19		
Y Antes	3.08	0.45	0.12	-2.00	0.068
Y D25	3.18	0.40	0.11		

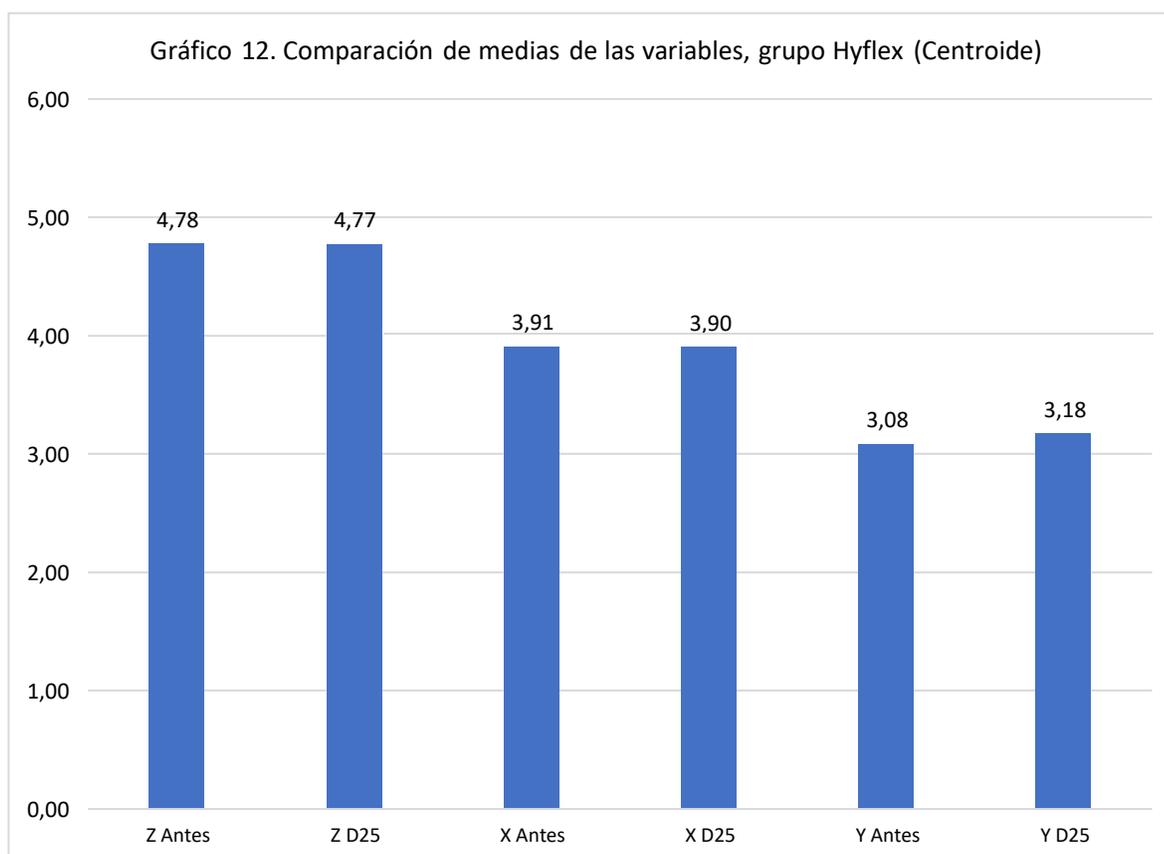


Tabla 16.
Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Centroide)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	Prueba F	Valor p
Z Antes	Entre grupos	0.98	3.00	0.33	0.69	0.5601
	Dentro de grupos	22.96	49.00	0.47		
	Total	23.94	52.00			
X Antes	Entre grupos	1.83	3.00	0.61	1.15	0.3381
	Dentro de grupos	25.98	49.00	0.53		
	Total	27.81	52.00			
Y Antes	Entre grupos	0.03	3.00	0.01	0.06	0.9782
	Dentro de grupos	7.61	49.00	0.16		
	Total	7.64	52.00			
Z D25	Entre grupos	1.63	3.00	0.54	1.64	0.1927
	Dentro de grupos	16.27	49.00	0.33		
	Total	17.90	52.00			
X D25	Entre grupos	1.24	3.00	0.41	0.83	0.4852
	Dentro de grupos	24.55	49.00	0.50		
	Total	25.79	52.00			
Y D25	Entre grupos	0.03	3.00	0.01	0.07	0.9736
	Dentro de grupos	6.56	49.00	0.13		
	Total	6.59	52.00			
Z D30	Entre grupos	1.28	2.00	0.64	2.24	0.1209
	Dentro de grupos	10.54	37.00	0.28		
	Total	11.82	39.00			
X D30	Entre grupos	0.44	2.00	0.22	0.60	0.5562
	Dentro de grupos	13.78	37.00	0.37		
	Total	14.23	39.00			
Y D30	Entre grupos	0.13	2.00	0.06	0.75	0.4807
	Dentro de grupos	3.12	37.00	0.08		
	Total	3.24	39.00			

Tabla 17.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Blue Shaper (Dentin Thickness)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
M Pre CJE	1.42	0.10	0.03	3.33	0.005
M Pos25 JCE	1.33	0.12	0.03		
M Pre CJE	1.42	0.10	0.03	3.96	0.002
M Pos30 JCE	1.28	0.14	0.04		
D Pre CJE	1.41	0.15	0.04	3.45	0.004
D Pos25 JCE	1.33	0.15	0.04		
D Pre CJE	1.41	0.15	0.04	4.35	0.001
D Pos30 JCE	1.30	0.16	0.04		
M Pre 3	1.16	0.12	0.03	4.05	0.001
M Pos25 3 mm	1.08	0.11	0.03		
M Pre 3	1.16	0.12	0.03	4.78	0.000
M Pos30 3 mm	1.03	0.13	0.03		
D Pre 3	1.15	0.14	0.04	3.98	0.002
D Pos25 3 mm	1.04	0.14	0.04		
D Pre 3	1.15	0.14	0.04	4.58	0.001
D Pos30 3 mm	1.01	0.17	0.04		

Gráfico 13. Comparación de medias de las variables, grupo Blue Shaper (Dentine Thickness)

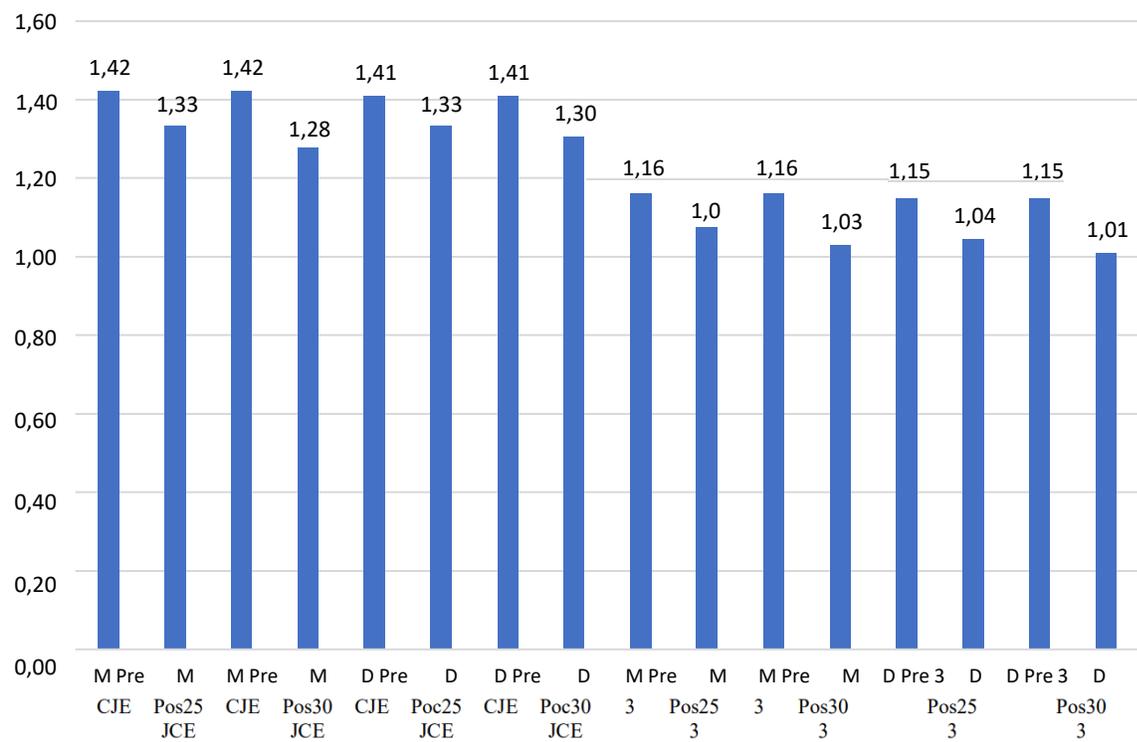


Tabla 18.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo TruNatomy (Dentine Thickness)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
M Pre CJE	1.39	0.17	0.05	4.77	0.000
M Pos25 JCE	1.35	0.18	0.05		
M Pre CJE	1.39	0.17	0.05	9.34	0.000
M Pos30 JCE	1.30	0.18	0.05		
D Pre CJE	1.41	0.16	0.04	3.85	0.002
D Poc25 JCE	1.37	0.15	0.04		
D Pre CJE	1.41	0.16	0.04	4.78	0.000
D Pos30 JCE	1.34	0.15	0.04		
M Pre 3	1.15	0.14	0.04	3.13	0.008
M Pos25 3 mm	1.12	0.15	0.04		
M Pre 3	1.15	0.14	0.04	6.49	0.000
M Pos30 3 mm	1.08	0.14	0.04		
D Pre 3	1.18	0.12	0.03	3.06	0.009
D Pos25 3 mm	1.13	0.14	0.04		
D Pre 3	1.18	0.12	0.03	4.45	0.001
D Pos30 3 mm	1.10	0.15	0.04		

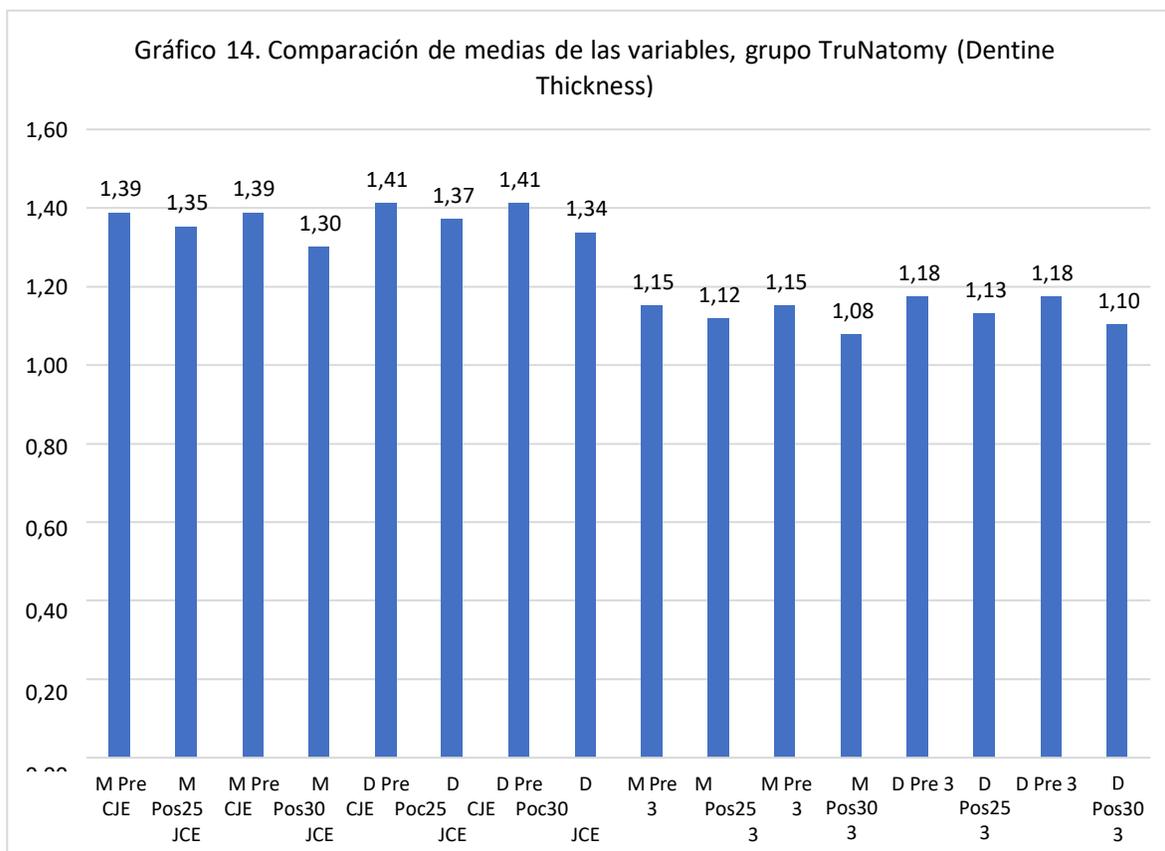


Tabla 19.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo DC Taper (Dentin Thickness)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
M Pre CJE	1.45	0.24	0.07	2.25	0.046
M Pos25 JCE	1.44	0.24	0.07		
M Pre CJE	1.45	0.24	0.07	4.03	0.002
M Pos30 JCE	1.41	0.25	0.07		
D Pre CJE	1.45	0.15	0.04	2.11	0.058
D Poc25 JCE	1.44	0.15	0.04		
D Pre CJE	1.45	0.15	0.04	4.29	0.001
D Pos30 JCE	1.42	0.16	0.05		
M Pre 3	1.12	0.17	0.05	2.80	0.017
M Pos25 3mm	1.09	0.18	0.05		
M Pre 3	1.12	0.17	0.05	4.49	0.001
M Pos30 3mm	1.06	0.20	0.06		
D Pre 3	1.19	0.21	0.06	3.20	0.009
D Pos25 3mm	1.13	0.22	0.06		
D Pre 3	1.19	0.21	0.06	4.65	0.001
D Pos30 3mm	1.10	0.22	0.06		

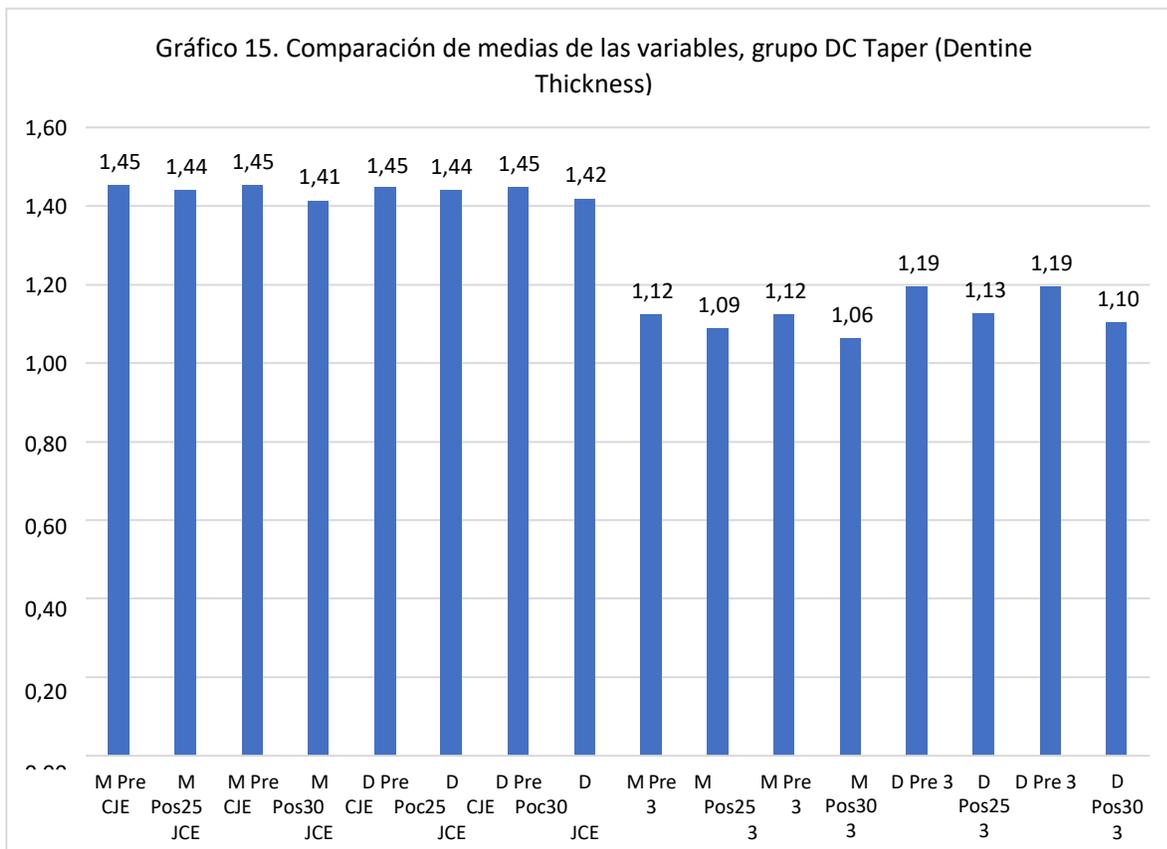


Tabla 20.

Prueba t de diferencia de medias para muestras relacionadas, grupo Hyflex (Dentin Thickness)

	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	Prueba t	Valor p
M Pre CJE	1.53	0.26	0.07	3.60	0.004
M Pos25 JCE	1.50	0.25	0.07		
D Pre CJE	1.49	0.24	0.07	4.90	0.000
D Pos25 JCE	1.45	0.25	0.07		
M Pre 3	1.20	0.21	0.06	1.98	0.071
M Pos25 3mm	1.18	0.21	0.06		
D Pre 3	1.20	0.25	0.07	2.36	0.036
D Pos25 3mm	1.14	0.26	0.07		

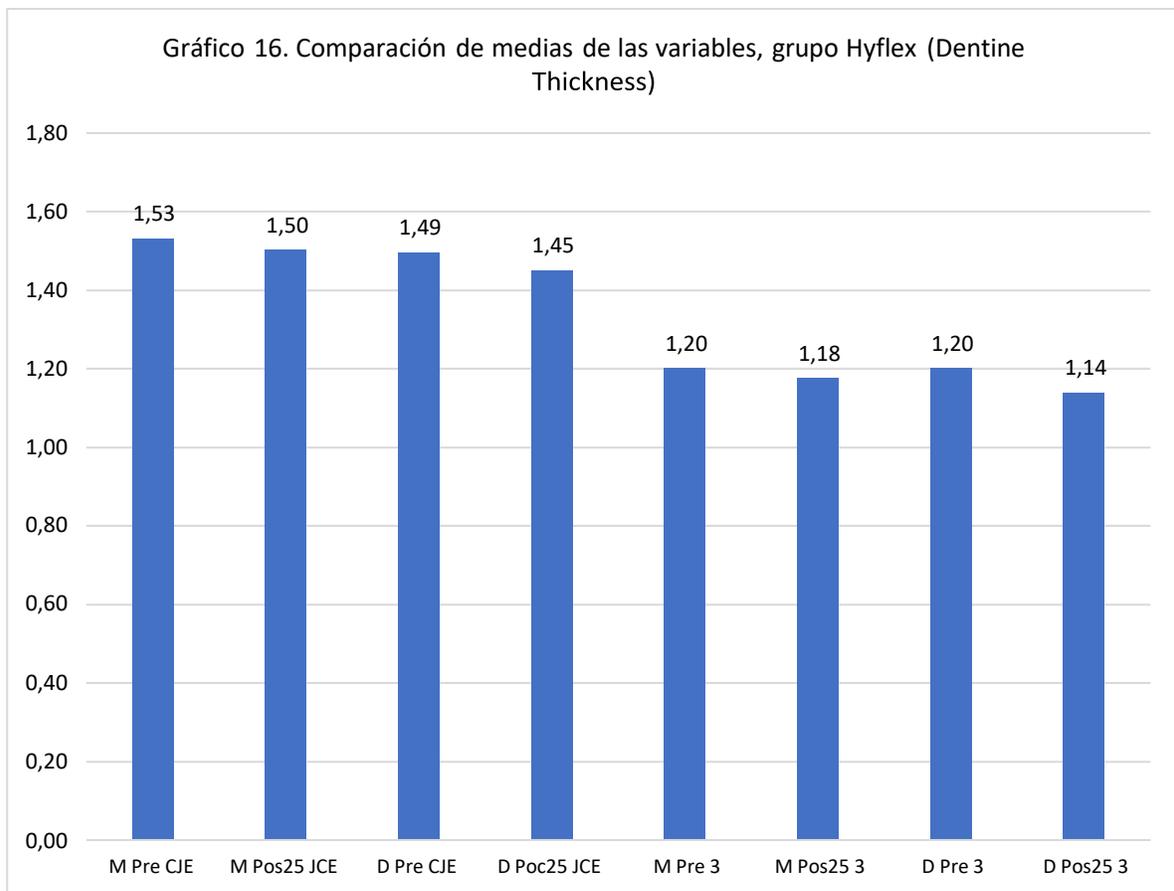


Tabla 21.
Prueba de análisis de varianza entre los grupos de estudio (Denton Thickness)

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
M Pre CJE	Entre grupos	0.15	3.00	0.05	1.23	0.3074
	Dentro de grupos	1.95	49.00	0.04		
	Total	2.10	52.00			
D Pre CJE	Entre grupos	0.06	3.00	0.02	0.66	0.5808
	Dentro de grupos	1.57	49.00	0.03		
	Total	1.63	52.00			
M Pre 3	Entre grupos	0.04	3.00	0.01	0.47	0.7021
	Dentro de grupos	1.29	49.00	0.03		
	Total	1.33	52.00			
D Pre 3	Entre grupos	0.02	3.00	0.01	0.21	0.8913
	Dentro de grupos	1.70	49.00	0.03		
	Total	1.72	52.00			
M Pos25 JCE	Entre grupos	0.24	3.00	0.08	1.99	0.1276
	Dentro de grupos	2.00	49.00	0.04		
	Total	2.25	52.00			
D Poc25 JCE	Entre grupos	0.12	3.00	0.04	1.28	0.2902
	Dentro de grupos	1.57	49.00	0.03		
	Total	1.70	52.00			
M Pos25 3	Entre grupos	0.08	3.00	0.03	0.95	0.4248
	Dentro de grupos	1.33	49.00	0.03		
	Total	1.41	52.00			
D Pos25 3	Entre grupos	0.08	3.00	0.03	0.71	0.5533
	Dentro de grupos	1.85	49.00	0.04		
	Total	1.93	52.00			
M Pos30 JCE	Entre grupos	0.13	2.00	0.07	1.82	0.1762
	Dentro de grupos	1.35	37.00	0.04		
	Total	1.49	39.00			
D Poc30 JCE	Entre grupos	0.09	2.00	0.04	1.85	0.1720
	Dentro de grupos	0.88	37.00	0.02		
	Total	0.97	39.00			
M Pos30 3	Entre grupos	0.02	2.00	0.01	0.36	0.6979
	Dentro de grupos	0.92	37.00	0.02		
	Total	0.94	39.00			
D Pos30 3	Entre grupos	0.08	2.00	0.04	1.28	0.2896
	Dentro de grupos	1.19	37.00	0.03		
	Total	1.27	39.00			

7. Discusión

Este estudio comparó la capacidad de conformación de 4 sistemas de limas rotatorias de NiTi utilizando Micro-CT en conductos de forma ovalada, ya que esta anatomía representa un desafío para cualquier sistema de preparación (Siqueira JF, et. al, 2010). Con la disponibilidad de la tecnología Micro-CT, la morfología del conducto radicular podría estudiarse de forma no invasiva y precisa, antes del tratamiento y después de cada instrumentación, con respecto a parámetros como volumen, área, centroide, superficie del conducto radicular, grosor de la dentina y SMI (Swain M y Xue J, 2009).

Antes de la inclusión en el presente estudio, se analizaron las variables Pre-instrumentación de los conductos radiculares y se encontró que eran similares entre los grupos.

A pesar de las diferencias en cuanto a diseño, sección transversal, conicidad y aleación, y el tamaño apical de los instrumentos, entre 25 y 30, TN, BS, DCT y HEDM mostraron una capacidad de modelado similar porque no hubo diferencias significativas en todas las variables ($p < .05$). No obstante, encontramos muchas diferencias significativas intragrupo, al comparar antes y después de las preparaciones de conductos radiculares, así como después de usar instrumentos progresivamente más grandes.

La cantidad de superficie del conducto sin conformar, los cambios de volumen y el SMI son los parámetros más utilizados para evaluar la preparación mediante Micro-CT (Sousa-Neto, et al, 2018). En el presente estudio, ninguna de las limas evaluadas logró tocar la superficie total de las paredes del conducto, en concordancia con los resultados reportados en estudios previos en conductos de forma ovalada (Sousa-Neto, et al, 2018) ; (Lacerda, et al, 2017) ; (Paqué F y Peters OA, 2011).

Sin embargo, hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas después de cada aumento en el tamaño de la lima, tanto para los 4 mm apicales como para la longitud total del conducto, en concordancia con investigaciones previas (Pérez AR, et al, 2018) ; (Peters OA, et al, 2015) ; (Pérez AR, et al, 2020).

TruNatomy y Blue Shaper fueron las limas que tocaron el mayor porcentaje de superficie del conducto, 71 % y 67 % respectivamente, para el conducto completo, y 78 % y 70 % correspondientemente, para la parte apical. En esta investigación los resultados concuerdan con estudios previos, que reportaron 88-94% de la superficie del conducto tocada, que usó una metodología similar para evaluar TruNatomy (Silva EJNL, et al, 2022).

Por el contrario, en esta investigación resultados difieren de los reportados por (Pérez M, et al 2021) quienes encontraron que TN tocó el porcentaje más bajo de la superficie del conducto (50%) en comparación con otros 5 sistemas de limas NiTi. Estas diferencias pueden explicarse por la distinta lima apical máster utilizada; nuestro estudio empleó TN 36/04 versus Pérez et al usaron TN 26/04. El porcentaje de superficie no instrumentada disminuye sustancialmente de TN 26/04 (52%) a TN 36/04 (28%), para toda la longitud del conducto, así como en la parte apical TN 26/04 (47%) y TN 36/04 (21%).

HEDM dejó áreas de superficie intactas comparables a las de DC Taper, 44 % y 42 % respectivamente para el conducto completo y 39 % y 32 % para la parte apical, lo cual es un aspecto importante ya que el enfoque de una sola lima implica menos pasos de procedimiento. Sin embargo, es importante resaltar que la técnica One File HEDM, recomendada por el fabricante para conductos rectos, incluía solo 3 limas: apertura de acceso, Glide Path y lima de modelado 25/.08; mientras que para el resto de los sistemas las técnicas de instrumentación consumieron 4 limas o más con diámetros mayores.

Se puede inferir que HEDM podría funcionar mejor en conductos estrechos. Por otro lado, es importante recalcar que debido a restos de tejidos pulpares y bacterias pueden quedar en superficies no instrumentadas (Siqueira JF, et al, 2018). La limpieza y desinfección de estas áreas es crucial y dependerá de la ampliación a tamaños más grandes o de enfoques de desinfección complementarios (Siqueira Jr JF y Rôças IN, 2011).

El aumento de SMI observado en todos los grupos mostró que los conductos se volvieron más redondos después de la instrumentación. Este cambio fue estadísticamente significativo solo para BS ($p < 0,05$). Estudios previos han encontrado la misma tendencia (You SY, et al, 2011) (Paqué F, et al, 2005). Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticas entre grupos ($p > 0,05$).

El cambio en el volumen y el área del conducto está correlacionado con el efecto de la preparación biomecánica en la eliminación de la dentina, las diferencias de este parámetro se evaluaron previamente mediante el uso de Micro-CT (Sousa-Neto, et al, 2018).

La cantidad de área de volumen del canal y los cambios no difirieron entre los 4 grupos. Sin embargo, para todos los sistemas de limas, se demostró el aumento de ambas variables después de usar instrumentos progresivamente más grandes, tanto para la longitud total del canal como para la apical del canal, en todos los grupos. Estas observaciones son consistentes con otras previamente reportadas (Pérez AR, et al, 2018) (Stern S, et al, 2012) (Peters OA, et al, 2001).

Es evidente la necesidad de evaluar cuidadosamente el centro de gravedad, ya que la desviación del conducto original puede conducir a un contacto incompleto del conducto radicular, o a la formación de cremalleras y perforaciones por exceso de preparación (Sousa-Neto, et al, 2018).

El presente estudio, el transporte medio (en mm) se calculó comparando los centros de gravedad antes y después de la preparación de los segmentos coronal, medio y apical de los conductos radiculares. Aunque el tamaño apical y la conicidad de los instrumentos no fue igual para todos los grupos, las limas probadas produjeron un transporte apical mínimo sin diferencias significativas, inter e intragrupo, y valores inferiores a 0,21 mm en dirección mesial o distal. HEDM determinó un transporte ligeramente menor que otros sistemas. Estos resultados estaban de acuerdo con el anterior TN (Pérez M et al, 2021) y HEDM (Venino PM, et al, 2017) estudios; en desacuerdo con (Pyae et al.2011). quien concluyó que HEDM causó más transporte que Gentlefile.

Tanto el efecto mecánico de la desinfección como la eficacia de la irrigación pueden estar relacionados con la eliminación de una capa de dentina infectada (Siqueira JF, et al, 1997). Sin embargo, el riesgo de fractura de los dientes aumenta proporcionalmente a la cantidad de dentina eliminada (Hulsmann M, et al, 2005).

En consecuencia, la dentina de la raíz coronal debe conservarse tanto como sea posible; se ha recomendado que, en el mejor de los casos, se conserve 1 mm de dentina de la raíz coronal alrededor del canal preparado (Katz A, et al, 2006) ; (Kishen A. 2006).

En esta investigación, se observó una disminución significativa de la dentina remanente después de cada aumento de tamaño, tanto para las paredes radiculares mesiales como distales, a nivel de la UCE y 3 mm apicalmente hasta este punto. Este hallazgo concuerda con estudios previos (Pérez AR, et al, 2018); (Pérez M et al, 2021); (Silva EJNL, et al, 2022).

Sin embargo, todos los sistemas de limas dejaron, en algunos casos, espesores residuales menores a 1 mm, en tercio coronal y medio. Estos resultados contrastan con informes previos (Silva EJNL, et al, 2022). Donde el grupo TruNatomy promovió una mejor conservación de la dentina en la parte coronal de la raíz que ProTaper Gold. Asimismo, (Pérez et al, 2018) encontraron que el espesor residual antes de la instrumentación de los incisivos mandibulares con HyFlex CM estaba siempre por encima de 1 mm, incluso utilizando una lima 25/08 como en los tercios coronal y medio y una lima 35/04 o 40/04 en el tercio apical. Estas diferencias podrían deberse al diferente tipo de dientes que en esta investigación serían ovales.

BlueShaper y DC Taper no se han estudiado de forma exhaustiva antes y, por lo tanto, fue difícil correlacionar nuestros resultados actuales con datos anteriores.

8. Conclusiones

Bajo las limitaciones de este estudio, se concluyó que las 4 técnicas de instrumentación tienen una capacidad de modelado similar en la preparación de conductos ovalados. Ninguno de las limas evaluadas pudo tocar la superficie total de las paredes del conducto. Hubo una reducción significativa en la cantidad de áreas no preparadas, así como en el espesor de la dentina remanente, después de cada aumento en el tamaño de la lima.

LITERATURA CITADA

1. Abbott, P. Classification, diagnosis, and clinical manifestations of apical periodontitis. *Endodontic Topics*, 2004; 8: 36-54.
2. About DC Taper [Internet]. Com.au. [cited February 3, 2021]. Available at: <https://e3endo.com.au/pages/about-v-taper>.
3. Ahn J, Yang L, Paster BJ, et al. Oral microbiome profiles: 16S rRNA pyrosequencing and microarray assay comparison. *PLoS ONE*. 2011;6: e22788.
4. Allen RK, Newton CW, Brown Jr CE. A statistical analysis of surgical and nonsurgical endodontic retreatment cases. *J Endod*. 1989;15(6):261–6.
5. Aranguren, J. (Ed.). (2016). Protaper Gold. La eficacia de siempre con la máxima flexibilidad. Obtenido de <https://solucionesclincicasenodontologia.com/wp-content/uploads/2016/05/6-Num-DENTSPLY-MAYO-2016-comp.pdf>
6. Aranguren J. WaveOne Gold, Surfea el conducto radicular con confianza. *SCO*. 2015 May;(3).
7. Ashley M, Harris I. The assessment of the endodontically treated tooth. *Dent Update*. 2001;28(5):247-52.
8. Baratto-Filho F, de Carvalho JR Jr, Fariniuk LF, Sousa-Neto MD, Pécora JD, da Cruz-Filho AM. Morphometric analysis of the effectiveness of different concentrations of sodium hypochlorite associated with rotary instrumentation for root canal cleaning. *Braz Dent J*. 2004;15(1):36-40.
9. Barbizam JV, Fariniuk LF, Marchesan MA, Pecora JD, Sousa-Neto MD. Effectiveness of manual and rotary instrumentation techniques for cleaning flattened root canals. *J Endod*. 2002 May;28(5):365-6.
10. Bayram HM, Bayram E, Ocak M, et al. Effect of ProTaper Gold, Self-Adjusting File, and XP-endo Shaper instruments on dentinal microcrack formation: a micro-computed tomographic study. *J Endod* 2017; 43:1166–9.
11. Bergenholtz G, Horsted-Bindslev P, Reit C. Endodoncia diagnóstico y tratamiento de la pulpa dental. 2da ed. México: Manual Moderno; 2007.
12. Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pasqualini D. Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod*. 2004 Apr; 30(4): p. 228-30.

13. Bhaskar SN. Oral surgery-oral pathology conference no. 17, Walter Reed Army Medical Center Periapical lesions – types, incidence, and clinical features. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 1966; 21:657–671.
14. Blaine M. Cleghorn, Charles J Goodacre, William H Cristie. Morphology of teeth and their root canal systems. In Ingle JI. *Endodontics* 6. Hamilton: BC Decker Inc; 2008. 151-210.
15. Blum JY, Machtou P, Ruddle C, Micallef JP. Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: value of the safety quotient. *J Endod.* 2003 Sep;29(9):567-75.
16. Burklein, S; Hiller, C; Huda, M; Schafer, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of Mtwo versus coated and uncoated EasyShape instruments in severely curved root canals of extracted teeth. *En: International endodontic journal.* 2011. Vol. ;44, N°. 5, p. 447-57.
17. Burklein, S; Hinschitza, k; Dammaschke, T; Schafer, E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *En: International endodontic journal.* 2012. Vol. 45, N°. 5, p. 449-61.
18. Byström A. Evaluation of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis [Internet] [PhD dissertation]. [Umeå]: Umeå universitet; 1986. (Umeå University odontological dissertations). Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-99293>.
19. Capar ID, Arslan H, Akcay M, Ertas H. An in vitro comparison of apically extruded debris and instrumentation times with ProTaper Universal, ProTaper Next, Twisted File Adaptive, and HyFlex instruments. *J Endod.* 2014;40(10):1638-41.
20. Capar ID, Ertas H, Arslan H. Comparison of cyclic fatigue resistance of nickeltitanium coronal flaring instruments. *J Endod.* 2014;40(8):1182-5.
21. Canalda Sahli C, Brau Agudé E. *Endodoncia: Técnicas clínicas y bases científicas* Barcelona: Masson; 2001.
22. Casadevall A, Pirofski L. Virulence factors and their mechanisms of action: the view from a damage response framework. *J Water Health* 2009; S2-18.
23. Chávez de Paz LE, Sedgley CM, Kishen A, editores. *El biofilm del conducto radicular.* Berlín, Alemania: Springer; 2016.

24. Chávez de Paz L, Svensater G., Dahién G., Bergenholtz G., Streptococci from root Canals in teeth with apical periodontitis receiving endodontic treatment, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005; 2: 232-241.
25. Chubukov V, Gerosa L, Kochanowski K, Sauer U. Coordination of microbial metabolism. *Nat Rev Microbiol.* 2014 May;12(5):327-40.
26. Chugal N., Mallya S.M., Kahler B. (2017) Criteria for Outcome Assessment of Nonsurgical Endodontic Treatment. In: Chugal N., Lin L. (eds) *Endodontic Prognosis.* Springer, Cham.
27. Civjan S., Huget E. F., Desimon L. B., (1975) "Potential applications of certain nickel-titanium (Nitinol) alloys", *J Dent Res*; 54(1): 89 – 96.
28. Davis SR, Brayton SM, Goldman M. The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone. *Oral Sug Oral Med Oral Path.* 1972; 34(4):642-8.
29. De-Deus G, Belladonna FG, Silva EJ, Marins JR, Souza EM, Perez R, Lopes RT, Versiani MA, Paciornik S, Neves Ade A. Micro-CT Evaluation of Non-instrumented Canal Areas with Different Enlargements Performed by NiTi Systems. *Braz Dent J.* 2015 Nov-Dec;26(6):624-9.
30. De-Deus G, Silva EJ, Vieira VT, Belladonna FG, Elias CN, Plotino G, Grande NM. Blue Thermomechanical Treatment Optimizes Fatigue Resistance and Flexibility of the Reciproc Files. *J Endod.* 2017;43(15):462-66.
31. De La Flor López S. Simulación numérica y correlación experimental de las propiedades mecánicas en las aleaciones con memoria de forma. Tesis doctoral. Tarragona: Universidad Politécnica de Catalunya, Resistencia de materiales y estructuras en ingeniería; 2005.
32. Dental ÚPU. WaveOne Gold System [Internet]. Easydental.cl. [cited 2021 Jan 24]. Available from: http://www.easydental.cl/wp-content/uploads/2018/01/Dentsply_Maillefer_WaveOne_Gold_System_DFU_0117_WEB_DSE_ES.pdf.
33. Dethlefsen L, Eckburg PB, Bik EM, Relman DA. Assembly of the human intestinal microbiota. *Trends Ecol Evol.* 2006; 21:517-523.
34. Dewhirst FE, Chen T, Izard J, et al. The human oral microbiome. *J Bacteriol.* 2010; 192:5002.
35. Dioguardi M, Troiano G, Laino L, et al. ProTaper and WaveOne systems three-dimensional comparison of device parameters after the shaping technique. A

micro-CT study on simulated root canals. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2015 ;8(10):17830-17834.

36. Eddy RS, Joyce AP, Roberts S, Buxton TB, Liewehr F. An in vitro evaluation of the antibacterial efficacy of chlorine dioxide on *E. faecalis* in bovine incisors. *J Endod*. 2005 Sep;31(9):672-5.

37. Elnaghy AM, Elsaka SE. Shaping ability of ProTaper Gold and ProTaper Universal files by using cone-beam computed tomography. *Indian J Dent Res*. 2016 Jan-Feb;27(1):37-41.

38. Encinas FS, Barbero EG. Biofilm. Un nuevo concepto de infección en Endodoncia. 2010;28(No 4):241–56.

39. Endodoncia Limas BlueShaper . (2020, 13 de diciembre). Zarc4endo.com. <https://www.zarc4endo.com/producto/limas-blueshaper/>

40. Engström B, Hard AF, Segerstad L, Ramstrom G, Frostell G (1964) Correlation of positive cultures with the prognosis for root canal therapy. *Odontologisk Revy* 15, 257–69.

41. Estrela C, Holland R, Estrela CR, Alencar AH, Sousa-Neto MD, Pécora JD. Characterization of successful root canal treatment. *Braz Dent J*. 2014 Jan-Feb;25(1):3-11.

42. Estrella C. *Ciencia Endodóntica*. Brasil: Artes Medicas; 2005.

43. Fariniuk LF, Baratto-Filho F, da Cruz-Filho AM, de Sousa-Neto MD. Histologic analysis of the cleaning capacity of mechanical endodontic instruments activated by the ENDOflash system. *J Endod*. 2003 Oct;29(10):651-3.

44. Fidler A. Kinematics of 2 reciprocating endodontic motors: the difference between actual and set values. *J Endod*. 2014;40(7):990-4.

45. Fruchi LdeC, Ordinola-Zapata R, Cavenago BC, Hungaro Duarte MA, Silveira Bueno CE, De Martin AS. Efficacy of reciprocating instruments for removing filling material in curved canals obturated with a single-cone technique: a micro– computed tomographic analysis. *J Endod*. 2014;40(7):1000-4.

46. Glickman GN. AAE Consensus Conference on Diagnostic Terminology: background and perspectives. *J Endod*. 2009 Dec;35(12):1619-20.

47. Gluskin AH, Peters CL, Peters OA. Minimally invasive endodontics: challenging prevailing paradigms. *Br Dent J* 2014; 216:347–53.

48. Gomes BPFA, Herrera DR. Etiologic role of root canal infection in apical periodontitis and its relationship with clinical symptomatology. *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1): e69.
49. Griffen AL, Beall CJ, Campbell JH, et al. Distinct and complex bacterial profiles in human periodontitis and health revealed by 16S pyrosequencing. *ISME J.* 2012; 6:1176.
50. Guimaraes LS, Gomes CC, Marceliano-Alves MF, et al. Preparation of oval-shaped canals with ~ TRUShape and Reciproc systems: a micro-computed tomography study using contralateral premolars. *J Endod* 2017; 43:1018–22.
51. Haapasalo M, Orstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res.* [Revista on-line] 1987 [citado 31 Mar 2021]; 66(8): [aprox 7p.]. Disponible desde: <http://jdr.sagepub.com/content/66/8/1375.short>.
52. Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. Cohen. *Vías de la Pulpa* (Spanish Edition). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.
53. Hargreaves, Kenneth M.; Berman, Louis H. (2014) Cohen. *Vías de la Pulpa* (Spanish Edition) (pp. 552-553). Elsevier Health Sciences. Edición de Kindle.
54. Harris M, Toller P. The pathogenesis of dental cysts. *Br Med Bull.* 1975; 31:159–163.
55. Heredia TA. Aspectos Microbiológicos de la Periodontitis Apical Crónica Persistente. [monografía en internet]. Venezuela: Carlos bóveda endodoncia; 2004. [citado 31 mar 2021]. Disponible desde: http://www.carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado_41.htm
56. Hieawy A, Haapasalo M, Zhou H, Wang ZJ, Shen Y. Phase transformation behavior and resistance to bending and cyclic fatigue of ProTaper Gold and ProTaper Universal instruments. *J Endod.* 2015;41(7):1134-8.
57. Hulsmann M, Peters OA, Dummer PM. Mechanical preparation of root canals: Shaping goals, techniques and means. *Endod Top.* 2005; 10:30–76.
58. Huston MA (1994). *Biological diversity*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
59. Htun PH, Ebihara A, Maki K, Kimura S, Nishijo M, Okiji T. Cleaning and Shaping Ability of Gentlefile, HyFlex EDM, and ProTaper Next Instruments: A Combined Micro-computed Tomographic and Scanning Electron Microscopic Study. *J Endod.* 2020 Jul 1;46(7):973–9.

60. Hwang YH, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Lee W, Shon WJ, Chang SW. Shaping ability of the conventional nickel-titanium and reciprocating nickel-titanium file systems: a comparative study using micro-computed tomography. *J Endod.* 2014;40(8):1186-9.
61. Ibrahim, Amira & Ashry, Salma & Saber, Shehabeldin & Zaki, Dalia & Nassef, Tamer & Ezzat, Maram. Bending and torsional behavior and stress distribution of three rotary NiTi files and stress distribution during instrumentation of curved root canals (Finite Element Study). *Ain Shams medical journal.* 2016.
62. Ingle, J., & Bakland, L. (2005). *Endodoncia*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
63. Ingle J, Simon J, Walton RE, Pashley D, Bakland L, Heithersay G, et al. *Patología pulpar: etiología y prevención*. En Ingle J, Bakland L, editores. *Endodoncia*. 5ta edición. México. Mc Graw Hill Interamericana, 2004: 95-175.
64. Joviano E, Diniz A, Lopes V, Peters O, Azevedo M. Behavior of Nickel-Titanium Instruments Manufactured with Different Thermal Treatments. *J Endod.* 2015; 41(1):67-71.
65. Karataş E, Ersoy İ, Gündüz HA, Uygun AD, Kol E, Çakıcı F. Influence of instruments used in root canal preparation on amount of apically extruded debris. *Artif Organs.* 2016 (Epub ahead of print).
66. Katz A, Wasenstein-Kohn S, Tamse A, Zuckerman O. Residual Dentin Thickness in Bifurcated Maxillary Premolars After Root Canal and Dowel Space Preparation. *J Endod.* 2006 Mar;32(3):202-5.
67. Kakehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral surg oral med oral pathol.* 1965 sep; 20:340-9.
68. KISHEN A. Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endod Topics.* 2006 Mar;13(1):57-83.
69. Lacerda MFLS, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Provenzano JC, Neves MAS, Pires FR, Gonçalves LS, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Cleaning and Shaping Oval Canals with 3 Instrumentation Systems: A Correlative Micro-computed Tomographic and Histologic Study. *J Endod.* 2017 Nov;43(11):1878-1884.

70. Lamont RJ, Hajishengallis GN, Jenkinson HF. Microbiología e inmunología oral, segunda edición. Lamont, Hajishengallis, Jenkinson, editores. Washington DC, DC, Estados Unidos de América: Sociedad Americana de Microbiología; 2013.
71. Leonardo MR, Leonardo RdT. Sistemas rotatorios en Endodoncia: Instrumentos de Níquel-Titanio: Médica Panamericana; 2002.
72. Liébana Ureña J. microbiología oral. 2.^a ed. Madrid: Interamericana Mc Graw Hill; 2002.
73. Lima I, Rodríguez I, Maso M. Eficacia de la técnica paso – atrás en tratamientos de endodoncia en una sesión. En: rev. Cubana estomatol. Feb 2019. Vol.56, n° .1, p. 2 – 7.
74. Limas BlueShaper® Z1-Z4 21mm Surtido. (Dakota del Norte). Dentalvita.Com. Obtenido el 21 de octubre de 2021 de <https://www.dentalvita.com/catalogo/producto/endodoncia-limas-rotatorias/blueshaper-z1-z4-21mm-surtido>.
75. Lin LM, Pascon EA, Skribner J, Gaengler P, Langeland K (1991) Clinical, radiographic, and histopathological study of endodontic treatment failures. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics 71, 603–11.
76. Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. J Endod. 1992 Dec;18(12):625-7.
77. Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z. Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. Am J Dent. 2006 Dec;19(6):353-8. PMID: 17212077.
78. Lopes, HP; Siqueira Jr, JF Endodoncia: biología e técnica. Río de Janeiro: medsi, 1999. v. 1. 650p.
79. Love R, Jenkinson H. Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. Crit Rev Oral Biol Med 2002; 13(2):171-183.
80. Machado MEL, Nabeshima CK, Caballero-Flores H, Elmadjian-Filho M, Duarte MAH, Ordinola-Zapata R, et al. Instrument design may influence bacterial reduction during root canal preparation. Braz Dent J 2017; 28:587-591.
81. Machado ME, Nabeshima CK, Leonardo MF, Reis FA, Britto ML, Cai S. Influence of reciprocating single-file and rotary instrumentation on bacterial reduction on infected root canals. Int Endod J 2013; 46:1083-1087.

82. Markus Haapasalo & Ya Shen. Evolution of nickel–titanium instruments: from past to future. En: endodontic topics. Sep, 2013. Vol. 29, p. 3–17.
83. Marsh PD. Dental plaque: biological significance of a biofilm and community lifestyle. *J Clin Periodontol* 2005;32(suppl 6):7–15.
84. Metzger Z, Teperovich E, Cohen R, Zary R, Paqué F, Hülsmann M. The self-adjusting file (SAF). Part 3: removal of debris and smear layer-A scanning electron microscope study. *J Endod.* 2010 Apr;36(4):697-702.
85. Metzger Z, Zary R, Cohen R, et al. The quality of root canal preparation and root canal obturation in canals treated with rotatory versus self-adjusting files: a three-dimensional micro-computed tomographic study. *J Endod* 2010; 36:1569–73.
86. Miller WD. An introduction to the study of the bacterio-pathology of the dental pulp. *Dent Cosmos.* 1894; 36:505.
87. Mohammadi Z, Shalavi S, Jafarzadeh H. The oval shaped, root canal: A clinical review. *S. Afr. dent. j.* 2015; 70(5):200-204.
88. Mohammadi Z. Sodium hypochlorite in endodontics: an update review. *Int Dent J.* 2008 Dec;58(6):329-41.
89. Möller AJR, Fabricius L, Dahlén G, et al. Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scand J Dent Res.* 1981; 89:475.
90. Nair PN. Apical periodontitis: a dynamic encounter between root canal infection and host response. *Periodontol* 2000. 1997 Feb; 13:121-48.
91. Nair PN. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004 Nov 1;15(6):348-81.
92. Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J. Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2005 Feb;99(2):231-52.
93. Nair PNR, Sjögren U, Krey G, Kahnberg K-E, Sundqvist G (1990a) Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *Journal of Endodontics* 16, 580–8.

94. Narayanan, L. L., & Vaishnavi, C. (2010). Endodontic Microbiology. *Journal of Conservative Dentistry*, 233-239.
95. Neves MA, Provenzano JC, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Clinical Antibacterial Effectiveness of Root Canal Preparation with Reciprocating Single-instrument or Continuously Rotating Multi-instrument Systems. *J Endod*. 2016 Jan;42(1):25-9.
96. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *Int Endod J*. 2008;41(12):1026–46.
97. Ochoa García NM, Rojas A. Caracterización de una aleación con memoria de forma Niquel-Titanio utilizada para la fabricación de microtubos empleados en operaciones cardiovasculares. Trabajo de Grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales; 2006.
98. Paiva SS, Siqueira JF Jr, Rôças IN, et al. Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: a clinical study. *J Endod* 2012; 38:1202–6.
99. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA. Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod*. 2010 Apr;36(4):703-7.
100. Paqué F, Barbakow F, Peters OA. Root canal preparation with Endo-Eze AET: changes in root canal shape assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J*. 2005 Jul;38(7):456–64
101. Paqué F, Ganahl D, Peters OA. Effects of root canal preparation on apical geometry assessed by micro-computed tomography. *J Endod*. 2009 Jul;35(7):1056-9.
102. Paqué F, Peters OA. Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J Endod*. 2011 Apr;37(4):517-21.
103. Pérez AR, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Gonçalves LS, Neves AA, et al. Effects of increased apical enlargement on the amount of unprepared areas and coronal dentine removal: a micro-computed tomography study. *Int Endod J*. 2018 Jun 1;51(6):684–90.
104. Pérez AR, Ricucci D, Vieira GCS, Provenzano JC, Alves FRF, Marceliano-Alves MF, Rôças IN, Siqueira JF Jr. Cleaning, Shaping, and Disinfecting Abilities of 2 Instrument Systems as Evaluated by a Correlative Micro-computed Tomographic and Histobacteriologic Approach. *J Endod*. 2020 Jun;46(6):846-857.

105. Pérez Morales M de las N, González Sánchez JA, Olivieri JG, Elmsmari F, Salmon P, Jaramillo DE, et al. Micro-computed Tomographic Assessment and Comparative Study of the Shaping Ability of 6 Nickel-Titanium Files: An In Vitro Study. *J Endod.* 2021 May;47(5):812–9.
106. Peters OA, Arias A, Paqué F. A Micro-computed Tomographic Assessment of Root Canal Preparation with a Novel Instrument, TRUShape, in Mesial Roots of Mandibular Molars. *J Endod.* 2015 Sep;41(9):1545–50.
107. Peters OA. Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod.* 2004 Aug;30(8):559-67.
108. Peters OA, De Azevedo Bahia MG, Pereira ES. Contemporary Root Canal Preparation. *Innovation in Biomechanics. Dent Clin North Am* 2017;61(15):37-58.
109. Peters OA, Laib A, Rügsegger P, Barbakow F. Three-dimensional analysis of root canal geometry by high-resolution computed tomography. *J Dent Res.* 2000 Jun;79(6):1405-9.
110. Peters OA, Schanenberger K, Laib K. Effects of four Ni-Ti preparations techniques on root canal geometry, assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001; 34:221–30.
111. Plotino G, Grande NM, Mazza C, Petrovic R, Testarelli L, Gambarini G. Influence of size and taper of artificial canals on the trajectory of NiTi rotary instruments in cyclic fatigue studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109(1):60-6.
112. Plotino G, Giansiracusa Rubini A, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cutting efficiency of Reciproc and Wave One reciprocating instruments. *J Endod.* 2014;40(8):1228-30.
113. Prada I, Micó-Muñoz P, Giner-Lluesma T, Micó-Martínez P, Collado-Castellano N, Manzano-Saiz A. Influence of microbiology on endodontic failure. Literature review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2019 May 1;24(3): e364-e372.
114. Ribeiro D, Marques M, Salvadori D. Antimicrobial endodontic compounds do not modulate alkylation-induced genotoxicity and oxidative stress in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2006; 102: e32-e36.
115. Ricucci D, Bergenholtz G. Bacterial status in root-filled teeth exposed to the oral environment by loss of restoration and fracture or caries--a histobacteriological study of treated cases. *Int Endod J.* 2003 Nov;36(11):787-802.

116. Ricucci D, Siqueira JF Jr. Biofilms and apical periodontitis: study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod* 2010; 36:1277–88.
117. Saber Sel-D, El-Hady SA. Development of an intracanal mature *Enterococcus faecalis* biofilm and its susceptibility to some antimicrobial intracanal medications; an-in vitro study. *Eur J Dent*. 2012 Jan;6(1):43-50. PMID: 22229006; PMCID: PMC3252799.
118. Saito D, de Toledo Leonardo R, Rodríguez JLM, et al. Identification of bacteria in endodontic infections by sequence analysis of 16S rDNA clone libraries. *J Med Microbiol*. 2006; 55:101.
119. Sakamoto M, Siqueira Jr JF, Rôças IN, Benno Y. Bacterial reduction and persistence after endodontic treatment procedures. *Oral Microbiol Immunol*. 2007; 22:19.
120. Sánchez, EAS (Octubre de 2017). Morfología de los conductos radiculares de primeros molares permanentes, mediante tomografía axial computarizada de haz cónico (Universidad Nacional Autónoma De Nicaragua UNAN - León). Obtenido de <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6899/1/240537.pdf>
114.
121. Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*. 1974 Apr;18(2):269-96. PMID: 4522570.
122. Seltzer S, Bender IB, Turkenkopf S (1963) Factors affecting successful repair after root canal therapy. *Journal of the American Dental Association* 67, 651–62.
123. Shen Y, Qian W, Abtin H, Gao Y, Haapasalo M. Effect of environment on fatigue failure of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod*. 2012;38(3):376-80.
124. Shen Y, Zhou HM, Zheng Y, Peng B, Haapasalo M. Current challenges, and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod*. 2013;39(2):163-72.
125. Shen Y, Zhou H, Zheng Y, et al. Current challenges, and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013; 39:163–72.
126. Shenoi PR, Luniya DA, Badole GP, Makade CS, Kubde R, Khode RT. Comparative evaluation of shaping ability of V-Taper 2H, ProTaper Next, and HyFlex CM in curved canals using cone-beam computed tomography: An in vitro Study. *Indian J Dent Res*. 2017;28(2):181-186.

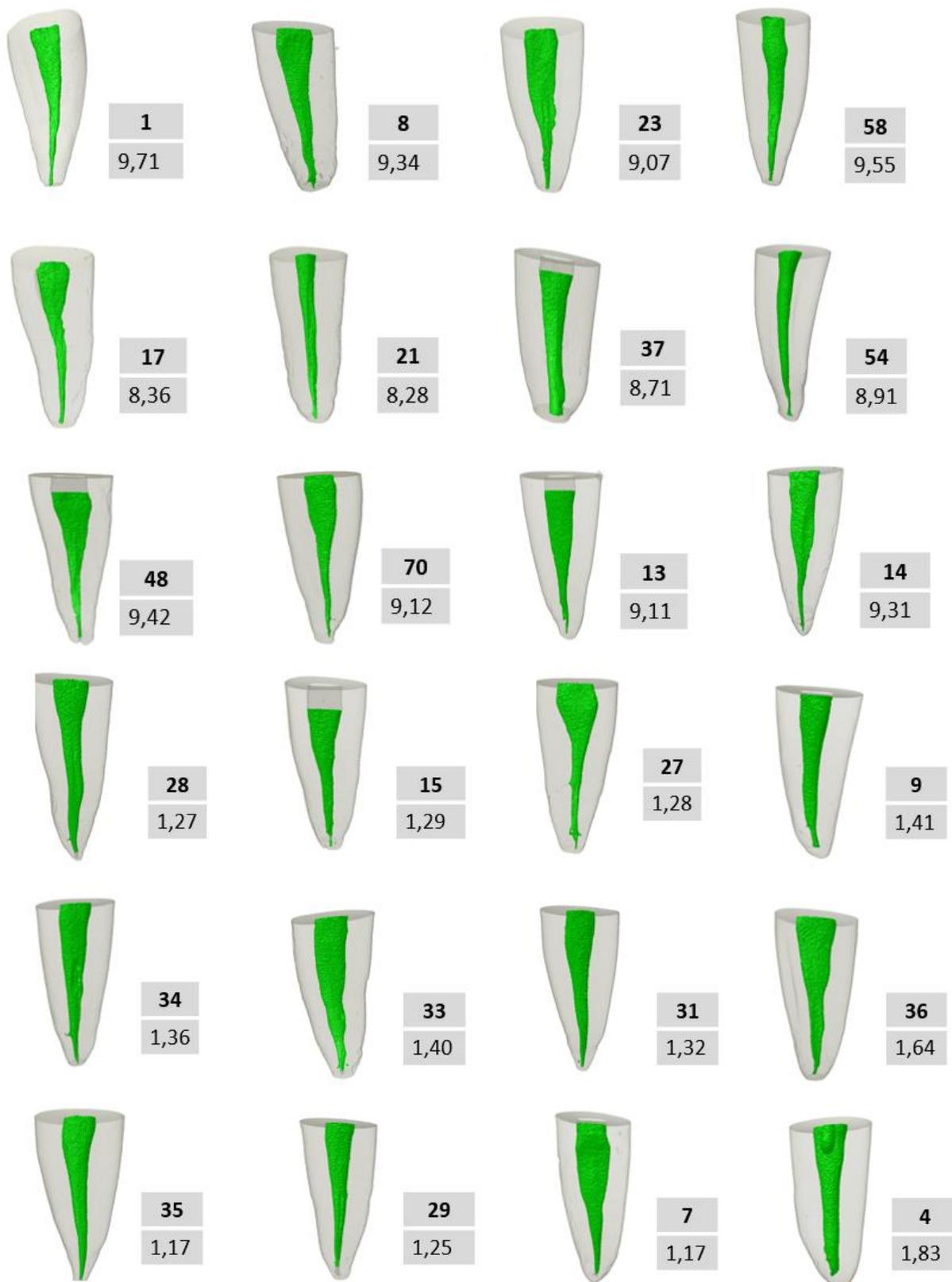
127. Shepard LI. A personal remembrance of Dr. Louis I. Grossman. *Gen Dent.* 1992 Mar-Apr;40(2):141-2. PMID: 1499967.
128. Silva EJNL, Lima CO de, Barbosa AFA, Lopes RT, Sassone LM, Versiani MA. The Impact of TruNatomy and ProTaper Gold Instruments on the Preservation of the Periradicular Dentin and on the Enlargement of the Apical Canal of Mandibular Molars. *J Endod.* 2022 May;48(5):650–8.
129. Siqueira JF Jr. Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J.* 2001 Jan;34(1):1-10.
130. Siqueira J. Endodontic Infections: Concepts, paradigms, and perspectives. *Oral SurgOral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2002;94(3):281–93.
131. Siqueira, Jose F. Jr. Irrigation. En: In: Siqueira. *Treatment of Endodontic Infections.* Alemania: Quintessence; 2011. p.78-85.
132. Siqueira JF Jr. Microbial causes of endodontic flare-ups. *Int Endod J.* 2003 Jul;36(7):453-63.
133. Siqueira JF Jr. *Treatment of Endodontic Infections.* London: Quintessence Publishing, 2011.
134. Siqueira JF Jr, Araújo MCP, Filho PFG, Fraga RC, Saboia Dantas CJ (1997) Histological evaluation of the effectiveness of five instrumentation techniques for cleaning the apical third of root canals. *Journal of Endodontics* 23, 499–502.
135. Siqueira Junior JF, Rôças IDN, Marceliano-Alves MF, Pérez AR, Ricucci D. Unprepared root canal surface areas: causes, clinical implications, and therapeutic strategies. *Braz Oral Res.* 2018 Oct 18;32(suppl 1): e65.
136. Siqueira JF Jr, Pérez AR, Marceliano-Alves MF, Provenzano JC, Silva SG, Pires FR, Vieira GCS, Rôças IN, Alves FRF. What happens to unprepared root canal walls: a correlative analysis using micro-computed tomography and histology/scanning electron microscopy. *Int Endod J.* 2018 May;51(5):501-508.
137. Siqueira, J.F, Rôças, I.N. and Ricucci, D. (2010), Biofilms and apical periodontitis. *Endod Topics*, 22: 33-49.
138. Siqueira JF Jr, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2008 Nov;34(11):1291-1301.e3.
139. Siqueira Jr JF, Rôças IN. Diversity of endodontic microbiota revisited. *J Dent Res.* 2009; 88:969.

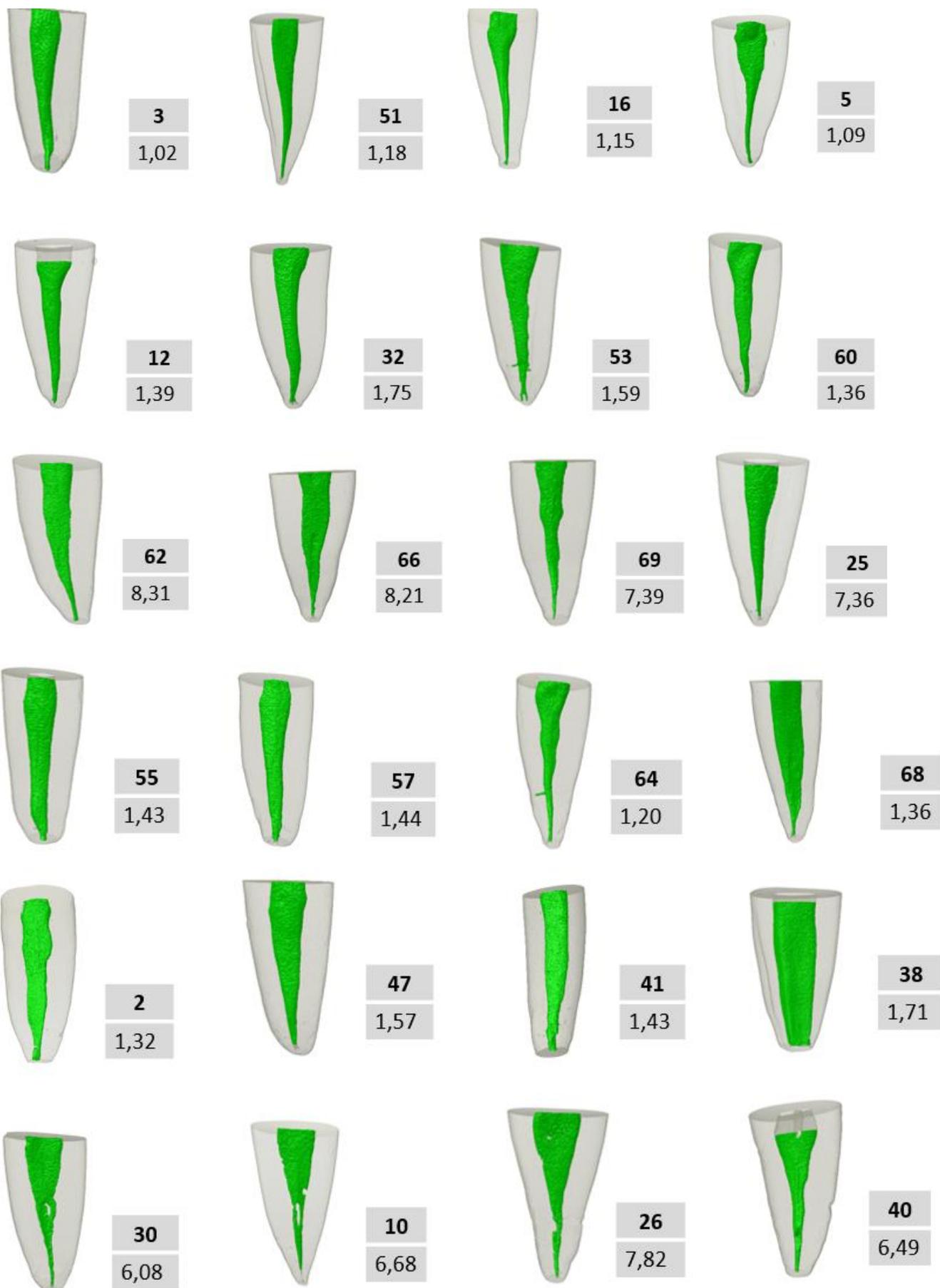
140. Siqueira Jr JF, Rôças IN. Optimising single-visit disinfection with supplementary approaches: A quest for predictability. *Australian Endodontic Journal*. 2011 Dec;37(3):92–8.
141. Sjögren U. Success and failure in endodontics. *Aust endod newsl*. 2010; 22 (2): 26–26.
142. Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J*. 1997 Sep;30(5):297-306.
143. Sousa-Neto MD de, Silva-Sousa YC, Mazzi-Chaves JF, Carvalho KKT, Barbosa AFS, Versiani MA, et al. Root canal preparation using micro-computed tomography analysis: a literature review. *Braz Oral Res*. 2018 Oct 18;32(suppl 1).
144. Sswhitedental.com. [cited February 3, 2021]. Available at: <http://www.sswhtedental.com/media/productpdf/endoguide/endobrochure.pdf>.
145. Stern S, Patel S, Foschi F, Sherriff M, Mannocci F. Changes in centring and shaping ability using three nickel-titanium instrumentation techniques analysed by micro-computed tomography (μ CT). *Int Endod J*. 2012 Jun;45(6):514–23.
146. Sundqvist G. Bacteriological studies of necrotic dental pulps. Umeå University Odontological Dissertation, Umeå, Suecia. 1976.
147. Sundqvist G. Ecology of the root canal flora. *J Endod*. 1992;18(9):427-30.
148. Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U (1998) Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics* 85, 86–93.
149. Svenssa G., Bergenholtz G. Biofilms in endodontic infections. *Endodontic Topics*. 2004; 9, 27–36.
150. Swain M v, Xue J. State of the Art of Micro-CT Applications in Dental Research. *Int J Oral Sci*. 2009 Dec;1(4):177–88.
151. Tabassum S, Khan FR. Failure of endodontic treatment: The usual suspects. *Eur J Dent*. 2016; 10:144-7.
152. Ten Cate AR. The epithelial cell rests of Malassez and the genesis of the dental cyst. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1972; 34:956–964.

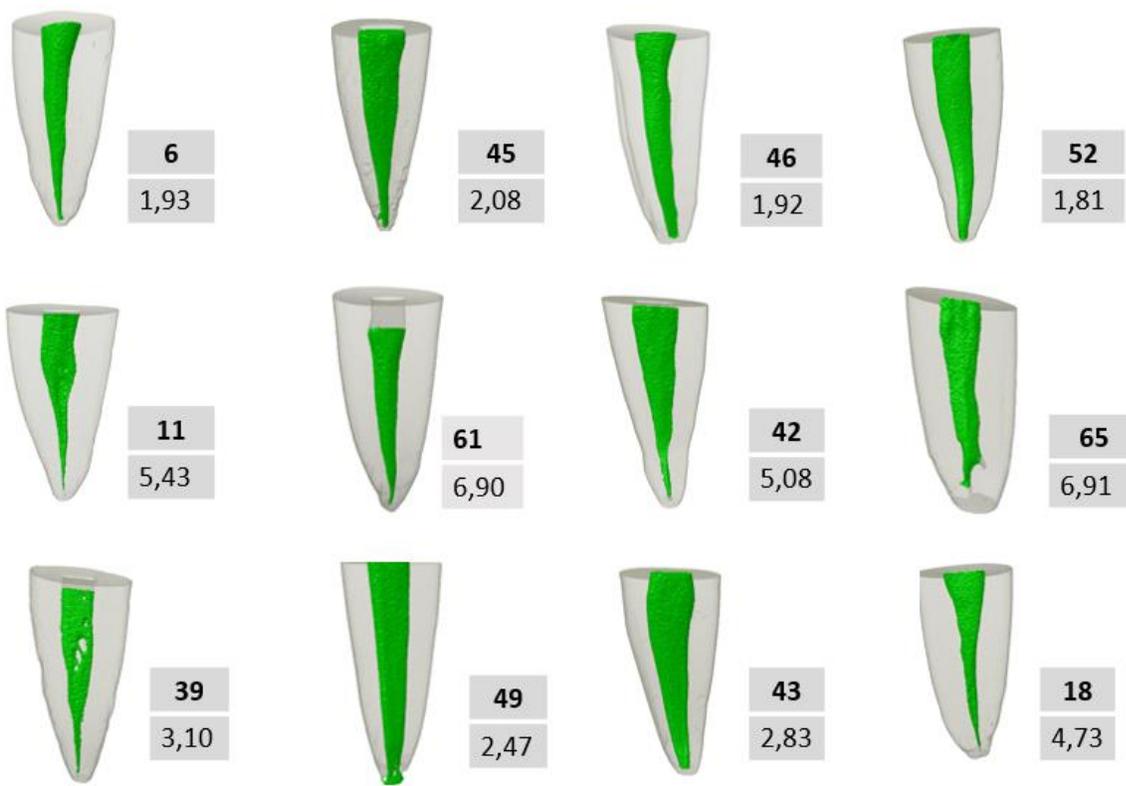
153. Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM, Gambarini G. Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod.* 2011;37(9):1293-5.
154. Torabinejad M, Walton R. *Endodoncia Principio y Práctica*. Cuarta Edi. Barcelona, España: ELSEVIER; 2010.
155. Triana Martínez, Frías Figueredo, Figueredo Cortés. 2010. De su historia, Surgimiento y desarrollo de la endodoncia. *Revista Científico estudiantil de Ciencias Médicas de Cuba*. Revista 16 de Abril. Consultado en <http://www.16deabril.sld.cu/rev/233/09.html> el 20 de enero de 2021.
156. Troiano G., Dioguardi M., Cocco A., Giannatempo G., Laino L., Ciavarella D., Berutti E., Lo Muzio L. Influence of Operator's Experience on the Shaping Ability of Protaper Universal and Waveone Systems: A Estudio comparativo de conductos radiculares simulados. *Abra Dent. J.* 2016; 10: 546–552.
157. Troiano G, Dioguardi M, Cocco A, Zhurakivska K, Ciavarella D, Muzio LL. Increase in [corrected] the glyde path diameter improves the centering ability of F6 Skytaper. *Eur J Dent.* 2018 Jan-Mar;12(1):89-93.
158. Valderhaug J. A histologic study of experimentally induced radicular cysts. *Int J Oral Surg.* 1972; 1:137–147.
159. Venino PM, Citterio CL, Pellegatta A, Ciccarelli M, Maddalone M. A Micro-computed Tomography Evaluation of the Shaping Ability of Two Nickel-titanium Instruments, HyFlex EDM and ProTaper Next. *J Endod.* 2017 Apr;43(4):628–32.
160. Vera J, Siqueira JF Jr, Ricucci D, Loghin S, Fernández N, Flores B, Cruz AG. One- versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study. *J Endod.* 2012 Aug;38(8):1040-52.
161. Versiani MA, Carvalho KKT, Mazzi-Chaves JF, Sousa-Neto MD. Micro-computed Tomographic Evaluation of the Shaping Ability of XP-endo Shaper, iRaCe, and EdgeFile Systems in Long Oval-shaped Canals. *J Endod.* 2018 Mar;44(3):489-495.
162. Versiani MA, Leoni GB, Steier L, De-Deus G, Tassani S, Pécora JD, de Sousa-Neto MD. Micro-computed tomography study of oval-shaped canals prepared with the self-adjusting file, Reciproc, WaveOne, and ProTaper universal systems. *J Endod.* 2013 Aug;39(8):1060-6.
163. Vianna ME, Horz HP, Gomes BP, Conrads G. In vivo evaluation of microbial reduction after chemo-mechanical preparation of human root canals containing necrotic pulp tissue. *Int Endod J* 2006; 39:484–92.

164. V-Taper 2H files from SS White [Internet]. Endovations.es. [cited February 3, 2021]. Available at: <https://endovations.es/limas-rotatorias/3379-limas-v-taper-2h-sswhite.html>.
165. Walia H., Brantley W. A., Gerstein H., (1988) “An initial investigation of the bending and torsional properties of nitinol root canal files”, *J Endodon*; 4(7): 346-351.
166. Webber J. Shaping canals with confidence: WaveOne GOLD single-file reciprocating system [Internet]. *Moderndentistrymedia.com*. [cited 2021 Jan 24] Available from: http://www.moderndentistrymedia.com/june_july2016/webber.pdf
167. Wu MK, R'Oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2000; 89:739-43.
168. Wu MK, Wesselink PR. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J*. 2001 Mar;34(2):137-41.
169. You SY, Kim HC, Bae KS, Baek SH, Kum KY, Lee W. Shaping Ability of Reciprocating Motion in Curved Root Canals: A Comparative Study with Micro-Computed Tomography. *J Endod*. 2011 Sep;37(9):1296–300.
170. Zambrano de la Peña S, Salcedo D, Petkova M, Ventocilla M. Biofilm en Endodoncia: una revisión. *Odontol Samarquina*. 2016;19(2):45–9.

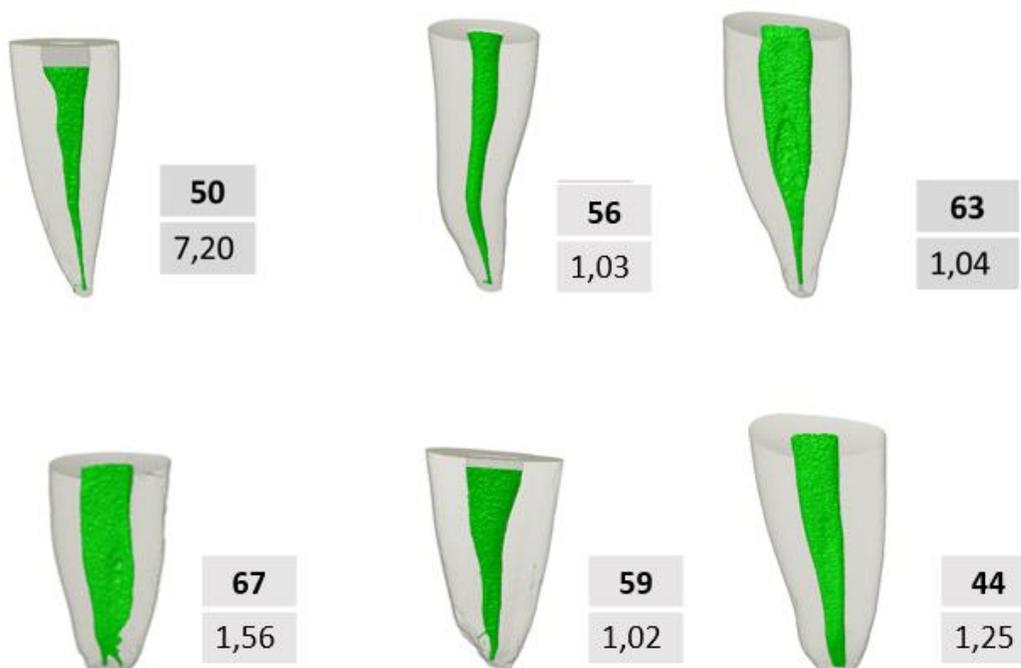
3.2 Figuras







PIEZAS EXTRAS



DIENTE	LT EXACTA -1MM	LT-VERNIER	PUNTO DE REFERENCIA	NUMERO DE LIMA	LT-ANILLO	LT EXACTA-1 MM ANILLO
1	20.87	21.87	BORDE	# 15	21	20
2	20.88	21.88	BORDE	#15	21	20
3	14.15	15.15	BORDE	#15	14.5	13.5
4	18.53	19.53	BORDE	#15	18.5	17.5
5	19.29	20.29	BORDE	#15	19	18
6	20.45	21.46	BORDE	#15	20.5	19.5
7	18.69	19.69	BORDE	#15	18.5	17.5
8	20.91	21.91	BORDE	#15	21	20
9	17.90	18.90	BORDE	#15	18	17
10	22.60	23.60	BORDE	#15	22.5	21.5
11	20.32	21.32	BORDE	#15	20.5	19.5
12	20.87	21.87	BORDE	#15	20.5	19.5
13	21.00	22.00	BORDE	#15	21	20
14	18.20	19.20	BORDE	#15	18.5	17.5
15	20.40	21.40	BORDE	#15	20.5	19.5
16	22.52	23.52	BORDE	#10	22.5	21.5
17	22.90	23.90	BORDE	#15	22.5	21.5
18	18.57	19.57	BORDE	#15	18.5	17.5
19	19.57	20.57	BORDE	#15	19.5	18.5
20	19.36	20.36	BORDE	#15	19	18
21	23.09	24.09	BORDE	#15	24	23
22	18.73	19.73	BORDE	#15	19	18
23	19.82	20.82	BORDE	#15	20	19
24	19.23	20.23	BORDE	#15	19.5	18.5
25	19.07	20.07	BORDE	#15	19.5	18.5
26	19.08	20.08	BORDE	#15	19.5	18.5
27	19.57	20.57	BORDE	#15	20	19
28	20.15	21.15	BORDE	#15	20.5	19.5
29	19.71	20.71	BORDE	#15	20	19
30	19.98	20.98	BORDE	#15	20	19
31	21.10	22.10	BORDE	#15	21.5	20.5
32	19.45	20.45	BORDE	#15	19.5	18.5
33	22.15	22.15	BORDE	#15	21	20
34	20.11	21.11	BORDE	#15	19.5	18.5
35	22	23	BORDE	#15	21.5	20.5
36	19.76	20.76	BORDE	#15	20	19
37	15.34	16.34	BORDE	#15	16	15
38	18.72	19.72	BORDE	#15	19	18
39	21.06	22.06	BORDE	#15	21	20
40	19.16	20.16	BORDE	#15	19	18
41	19.57	20.57	BORDE	#15	19	18
42	17.82	18.82	BORDE	#15	17	16

43	21.05	22.05	BORDE	#15	21	20
44	20.09	21.09	BORDE	#15	20	19
45	19.01	20.01	BORDE	#15	19.5	18.5
46	20.60	21.60	BORDE	#15	20.5	19.5
47	18.02	19.02	BORDE	#15	18	17
48	19.86	20.86	BORDE	#15	20	19
49	21.20	22.20	BORDE	#15	21.5	20.5
50	18.92	19.92	BORDE	#15	19	18
51	20.08	21.08	BORDE	#15	21	20
52	19.25	20.25	BORDE	#15	19	18
53	22.02	23.02	BORDE	#15	22 *	21
54	23.84	24.84	BORDE	#15	24.5	23.5
55	17.63	18.63	BORDE	#15	17.5	16.5
56	23.80	24.80	BORDE	#15	24	23
57	19.02	20.02	BORDE	#15	18.5	17.5
58	18.70	19.70	BORDE	#15	18.5	17.5
59	17.05	18.05	BORDE	#15	17	16
60	19.02	20.02	BORDE	#15	19.5	18.5
61	19.56	20.56	BORDE	#15	19.5	18.5
62	21.96	22.96	BORDE	#15	21.5	20.5
63	18.58	19.58	BORDE	#15	18.5	17.5
64	19.29	20.29	BORDE	#15	19	18
65	14.91	15.91	BORDE	#15	15	14
66	22.36	23.36	BORDE	#15	22	21
67	17.61	18.61	BORDE	#15	17.5	16.5
68	18.85	19.85	BORDE	#15	18.5	17.5
69	18.02	19.02	BORDE	#15	18	17
70	20.01	21.01	BORDE	#15	20	19
71	14.65	15.65	BORDE	#15	15	14
72	17.99	18.99	BORDE	#15	18	17

Tabla 1. Datos de longitud de trabajo de las muestras de estudio

HyFlex™ EDM	Blue Shaper	TruNatomy™	DCTAPER ^H
Micro CT INICIAL	Micro CT INICIAL	Micro CT INICIAL	Micro CT INICIAL
2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s
Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15
2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s	2 ml NaOCL 2,5% /30 s
25/.12 - 2/3 conducto - 3P	ZX - 2/3 conducto - 3P	20 .08 - 2/3 conducto - 3P	15/.02- 2/3 conducto - 3P
1 ml NaOCL 2,5% /30 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s
Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15
Glider 10/.05- CT- 3P	Z1/ 0,14 - CT- 3P	Glider 17 /.02- CT- 3P	14V.03 - CT- 3P
1 ml NaOCL 2,5% /30 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	1 ml NaOCL 2,5% /30 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s
Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15
25/.08 -CT-3P	Z2/0,17 -CT - 3P	Small 20/ .04- CT- 3P	20V.06 - CT- 3P
Patencia ISO 15	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	1 ml NaOCL 2,5% /15 s
Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15	Patencia ISO 15
5ml NaOCL 2,5% /60 s	Z3/0,19 -CT - 3P	Prime 026 /.04- CT- 3P	22V.07 - CT- 3P
Micro CT FINAL	1 ml NaOCL 2,5% /15 s	Patencia ISO 15	1 ml NaOCL 2,5% /15 s
	Patencia ISO 15	5ml NaOCL 2,5% /60 s	Patencia ISO 15
	Z4/0,25 -CT - 3P	Micro CT FINAL	Patencia ISO 15
	Patencia ISO 15		25V.06 - CT- 3P
	5ml NaOCL 2,5% /60 s		Patencia ISO 15
	Micro CT FINAL		5ml NaOCL 2,5% /60 s
			Micro CT FINAL

Tabla 2. Diagrama de flujo de preparación químico mecánica

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Blue Shaper	TruNatomy™	DCTAPER^H	Hyflex EDM
1	8	23	58
27	21	37	54
48	70	13	14
28	15	27	9
34	33	31	36
35	29	1	4
3	51	16	5
12	32	53	60
62	66	69	25
55	57	64	68
2	47	41	38
30	10	26	40
6	45	46	52
11	61	42	65
39	49	43	18

Tabla 3. Tabla de apareamiento de los grupos

