

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN ENDODONCIA

TESIS DE MAESTRÍA

**“COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN DE DOS LOCALIZADORES ELECTRÓNICOS
APICALES EN DIENTES EXTRAÍDOS QUE PRESENTAN ÁPICES MADUROS.
ESTUDIO IN VITRO”**

Presentado por

KEEVIN JOSUÉ GONZÁLEZ TORRES

ASESOR: KENNETH RODERICO PINEDA PALACIOS

Guatemala, septiembre de 2025

Tabla de contenido

Tabla de contenido

Sumario	5
1. Introducción	7
2. Problema de la investigación	8
3. Justificación	11
4. Antecedentes	12
5. Marco teórico	14
5.1 Región Apical y periapical.....	14
5.2 Ápice radicular	15
5.3 Etapas de los cambios en la evolución del Ápice radicular	15
5.3.1 Primera etapa de evolución del ápice radicular	16
5.3.2 Segunda etapa de evolución del ápice radicular	16
5.3.3 Tercera etapa de la evolución apical de la raíz.....	16
5.3.4 Cuarta etapa de la raíz apical	16
5.3.5 Calcificación del ápice radicular.....	17
5.4 Anatomía De Los Conductos Radiculares	17
5.4.1 Generalidades	17
5.4.2 Clasificación de los conductos radiculares	17
5.4.3 Variantes topográficas de los ápices radiculares	18
5.4.4 Variantes en la disposición de los conductos radiculares en su porción apical	18
5.4.5 Foramen Apical.....	19
5.4.6 Tamaño y configuración de Foramen Apical.....	19
5.4.7 Cambios a medida que avanza la edad.....	20
5.4.8 Constricción Apical	22
5.4.9 Unión Cemento-Dentina-Conducto (CDC).....	23
5.5 Longitud de trabajo	25
5.5.1 Generalidades	25
5.5.2 Referencias anatómicas importantes frente a la longitud de trabajo	26

5.5.3 Consecuencias de una mala determinación de la longitud de trabajo	27
5.6 Localizadores apicales.....	28
5.6.1 Historia de los localizadores electrónicos apicales	29
5.6.2 Generaciones de localizadores electrónicos apicales	30
5.6.3 Comprobación in vitro	37
5.7 Root ZX II Apex Locator -J. Morita-.....	38
5.7.1 Características Generales	38
5.7.2 Modo de uso	39
5.7.3 Funcionamiento	39
5.8 E-PEX PRO -Eighteeth-.....	39
5.8.1 Características generales	40
5.8.2 Modo de uso	40
5.8.3 Funcionalidad	40
5.9 Autodesk AutoCAD	40
5.9.1 Qué es Autodesk AutoCAD	41
5.9.2 Mediciones en Unidades Pequeñas con AutoCAD.....	41
6. Objetivos	42
6.1 Objetivo general.....	42
6.2 Objetivo específico.....	42
7. Hipótesis	42
7.1 Hipótesis general	42
7.2 Hipótesis específicas	42
8. Variables	43
8.1 Variable dependiente	43
8.2 Variable independiente	43
9. Marco metodológico	44
9.1 Tipo y diseño de la investigación	44
9.2 Enfoque de la investigación	44
9.3 Método de investigación	44
9.3.1 Método hipotético-deductivo	44
9.3.2 Técnica de campo	44

9.3.3 Instrumentos de investigación	45
9.3.4 Comprobación in vitro	45
9.4 Población de estudio y muestra	45
9.5 Criterios de selección.....	46
9.5.1 Criterios de inclusión	46
9.5.2 Criterios de exclusión	46
9.6 Procedimiento	46
9.6.1 Materiales utilizados	46
9.6.2 Selección de dientes de muestra	47
9.6.3 Acceso endodóntico	47
9.6.4 Preparación de muestras y materiales de trabajo de medición	48
9.6.5 Medición con localizadores de ápice	48
9.6.6 Procesamiento de ápice radicular.....	50
10. Pruebas estadísticas.....	53
10.1 Análisis estadístico	54
11. Ética de la investigación.....	54
12. Resultados	54
12.1 Estadísticas Descriptivas	55
12.2 Resultados objetivo e hipótesis general.....	59
13. Discusión de resultados	60
13.1 Análisis de los Resultados	63
13.2 Interpretación de los resultados principales	63
13.3 Revisión de las hipótesis y análisis estadístico.....	64
13.4 Implicaciones clínicas y metodológicas.....	64
13.5 Relación con estudios previos	64
14. Conclusiones.....	65
14.1 Conclusión sobre los equipos evaluados	66
14.2 Futuras líneas de investigación.....	67
15. Recomendaciones.....	68
16. Limitaciones	68
17. Perspectivas de futuro.....	69
18. Referencias bibliográficas.....	70

19. Anexos	79
19.1 Fotografías dientes grupo Root ZX II® (Japón)	79
18.2 Fotografías dientes grupo E-PEX PRO (República Popular de China)	92
19.3 Mediciones en AutoCAD	105
19.3.1 Mediciones grupo Root ZX II® (Japón).....	105
19.3.1 Mediciones grupo E-PEX PRO	109
19.5 Localizador E-Pex Pro	113
19.6 Localizador Root ZX II.....	113
19.7 OPMI Pico Zeiss	114
19.8 Materiales utilizados	114
19.8.1 Alginato.....	115
19.8.2 Resina fluida azul	115
19.8.3 Limas K manuales	115
19.8.4 Recipiente plástico.....	116
19.8.5 Lampara de fotocurado.....	116
19.9 Hojas de aprobación de fases de tesis.	117

Sumario

El propósito de este estudio experimental in vitro es evaluar y comparar la precisión de los localizadores electrónicos apicales, entre Root ZX y E-Pex Pro al determinar la longitud del conducto en dientes monoradiculares. La medición se realizó con magnificación por medio de un microscopio operatorio a 12.5X de aumento, tomas de fotografías y medición con sistemas digitales que determinan la distancia en micras para mayor exactitud.

Materiales y Métodos: Se seleccionaron 80 dientes monoradiculares. Se efectuaron las mediciones electrónicas (ME) con Root ZX y E-Pex Pro. Se realizó el acceso endodóntico en todos los dientes y se determinó la longitud real (LR) del conducto a 0.5 mm del foramen mayor. Las mediciones electrónicas de cada diente se compararon con la longitud de trabajo (LT) analizándose las diferencias con la prueba estadística de U Mann Whitney.

Resultados: La exactitud del localizador de ápice Root ZX y E-Pex Pro, en determinar la LT, no obtuvo diferencia estadísticamente significativa por lo que se determina que a pesar de ser una marca de reciente ingreso al mercado local posee los mismos resultados que los localizadores catalogados como "Gold Estándar" y pueden ser utilizados con total seguridad y tranquilidad en tratamientos endodónticos.

Discusión y Conclusión: Este estudio revela resultados de uno de los localizadores más prometedores de los últimos años fabricado por una empresa altamente industrializada, se habla en particular del E-Pex Pro, que hasta el momento de la realización este estudio no ha recibido mucho reconocimiento. La investigación muestra que, a pesar de ser una marca comercial y el aparato en particular de reciente lanzamiento, el E-Pex Pro ofrece una precisión comparable a la del ampliamente reconocido Root ZX, el cual es considerado un "Gold Standard" en el campo de la localización de conductos radiculares en la rama de la endodoncia. Este hallazgo sugiere que los localizadores electrónicos apicales E-Pex Pro, pueden ser una opción viable y confiable para los profesionales de endodoncia, proporcionando una alternativa, sin comprometer la precisión y eficacia en la determinación de la longitud del conducto radicular. Esta investigación reafirma lo mencionado por los autores Aguiar et al. (2017), Chukka et al. (2020), Gordon & Chandler (2004), Khan et al. (2022), Martins et al. (2014), Tampelini et al. (2017), Tsesis et al. (2015) en cuanto al uso herramientas endodónticas para la determinación correcta y lo más precisa posible de la longitud de trabajo, esto como conclusión nos permite establecer que la tecnología desarrollada para el E-Pex Pro es adecuada para uso cotidiano en tratamientos endodónticos. Su precisión es estadísticamente respaldada por lo que es una buena alternativa para los clínicos que realizan procedimientos de

endodoncia en su práctica. Además, se concluye que el Root Zx II sigue siendo un equipo que a pesar de su lanzamiento con más años de antigüedad es todavía hoy en día altamente preciso y sigue sirviendo como parámetro guía en los estudios comparativos de esta tecnología.

1. Introducción

La unión entre el cemento y la dentina es el punto del conducto donde el cemento se encuentra con la dentina. Es también el punto donde finaliza el tejido pulpar y comienza el tejido periodontal. La ubicación de esta unión en el conducto radicular puede variar considerable y generalmente no coincide con la estrechez apical, estimándose aproximadamente 1mm del foramen apical. (Canalda Sahli, C. C. S., & Brau Aguadé, E. B. 2014).

El foramen apical es una estructura que marca la terminación del conducto cementante en la superficie externa de la raíz. Por lo general, no se encuentra en el punto anatómico más bajo, sino que se desplaza de 0,5 a 3 mm. Esta variación es más notoria en dientes más antiguos debido a la acumulación de cemento.

Las etapas del tratamiento de conducto, específicamente la preparación y el llenado biomecánico, requieren una medición precisa de la longitud del diente. La falta de determinación de la longitud de trabajo adecuada puede provocar daños en el tejido periapical y errores en el tratamiento (Hargreaves, K. M. 2020).

La radiografía es el método más comúnmente utilizado para determinar la longitud de trabajo, pero presenta desventajas como distorsiones, acortamientos, alargamientos y variaciones en la interpretación. Los localizadores electrónicos de ápice (LEA) han surgido como una alternativa que elimina muchas de estas desventajas (Hargreaves, K. M. 2020).

La principal ventaja del LEA es medir la distancia desde el punto de referencia en la parte superior hasta el foramen apical, en lugar de llegar al ápice en las radiografías. Los primeros localizadores se veían afectados por factores como el contenido del conducto, restos de tejido pulpar, sangrado y pus, sin embargo, se han alcanzado grandes avances tecnológicos que han permitido a localizadores de ápice poderse utilizar en combinación con endomotores para medir simultáneamente la longitud de trabajo durante la instrumentación del conducto radicular (Gay M., & Serrano, O 2003).

Tradicionalmente, las radiografías y la sensación táctil del operador se usaban para localizar el ápice radiográfico y la estrechez apical, respectivamente. Dado que los métodos radiográficos convencionales presentan diversas limitaciones, como inexactitudes y la falta de coincidencia entre el foramen apical y el ápice radiográfico, surgió una nueva alternativa para determinar la longitud de trabajo, que se define como la distancia entre un punto de referencia en la parte superior y el lugar donde debe finalizar la preparación y obturación (Ramos M. et al. 2015).

Los localizadores apicales electrónicos (LEA) se han convertido en una herramienta invaluable en la práctica endodóntica moderna, asegurando una determinación más precisa y predecible de la longitud de trabajo

2. Problema de la investigación

La estructura del ápice radicular es fundamental para entender los procedimientos endodónticos, ya que su complejidad anatómica influye tanto en el pronóstico como en el éxito del tratamiento. El ápice, que representa el extremo de la raíz dental, contiene el foramen apical, una apertura principal a través de la cual pasan los vasos sanguíneos y nervios. En muchos dientes, este foramen no tiene una forma perfectamente redonda ni se ubica en el extremo exacto de la raíz, pudiendo estar desplazado, lo que se conoce como "foramen desplazado". Tanto su tamaño como su ubicación pueden variar dependiendo de la edad y los procesos de reabsorción radicular. Además, la constricción apical, que es la zona más angosta del conducto radicular justo antes del foramen, se considera el lugar ideal para finalizar la preparación y obturación endodóntica, ya que es un sitio natural para el sellado. No obstante, en algunos casos, la constricción apical puede no estar claramente definida, y la distancia entre esta y el foramen puede variar (Schilder, 1974).

La anatomía del ápice es de gran importancia, ya que el foramen apical varía en complejidad y, ocasionalmente, un foramen real o una constricción menor pueden estar ausentes. En el campo de la endodoncia, localizar con precisión el foramen apical es un desafío en cada tratamiento. En la actualidad, existen diversos métodos para determinar la ubicación del foramen apical, muchos de los cuales reducen la exposición a radiación del paciente y permiten la detección temprana de perforaciones y fracturas radiculares (Gay M., & Serrano, O 2003).

Establecer correctamente la distancia desde un punto de referencia en la corona hasta el foramen apical es un procedimiento de gran importancia en un tratamiento endodóntico. Según la Asociación Americana de Endodoncistas (AAE), la longitud de trabajo se define como la distancia desde un punto de referencia coronal hasta el punto en el que debe finalizar la preparación y obturación del conducto. Esta distancia varía según el diente, la raíz y el paciente, lo que plantea un desafío para el profesional en la ubicación exacta del foramen apical. Los resultados insatisfactorios pueden incluir una infra-instrumentación y un "relleno insuficiente", que implica una obturación incompleta del espacio del conducto radicular con huecos, lo que afecta la limpieza, la conformación y la obturación, dejando microorganismos en el conducto radicular (A.A.E. 2020) (Hargreaves, K. M. 2020).

Otro resultado insatisfactorio es la sobreinstrumentación, la sobreextensión y el sobreobtusión del conducto. La sobre instrumentación se produce cuando se llega más allá del foramen, resultando en la pérdida del foramen apical natural. La sobre extensión es la obturación del conducto radicular con material que se extiende más allá del foramen apical, a menudo debido a la falta de un tope apical durante la instrumentación. El sobreobtusión implica una obturación del conducto radicular con material que se extiende más allá del foramen apical. La presencia de estos tres factores puede dificultar la cicatrización y comprometer el éxito del tratamiento de conductos (Hargreaves, 2020). Para determinar la longitud de trabajo se pueden utilizar cinco métodos principales: el conocimiento anatómico, la percepción táctil, la observación de humedad en las puntas de papel, las radiografías y los localizadores apicales. Usar una combinación de estos enfoques suele ser clave para lograr un tratamiento endodóntico exitoso. Sin embargo, cada uno presenta limitaciones, como la sensación táctil, que solo puede ser utilizada con precisión por manos experimentadas, sin embargo, no se recomienda su uso (Parolia, Gait, Porto, & Mala, 2013).

Para una determinación efectiva y simplificada del foramen apical, se utilizan localizadores electrónicos apicales (LEA). Ha habido varias generaciones de estos localizadores, siendo los de tercera generación los más reconocidos por su precisión al utilizar la comparación de impedancias. Las primeras generaciones tenían deficiencias y eran criticadas por su efectividad, ya que se basaban únicamente en la resistencia y la impedancia. La cuarta generación, aunque más reciente, se considera menos efectiva en conductos extremadamente secos. La quinta generación mide resistencia y capacitancia y las compara con una base de datos. La sexta generación, con poca referencia en la literatura, se basa en el mismo principio que la quinta, midiendo resistencia y capacitancia y se integra en un endomotor (Gordon & Chandler 2004) (Hargreaves, K. M. 2020) (Romero Chevez, 2020).

Aunque los localizadores de ápices han cambiado la manera en que se establece la longitud de trabajo en endodoncia, todavía hay clínicos que usan los métodos tradicionales, incluyendo la comprensión anatómica del diente, el sentido táctil, la humedad en las puntas de papel, las radiografías, y frecuentemente una combinación de todos estos. (Hargreaves, 2020).

Los localizadores de ápices electrónicos son ahora dispositivos indispensables en la endodoncia porque ayudan al dentista a establecer la longitud de trabajo correcta con más precisión durante el tratamiento. El funcionamiento de tales dispositivos se basa en un sistema eléctrico que localiza el foramen apical entre dos electrodos, una conectado al instrumento y la otra al paciente. Han avanzado en términos de diseño y operación, aumentando así tanto su exactitud como su consistencia con el tiempo. Hoy en día,

Hargreaves (2020) señala que estos instrumentos son útiles para un tratamiento más predecible y seguro del conducto radicular (Romero Chávez, s.f.).

Las primeras dos generaciones de localizadores eran poco precisas y proporcionaban lecturas incorrectas en presencia de electrolitos. A partir de la tercera generación, se superó este problema y se convirtió en el estándar de referencia al que se comparan otros localizadores. La cuarta generación es similar a la tercera, pero su limitación es que requiere conductos relativamente secos. Por último, las quinta y sexta generación son generaciones que suscitan cuestionamientos sobre su existencia; sin embargo, se desempeñan bien en conductos con exudados o sangre, así como en conductos secos. Por lo tanto, es esencial evaluar las ventajas y desventajas de cada generación de localizador apical para seleccionar el más adecuado según las condiciones y necesidades de cada caso, optimizando así la comodidad, el tiempo y la eficiencia del endodoncista en el tratamiento (Hargreaves, K. M. 2020) (Romero Chevez, 2020).

La precisión de la longitud de trabajo es crucial para el éxito de un tratamiento endodóntico, y esta precisión se logra mediante la utilización de un localizador electrónico apical. El foramen apical puede variar en su ubicación anatómica, lo que puede dificultar su detección mediante radiografías periapicales convencionales (2D). Dado que la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) no siempre está disponible, el clínico debe confiar en su conocimiento de las diversas variaciones anatómicas de los conductos radiculares y en métodos convencionales adicionales para determinar la ubicación del foramen apical (Hoer, D., & Attin, T. 2004) (Miletic, V. et al. 2011).

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la precisión de uno de los dispositivos más recientes de producción en cuanto a localizadores apicales y determinar si sus mediciones durante la instrumentación pueden extenderse más allá de la constricción apical, lo que podría causar una herida innecesaria y contaminación del conducto radicular en los tejidos perirradiculares, lo que interferiría con la cicatrización.

A nivel mundial, existen numerosas empresas que producen localizadores electrónicos apicales, ofreciendo diversas marcas y modelos en el mercado. Esto es relevante para los profesionales de la odontología, ya que la confiabilidad de dispositivos de empresas nuevas en el mercado es desconocida. Por lo tanto, se requiere realizar estudios para verificar la utilidad y confiabilidad de estos dispositivos en la práctica odontológica.

Según los datos recabados para esta investigación, el localizador E-PEX PRO® no cuenta actualmente amplio número de estudios que evalúen su desempeño, mucho menos su precisión.

En términos concretos las preguntas que resumen el proceso fueron las siguientes:

¿Cuál es el nivel de precisión considerando la distancia del foramen apical mayor al extremo de la lima?

¿Existe diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones de dos grupos diferentes entre los localizadores apicales Root ZX® y E-PEX PRO®?

3. Justificación

La precisión de las mediciones de la longitud de trabajo es uno de los factores cruciales en el éxito del tratamiento endodóntico. Esta distancia debe ser lo más precisa posible y mantenerse así durante todo el proceso de instrumentación y obturación. Para eso, se recomienda que el profesional de la odontología cuente con recursos precisos, como los LEA's, que permiten una identificación más precisa de la posición del foramen apical que las formas tradicionales.

Cuando se habla de anatomía, en dientes humanos en este caso en particular, el foramen apical puede encontrarse en el ápice radicular o puede estar de manera lateral, lo que dificulta la fácil detección del foramen apical en radiografías periapicales estándares bidimensionales (2D). A pesar de que la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) proporciona una imagen tridimensional (3D) muy confiable y más precisa así como la visualización de la anatomía tanto de la raíz misma como del conducto radicular, lo que lo hace muy benéfico, sin embargo, su uso está limitado debido al costo, la disponibilidad y la dosis de radiación, restringiéndolo de un uso rutinario. Por lo mencionado, se debe depender en la mayoría de las veces en el conocimiento anatómico y de radiografías de buena calidad y técnicas complementarias como los LEA's para la localización del foramen apical.

La localización precisa de esta longitud es muy importante porque la sobre instrumentación puede agrandar el tamaño de la entrada del paquete vasculonervioso (pulpar) lo que puede llevar a, contaminar el conducto, interferir en la curación, producir una inflamación apical y provocar una reacción a los medicamentos y materiales de relleno, estos factores pueden afectar en el éxito del tratamiento.

Hoy en día, a nivel mundial, hay un gran número de fabricantes de LEA's en todo el mundo y nuevas marcas emergentes. No obstante, la precisión y exactitud de estos últimos dispositivos aún necesita ser evaluada completamente, particularmente para las marcas de reciente fabricación. Esta incertidumbre hace necesaria la realización de estudios comparativos para evaluar su rendimiento y validez clínica, lo que permitirá la implementación de estos dispositivos en la práctica dental de manera segura y beneficiosa.

Hasta la fecha, no hay informes en las principales revistas científicas indexadas que traten sobre la precisión de E-Pex Pro®, un localizador apical electrónico (Changzhou Sifary Technology Co.), con el modelo de la marca Eighteeth, del año 2016, de la República Popular de China. Por el contrario, el Root ZX® (J. Morita Corp., Tokio, Japón).

Además, la comparación del rendimiento de estos dispositivos no solo validará o invalidará la efectividad de este dispositivo de reciente fabricación, sino también proporcionará un marco para estudios clínicos supervisados de otros disponibles para profesionales de la endodoncia.

4. Antecedentes

1. Aguiar et al. (2017) – Localizador Electrónico de Foramen Root ZX: es una investigación ex vivo de la precisión y reproducción de sus tres modelos. Este estudio in vitro (evaluó 32 premolares mandibulares de raíz única) probó tres dispositivos Root ZX (Root ZX, Root ZX II y Root ZX Mini). La longitud del conducto se determinó comparando de lado a lado la longitud real (medida con el microscopio y calibrada digitalmente) con la obtenida electrónicamente.
 - a. Muestra: 32 premolares humanos.
 - b. Resultados: Las diferencias fueron comparadas mediante ANOVA y la prueba de Tukey.
 - c. Resultados: La precisión (determinaciones dentro de ± 0.5 mm) fue del 68.8% para Root ZX y Root ZX Mini, mientras que fue del 65.8% para Root ZX II, y para una zona de aceptación de ± 1.0 mm fue del 100% tanto con Root ZX como con Root ZX Mini y del 96.9% con Root ZX II. La evaluación estadística no mostró una diferencia estadísticamente significativa entre los dispositivos ($P > 0.05$).
2. Chukka et al. (2020) – Desempeño de un Localizador Apex Integrado en la Determinación de la Longitud de Trabajo en Diferentes Medios de Irrigación. En este estudio in vivo, se analizó el desempeño del localizador combinado Root ZX Mini (VDW Gold IAL) ya que en 40 pacientes se extrajo un diente. Las LT se establecieron en presencia de dos soluciones desinfectantes de conductos radiculares (NaOCl y CHX).
 - a. Materiales y métodos: Cuarenta ($n = 40$) pacientes (dientes con LT).
 - b. Estadística: pruebas t independientes.
 - c. Resultados: En cuanto a la detección del foramen menor, no existieron diferencias en la irrigación (ya sea NaOCl o CHX) cuando se aplicó el Root

ZX Mini (NaOCl: $P = 0.234$; CHX: $P = 0.085$), siendo similares en ambas condiciones.

3. Gordon & Chandler (2004) – Localizadores Electrónicos de Ápice. En esta revisión se discuten también los dispositivos ultrasónicos como concepto, así como la historia de su desarrollo, con referencia a los localizadores electrónicos de ápice endodónticos, basándose en el ejemplo del Root ZX, ya que el nivel de precisión en la determinación de la longitud de trabajo ha mejorado sustancialmente con las técnicas mencionadas, junto con una disminución en el uso de otros métodos de diagnóstico o radiográficos.
 - a. Muestras: Muestreo indirecto (es una revisión bibliográfica).
 - b. Estadísticas: No es un artículo que te diga 90% y valores p para el Root ZX, pero claramente ha establecido su fiabilidad, así como es uno de los "estándares de oro" en conductometría electrónica.
 - c. Hallazgos/resultados generales: Hay una validación de resultados, sí.
4. Khan et al. (2022) – Comparación de Radiovisiografía, donde un Localizador de Ápice y un Localizador de Ápice incorporado en un Endomotor Integrado realizó conductometría de Dientes Primarios. Este ensayo in vivo realizó un informe de la comparación entre tres métodos de determinación de longitud de trabajo en dientes primarios, incluyendo el Root ZX Mini. Se analizó un total de 84 conductos (58 dientes) en niños de 4 a 12 años.
 - a. Muestras: 58 dientes primarios (84 conductos) de niños.
 - b. Estadísticas: Se utilizó la prueba t pareada.
 - c. Resultados: El Root ZX Mini demostró, un ideal en mediciones, con la longitud de trabajo real (100% control de precisión ± 0.5 mm) y no mostró ninguna diferencia estadísticamente significativa con la longitud del conducto radicular real ($P = 0.18$).
5. Martins et al. (2014) – Eficacia de los Localizadores Electrónicos de Ápice: El estudio es una Revisión Sistemática. Se evaluó la efectividad de los localizadores electrónicos de ápice versus la determinación radiográfica de la longitud de trabajo. No se reportan porcentajes o valores p específicos para Root ZX, sin embargo, se afirma que los LEA's incluyendo Root ZX, reducen la exposición a radiación y determinan más precisamente la longitud de trabajo en comparación con las técnicas radiográficas tradicionales.
 - a. Participantes: Esta revisión de ensayos clínicos en algunos pacientes es (estudio 1: muestra mixta de ensayos).
 - b. Resultados/Estadísticas: No se proporciona una descripción detallada de los números para el Root ZX, pero la revisión hace notar problemas

metodológicos con la evidencia disponible y apoya la evidencia para el método electrónico.

6. Tampelini et al. (2017) – Evaluación in vivo de la precisión de Propex II, Root ZX II, y realmente localizadores de ápice proroot para localizar el foramen apical. Fue un estudio in vivo, donde se compararon radiográficamente 32 premolares con dos LEA's, Propex II y Root ZX II.
 - a. Muestras: 32 premolares de conducto único.
 - b. Método estadístico: Se realizó una correlación de Pearson (r) y se utilizó ANOVA con prueba post hoc de Tukey.
 - c. Resultados: Se encontró una alta correlación entre la medida con Root ZX II y la medida visual ($r = 0.94$); se encontraron diferencias significativas entre las mediciones radiográficas y las mediciones realizadas por los LEA's ($p < 0.05$), demostrando la precisión de Root ZX II en la detección del foramen mayor.
7. Tsesis et al. (2015) – Precisión de los localizadores electrónicos de ápice en la determinación de la longitud de trabajo: una revisión sistemática y metaanálisis. En este metaanálisis, se evaluó la precisión de diferentes LEA's, como el Root ZX, midiendo la distancia de trabajo (entre la punta del archivo y la constricción apical).
 - a. Materiales y Métodos: 10 artículos cumplieron los criterios de inclusión con 1105 dientes humanos medidos.
 - b. Estadísticas: Se utilizó una evaluación metaanalítica; las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre la precisión de los dispositivos.
 - c. Resultados: En el metaanálisis realizado, el Root ZX y varios otros instrumentos (Justy II y Endy 5000) fueron significativamente más precisos que el Endox ($p < 0.05$). Además, se encontró que la precisión del Root ZX estaba relacionada con el irrigante empleado, ya que funcionó significativamente mejor en presencia de peróxido de hidrógeno que con hipoclorito de sodio ($p < 0.05$).

5. Marco teórico

5.1 Región Apical y periapical

Es la zona donde finaliza la longitud de trabajo del diente y está conformada por tejido que rodea el ápice radicular. Esta región está en relación con el periodonto, el cual puede alterarse por intervención profesional, acción de bacterias y otras toxinas. Además, es

considerada como una región de gran actividad metabólica por su papel en la reparación apical (Parolia, Gait, Porto, & Mala, 2013).

5.2 Ápice radicular

La estructura terminal en el vértice o punta de la raíz (Ápice radicular) mide aproximadamente 2 a 3 mm. El ápice generalmente no coincide con el foramen apical y mucho menos con el límite cemento-dentina del conducto. Según Skillen, la forma cónica de las raíces de los dientes se puede atribuir a que el tejido en la base de la papila y dentro del folículo se vuelve más fibroso, proporcionando así mayor resistencia al paso del paquete vasculonervioso y formando una banda dentaria compuesta por células odontoblasticas. (Saad, A. Y & Al-Yahya, A. S. 2003).

Las fuerzas de masticación influyen en las características del ápice completamente formado, ya que estimulan los tejidos de la raíz en formación. Cuando el diente entra en oclusión, la raíz presenta una banda delgada y cónica de dentina parcialmente calcificada, aún sin formación de cemento.

En el estadio de calcificación de la dentina y el cemento, existen dos posibles alternativas: una es la existencia de una circulación colateral debido a que los vasos no se mantienen en un solo fascículo, y la otra es que los vasos se conduzcan unidos durante parte del trayecto hacia la pulpa, formando así el foramen central. (Saad, A. Y & Al-Yahya, A. S. 2003).

Otro aspecto importante en la estructura apical es la adherencia del fascículo de fibras a la pulpa. Esto se explica porque la pulpa dentaria en el ápice se vuelve fibrosa, adquiriendo mayor resistencia, lo que estimula la diferenciación tisular y la formación de dentina y cemento en el lumen del foramen. (Saad, A. Y & Al-Yahya, A. S. 2003).

Es importante destacar que todas las características de la estructura apical son bastante irregulares debido a las fuerzas, movimientos y tracciones de nuestra oclusión, ya que estas se producen antes de la génesis de las raíces de los dientes.

5.3 Etapas de los cambios en la evolución del Ápice radicular

Para comprender la evolución del ápice radicular, es esencial considerar las cuatro etapas fundamentales que permiten analizar los cambios en la relación tisular pulpo-periodoncia. Estos cambios son:

- El ápice está ampliamente abierto y sus paredes divergentes en forma de embudo.

- El ápice comienza a cerrar, aunque las paredes del conducto siguen siendo divergentes en el extremo foraminal.
- El ápice se estrecha y se cubre de cemento.

La formación y evolución del ápice radicular de los dientes es un proceso complejo y vital que asegura la estabilidad y funcionalidad de las piezas dentarias. Este proceso ocurre en varias etapas, cada una caracterizada por cambios específicos en la estructura y composición del ápice, y es un indicador clave del desarrollo dental en los seres humanos (Parolia, Gait, Porto, & Mala, 2013).

5.3.1 Primera etapa de evolución del ápice radicular

El desarrollo radicular comienza una vez que la corona del diente ha terminado de formarse. En esta etapa inicial, las células de la vaina epitelial de Hertwig juegan un papel crucial al inducir la diferenciación de los odontoblastos, que son responsables de la producción de dentina radicular. Este proceso da lugar a la formación del primer tercio del ápice del diente. (Mora Coloma, 2002) (Gómez de Ferraris & Campos Muñoz, 2010).

5.3.2 Segunda etapa de evolución del ápice radicular

En la segunda etapa, la longitud de la raíz del diente sigue aumentando y el ápice muestra un contorno un poco más desarrollado. Ahora, el ápice aún no está sellado y existe un pequeño lumen por el cual pasa el cordón pulpar. Esta etapa es esencial para la correcta conexión y fusión de la raíz con el entorno circundante. El tejido dental comienza a depositarse más rápidamente, en la dentina por dentro y en el cemento por fuera. (Mora Coloma, 2002) (Gómez de Ferraris & Campos Muñoz, 2010)

5.3.3 Tercera etapa de la evolución apical de la raíz

En la tercera etapa, el depósito de dentina y cemento aumenta, causando una reducción significativa en el conducto radicular, principalmente en el tercio apical. Con la formación del ápice, se establece un conducto más estrecho que protege los tejidos intradentales y forma una base sólida para el diente. Durante este tiempo, el ápice aún no está completamente cerrado, pero se observan alteraciones sustanciales en su forma y organización. (Mora Coloma, 2002) (Gómez de Ferraris & Campos Muñoz, 2010).

5.3.4 Cuarta etapa de la raíz apical

Por último, en la fase de cierre apical, los ápices dentales están completamente cerrados y rodeados por dentina, cemento y el periodonto en la zona apical. El pedículo tarso-nervioso contiene las estructuras nerviosas y sanguíneas del diente a medida que penetran en la cámara pulpar. Esta lenta expansión del lumen permite una condición bien perfundida e inervada, lo que es importante para la salud del tejido pulpar, así como para

la sensibilidad del diente. (Mora Coloma, 2002) (Gómez de Ferraris & Campos Muñoz, 2010). El ápice radicular se completa aproximadamente tres años después de la erupción del diente.

5.3.5 Calcificación del ápice radicular

El ápice radicular se completa aproximadamente tres años después de la erupción del diente.

5.4 Anatomía De Los Conductos Radiculares

5.4.1 Generalidades

Krasner y Rankow realizaron un estudio en 500 dientes, mostrando que la unión amelo-cementaria es crucial para localizar las cámaras pulpaes y las entradas de los conductos radiculares. Esta investigación también concluyó que el piso y las paredes de la cámara pulpar tienen una anatomía específica (Krasner & Rankow, 2004).

5.4.2 Clasificación de los conductos radiculares

La clasificación de Weine describe las diferentes configuraciones que los conductos radiculares pueden presentar dentro de una raíz, lo cual es esencial para planificar tratamientos endodónticos adecuados. Weine estableció cuatro tipos principales de configuraciones basadas en la morfología de los conductos radiculares a lo largo de su trayecto desde la cámara pulpar hasta el ápice. (Weine, F. S et. al 1969).

Weine los clasifica los conductos radiculares en cuatro tipos:

- Tipo I: un conducto único de la cámara pulpar hasta el ápice.
- Tipo II: dos conductos separados que abandonan la cámara, pero se reúnen a corta distancia del ápice para formar un único conducto.
- Tipo III: dos conductos que se encuentran separados abandonando la cámara pulpar y la raíz por dos forámenes distintos.
- Tipo IV: un único conducto que abandona la cámara pulpar se divide a corta distancia del ápice formando dos conductos separados con sus respectivos forámenes. (Weine, F. S et. al 1969).

Según la clasificación de Vertucci, las variantes radiculares se refieren a las diferentes configuraciones que los conductos radiculares pueden adoptar dentro del diente. Esta clasificación es muy utilizada en endodoncia en cuanto a la anatomía del sistema de conductos radiculares, esto ayuda planificar y ejecutar de manera más efectiva los tratamientos. (Vertucci, F. J. 1984).

Tipos de Configuración del Sistema de Conductos Radiculares según Vertucci:

- Tipo I: Un solo conducto radicular que se extiende desde la cámara pulpar hasta el foramen apical.
- Tipo II: Dos conductos separados que comienzan desde la cámara pulpar, pero se unen en un único conducto antes de llegar al foramen apical.
- Tipo III: Un conducto que se divide en dos en el transcurso de la raíz, pero luego se vuelve a unir antes del foramen apical.
- Tipo IV: Dos conductos separados que comienzan desde la cámara pulpar y permanecen separados durante todo el trayecto hasta los dos forámenes apicales.
- Tipo V: Un solo conducto que se divide en dos antes de llegar al foramen apical, formando dos forámenes separados.
- Tipo VI: Dos conductos separados que se unen en un punto intermedio y luego se vuelven a dividir antes de llegar al foramen apical, resultando en dos forámenes.
- Tipo VII: Un solo conducto que se divide en dos, luego se vuelve a unir y se divide de nuevo, resultando en dos forámenes apicales.
- Tipo VIII: Tres conductos separados que permanecen así hasta llegar a tres forámenes apicales distintos. (Vertucci, F. J. 1984).

5.4.3 Variantes topográficas de los ápices radiculares

Las raíces dentales pueden terminar en un ápice recto, siguiendo el eje principal del diente. Cuando el ápice no es recto, sino curvo, puede orientarse hacia distal, mesial, vestibular, lingual o palatina. También puede presentarse una doble curvatura, con una forma que asemeje una "S" o una bayoneta (Mora Coloma, 2002).

Los dientes que más comúnmente presentan ápices rectos incluyen los incisivos centrales superiores e inferiores, los incisivos laterales inferiores, los caninos inferiores y las raíces distales de los primeros y segundos molares inferiores, así como de los primeros molares superiores. Por el contrario, el incisivo lateral superior tiene una mayor probabilidad de presentar ápices curvados hacia distal (Mora Coloma, 2002).

5.4.4 Variantes en la disposición de los conductos radiculares en su porción apical

El conducto principal desemboca en el ápice de la raíz, pero es importante saber que existen ramificaciones de los conductos radiculares principales, las cuales se desarrollan con el tiempo. Durante la adolescencia, el conducto es único y abierto, pero su número puede cambiar según el tipo de diente. Entre los 20 y 40 años, es más común encontrar estas ramificaciones. En dientes unirradiculares, estas disminuyen entre los 40 y 55 años, mientras que en dientes multirradiculares aumentan.

Un estudio de Thomas, que analizó cortes de ápices radiculares, reveló que algunos conductos apicales no estaban conectados con la pulpa en casos de desgaste o descalcificación. Por otro lado, Kronfels señaló que en dientes bien obturados y sin infección en el conducto principal, el cuerpo puede reparar conductos laterales y apicales no obturados. Estos conductos finos contienen tejido vivo que, una vez que se retira la pulpa, puede formar cemento, obliterando los conductos con el tiempo.

5.4.5 Foramen Apical

Después de la erupción del diente y la formación del ápice radicular debido a la estimulación masticatoria, el conducto radicular permanece abierto y amplio por un tiempo, formando lo que se conoce como foramen apical.

Estudios anatómicos han mostrado que el foramen apical tiene forma piramidal, ubicado en la parte más apical del diente. Se compone de dos partes:

- Foramen menor: También llamado constricción apical, se encuentra dentro de la dentina y tiene forma de embudo.
- Foramen mayor: Es la base mayor del foramen, dirigida hacia el ligamento periodontal y ubicada dentro del cemento.

El foramen apical no siempre es visible en radiografías, pero en algunos casos, cuando hay una lesión ósea de origen pulpar, podemos determinar con mayor precisión dónde termina el conducto. (Mora Coloma, 2002).

5.4.6 Tamaño y configuración de Foramen Apical

Antes de la maduración, el foramen apical permanece abierto, pero a medida que el cemento y la dentina proliferan, su tamaño se reduce gradualmente. Este estrechamiento ocurre conforme el diente madura y desempeña sus funciones. Durante la erupción progresiva del diente y su inclinación mesial, se añaden capas de cemento en los ápices radiculares, lo que provoca cambios constantes en la ubicación y forma del foramen o forámenes apicales (Mora Coloma, 2002).

En dientes jóvenes con desarrollo incompleto, el foramen apical tiene una forma de embudo, pero posteriormente se cubre con dentina y cemento. A medida que la raíz sigue desarrollándose, el foramen apical se va estrechando aún más, mientras el cemento se deposita en la superficie interna del ápice radicular, extendiéndose hasta aproximadamente 1 mm dentro del conducto (Mora Coloma, 2002; Saad, 2003).

Grove subrayó que no es necesario obturar los conductos hasta el ápice mismo, sino hasta la unión cemento-dentinaria, que en muchos casos se encuentra dentro del conducto, justo antes de llegar al ápice. Esta unión tiene una ubicación variable, lo que dificulta su localización exacta con métodos tradicionales. Por ello, hoy en día es esencial el uso de radiografías complementadas con localizadores apicales para determinar con mayor precisión la posición de esta unión (Mora Coloma, 2002).

Es importante destacar que el foramen apical no siempre es la parte más estrecha del conducto radicular. A menudo, los estrechamientos pueden presentarse antes de llegar al extremo de la raíz. Chapman documentó la presencia de constricciones a una distancia de entre 0.5 y 1.0 mm del ápice radicular.

Además, el foramen apical puede tener diferentes posiciones. En algunos casos, se encuentra centrado, mientras que en otros puede adoptar una posición lateral, abriéndose hacia mesial, distal, vestibular o lingual. También es posible que siga la curvatura del conducto, lo que añade más variabilidad a su localización y forma (Mora Coloma, 2002).

5.4.7 Cambios a medida que avanza la edad

El foramen apical, cerca del ápice de la raíz de un diente, es la vía principal a través del cual las raíces del diente se comunican con los tejidos circundantes. Debido al desarrollo dental, el envejecimiento y la atención mecánica, la fisiología y función de este foramen experimentan un cambio significativo a lo largo de la vida de un individuo.

Por lo tanto, esto tiene implicaciones directas no solo para las dimensiones y forma del foramen, sino también para el manejo de tratamientos endodónticos.

5.4.7.1 Cambios durante la infancia y la adolescencia

Durante el período temprano en el desarrollo dental, el foramen apical es bastante grande y abierto. Como apunta Mora Coloma (2002), el foramen apical es amplio y abierto antes de que el diente esté completamente maduro porque hay una proliferación mínima de cemento y dentina en esta etapa. Esta abertura amplia permite que los tejidos internos del diente, como la pulpa, mantengan un contacto cercano con el tejido periapical circundante. A medida que avanza el desarrollo, el foramen apical comienza a estrecharse progresivamente debido a la deposición de dentina y cemento. Esta fase de crecimiento es crítica porque establece la estructura básica de la raíz y determina la forma futura del foramen.

Durante la adolescencia, la deposición de capas de cemento en los ápices radiculares, combinada con la masticación continua, provoca cambios en la ubicación y forma del foramen apical. Este proceso de maduración está influenciado por la erupción ascendente del diente, que altera la estructura del foramen y lo hace menos propenso al cambio (Mora Coloma, 2002). A medida que la forma del foramen evoluciona cada vez más lejos de su forma original de embudo con las fuerzas masticatorias, también responde a los patrones regulares de función del individuo.

5.4.7.2 Cambios durante la adultez

En la adultez, la forma del foramen apical se estabiliza, pero su tamaño todavía disminuye en respuesta a la deposición continua de cemento y dentina. Este proceso de estrechamiento progresivo tiene lugar a medida que el diente madura y se adapta a la función mecánica diaria. El cemento se deposita en la superficie interna del ápice radicular a una profundidad de hasta 1 mm (Mora Coloma, 2002; Saad, 2003); esto reduce el área y, por lo tanto, el diámetro en el foramen de manera drástica. Desde una perspectiva clínica, esto plantea un problema en odontología porque reduce el espacio disponible para los tratamientos endodónticos.

Además, Grove pensó que era posible que en la adultez el tratamiento endodóntico podría no necesitar llegar hasta el foramen apical, sino hasta la unión cementodontoide. Esta unión se encuentra dentro del conducto y es difícil de localizar exactamente utilizando métodos convencionales como radiografías. Por esta razón, técnicas modernas como el uso de localizadores de ápice son indispensables en endodoncia (Mora Coloma, 2002).

5.4.7.3 Cambios en la vejez

Con el envejecimiento, los cambios en el foramen apical se vuelven más marcados. La deposición de cemento continúa a lo largo de la vida, lo que lleva a una obliteración gradual del conducto radicular. El foramen apical se vuelve más estrecho, y en algunos casos, puede llegar a estar completamente cerrado debido a la acumulación de cemento, especialmente en personas de mayor edad. Chapman observó que las constricciones en el conducto pueden aparecer a una distancia de entre 0.5 y 1.0 mm del ápice, lo que complica aún más la localización del foramen apical en adultos mayores.

El envejecimiento también afecta la ubicación del foramen apical. Mientras que en muchos casos este se mantiene centrado, en otros puede desplazarse lateralmente hacia mesial, distal, vestibular o lingual. Estos cambios en la posición y forma del foramen reflejan las adaptaciones del diente a lo largo de los años, especialmente en respuesta

a las fuerzas masticatorias (Mora Coloma, 2002). Este desplazamiento puede complicar los procedimientos clínicos, ya que el acceso al foramen apical no siempre es recto o fácil de identificar.

5.4.8 Constricción Apical

La constricción apical es una estructura anatómica esencial en la práctica endodóntica, ya que representa el límite natural del sistema de conductos radiculares. Durante el tratamiento endodóntico, la correcta localización y manejo de la constricción apical es crucial para el éxito clínico, pues garantiza un sellado adecuado, impide la sobre instrumentación y minimiza el riesgo de extrusión de material. Este ensayo explorará la estructura y función de la constricción apical, sus partes constitutivas y su importancia en el contexto de la endodoncia.

5.4.8.1 Estructura y función de la constricción apical

La constricción apical es una zona de estrechamiento que se encuentra dentro del conducto radicular, a pocos milímetros del ápice anatómico del diente. En la mayoría de los casos, está ubicada entre 0.5 mm y 1 mm del foramen apical. Su principal función es actuar como un límite natural entre el conducto radicular y los tejidos periapicales, permitiendo que el contenido del conducto sea sellado de manera efectiva y protegiendo los tejidos periapicales de una posible irritación o infección causada por el tratamiento endodóntico.

La constricción apical también desempeña un papel crucial en la distribución de fuerzas durante la instrumentación del conducto radicular, ya que su forma estrecha reduce el riesgo de daño a los tejidos circundantes. Además, actúa como una barrera para evitar que las bacterias y toxinas del conducto se dispersen hacia los tejidos periapicales.

5.4.8.2 Partes que componen la constricción apical

Anatómicamente, la constricción apical no es una estructura única y fija, sino que puede adoptar diferentes formas. Según la clasificación de Kuttler (1955), se reconocen varios tipos de constricciones apicales:

- Constricción simple: Es una forma uniforme de estrechamiento que presenta una transición suave hacia el foramen apical.
- Constricción múltiple: Consiste en varios estrechamientos a lo largo de la porción apical del conducto radicular.
- Constricción tipo "hombro": En esta variante, se observa un estrechamiento pronunciado que genera un cambio brusco en el diámetro del conducto.
- Constricción irregular: Presenta variaciones en su forma y ubicación, lo que complica la identificación precisa de su límite durante el tratamiento.

La importancia clínica de estas variaciones radica en la dificultad que presentan para ser identificadas mediante la exploración mecánica y radiográfica, lo que puede afectar la precisión del tratamiento.

5.4.8.3 Importancia para la endodoncia

El conocimiento preciso de la constricción apical es de suma importancia en la práctica endodóntica por diversas razones. En primer lugar, determina el límite apical de la instrumentación y obturación del conducto radicular. Los tratamientos que no respetan este límite natural pueden llevar a la sobre instrumentación, lo que resulta en extrusión de desechos y materiales hacia el espacio periapical, generando inflamación, dolor postoperatorio y, en algunos casos, la necesidad de retratamiento (Schilder, 1974).

Además, la localización precisa de la constricción apical es fundamental para la obtención de una longitud de trabajo adecuada. Esto asegura que las intervenciones en el conducto radicular se realicen dentro de un margen seguro, sin comprometer los tejidos periapicales (Ingle & Bakland, 2002). Una longitud de trabajo incorrecta puede provocar resultados desfavorables, como el sellado inadecuado del sistema de conductos, lo que incrementa el riesgo de fracaso endodóntico.

Por otra parte, la constricción apical tiene un papel vital en la prognosis del tratamiento endodóntico. El sellado adecuado de la constricción apical mediante técnicas de obturación como la condensación vertical o la gutapercha termoplástica previene la recontaminación del conducto radicular y favorece la cicatrización de los tejidos periapicales. La capacidad del clínico para trabajar dentro de los límites de la constricción apical es un factor determinante en la prevención de complicaciones postoperatorias y en la reducción del riesgo de abscesos periapicales o granulomas (Sjögren et al., 1997).

5.4.9 Unión Cemento-Dentina-Conducto (CDC)

La unión cemento-dentina-conducto es una estructura clave en la anatomía dental que juega un papel fundamental en los tratamientos endodónticos. Esta región marca el límite entre los tejidos duros del diente (dentina y cemento) y el sistema de conductos radiculares, donde reside la pulpa dental. En el ámbito de la endodoncia, conocer y manejar adecuadamente esta unión es crucial para lograr un tratamiento exitoso. Este ensayo se centrará en las generalidades de esta región anatómica, su composición y función, y su relevancia en los tratamientos endodónticos.

5.4.9.1 Generalidades de la unión cemento-dentina-conducto

La unión cemento-dentina-conducto, también conocida como la unión cemento dentinaria (UCD), es una interfaz que se encuentra en la parte más apical del conducto

radicular, donde el cemento que recubre la raíz del diente se une con la dentina circundante. Se localiza cerca del foramen apical y es una de las principales referencias anatómicas durante la preparación e instrumentación endodóntica.

La UCD no es un punto anatómico fijo, ya que puede variar entre dientes e incluso en un mismo diente dependiendo de factores como la edad del paciente, el desgaste dental y los cambios patológicos que puedan afectar a la raíz dental. A pesar de estas variaciones, se considera una zona crítica en la práctica endodóntica debido a su relación directa con los tejidos periapicales (Cohen & Hargreaves, 2010).

5.4.9.2 Composición y estructura

La unión cemento-dentina-conducto está formada por dos tipos de tejidos duros principales:

- Dentina: Constituye la mayor parte de la estructura radicular. Es un tejido mineralizado compuesto por túbulos dentinarios que permiten la comunicación entre la pulpa dental y el cemento radicular. Su principal función es proporcionar soporte estructural y protección a la pulpa.
- Cemento: Es un tejido mineralizado que recubre la raíz del diente. Tiene la función principal de anclar las fibras del ligamento periodontal a la raíz del diente, permitiendo la conexión entre el diente y el hueso alveolar. En la región de la UCD, el cemento actúa como una barrera protectora frente a los estímulos nocivos provenientes del conducto.

Entre estos dos tejidos existe una zona de transición donde ambos se mezclan. Esta zona no siempre está claramente definida, lo que complica su identificación durante los procedimientos clínicos. Además, su composición puede variar en función de las condiciones fisiológicas y patológicas del diente. Por ejemplo, en dientes con inflamación crónica, la UCD puede estar alterada, lo que afecta la respuesta periapical y el éxito del tratamiento endodóntico (Torabinejad & Rubinstein, 2011).

5.4.9.3 Función de la unión cemento-dentina-conducto

La UCD tiene una serie de funciones que son clave para la salud dental y el éxito de los tratamientos endodónticos. Una de las principales funciones es actuar como una barrera protectora que aísla los tejidos blandos periapicales de los estímulos potencialmente dañinos que se originan en el sistema de conductos. Esta barrera es esencial para evitar la propagación de bacterias y toxinas desde el conducto radicular hacia los tejidos periapicales, lo que podría provocar inflamación, abscesos o granulomas.

Además, la UCD juega un papel crucial en la distribución de fuerzas mecánicas. Durante la masticación, los dientes están sometidos a presiones considerables. La UCD ayuda a distribuir estas fuerzas de manera uniforme a lo largo de la raíz, lo que contribuye a mantener la integridad estructural del diente y reduce el riesgo de fracturas radiculares.

En el contexto endodóntico, esta zona sirve como una referencia anatómica importante durante la instrumentación del conducto radicular. Los clínicos buscan mantenerse dentro de los límites de la UCD para evitar la sobre instrumentación, lo cual puede comprometer la integridad del foramen apical y aumentar el riesgo de extrusión de materiales hacia los tejidos periapicales (Schilder, 1974).

5.4.9.4 Relevancia en la endodoncia

La correcta identificación y manejo de la unión cemento-dentina-conducto es fundamental para el éxito de los tratamientos endodónticos. Durante la preparación del conducto radicular, uno de los principales objetivos es preservar la integridad de esta zona y evitar la extrusión de desechos y materiales obturadores hacia los tejidos periapicales, lo que podría provocar inflamación postoperatoria o dolor.

Además, la UCD es crucial para determinar la longitud de trabajo en endodoncia, ya que marca el límite anatómico donde se debe detener la instrumentación y obturación. El uso de localizadores apicales electrónicos ha mejorado la precisión en la determinación de la longitud de trabajo, permitiendo al clínico ubicar con mayor exactitud la UCD y reducir el riesgo de errores de sobre o su instrumentación (Dummer, 1991).

Otra consideración importante es que la UCD está asociada con la prognosis de los tratamientos endodónticos. Un tratamiento que respete los límites de la UCD y logre un sellado hermético en esta zona tiene más probabilidades de éxito a largo plazo, ya que minimiza la posibilidad de recontaminación bacteriana del conducto (Siqueira & Rôças, 2009).

5.5 Longitud de trabajo

5.5.1 Generalidades

En el ámbito de la endodoncia, cada fase del tratamiento tiene un valor significativo, y una expresión que resume esta perspectiva es que "la fase más importante de la endodoncia es aquella que se está llevando a cabo". Cada etapa tiene el mismo peso en la búsqueda de un tratamiento exitoso, y la determinación de la longitud de trabajo no es una excepción. Este proceso, es esencial para medir la extensión del conducto radicular, lo que garantiza una obturación precisa.

La necesidad de obtener una longitud de trabajo exacta ha impulsado el desarrollo de nuevas técnicas y procedimientos más eficientes. Esta longitud se define como la distancia entre la unión cemento-dentina-conducto (CDC) y una referencia externa anatómica del diente. Medirla adecuadamente asegura una preparación correcta del conducto, evitando problemas como la subinstrumentación, que puede dejar áreas sin limpiar, o la sobre instrumentación, que podría causar dolor postoperatorio o complicaciones adicionales (Martínez Ballester, n.d.; Ferrus & Bratos, n.d.).

La precisión en este cálculo es clave para evitar el fracaso del tratamiento, ya que un error en la medición podría llevar a una limpieza y conformación incompletas o excesivas, afectando el éxito de la endodoncia a largo plazo.

5.5.2 Referencias anatómicas importantes frente a la longitud de trabajo

Varios factores anatómicos importantes deben tenerse en cuenta para entender y discutir el concepto de la longitud de trabajo en endodoncia, tal como lo enfatizan Spironelli y Bramante.

Ápice: El ápice es la punta de la raíz, que es observable desde una radiografía. Por lo general, no coincide con el ápice anatómico debido a la anatomía de la raíz o a la deformación de la imagen.

La unión cemento-dentina-canal (CDC) es otra estructura significativa que forma la unión entre la dentina y el cemento. En esta región del diente, está presente un cono largo de dentina, mientras que se forma un embudo más corto de cemento.

La constricción apical está presente en la porción más estrecha del conducto radicular y es importante para establecer la longitud de trabajo.

La apertura del foramen es el sitio donde los vasos sanguíneos y los nervios hacen su paso desde los tejidos periapicales de las raíces hacia la cámara pulpar.

La longitud del diente es la distancia entre un punto de referencia en la corona y el ápice de la raíz, y la longitud de trabajo está formada por la distancia entre el punto que está en la corona y la constricción de la CDC donde se lleva a cabo la preparación correcta del canal.

Es esencial basar la evaluación prequirúrgica en la radiografía, que es la única fuente confiable de estos datos. La identificación precisa de la longitud de trabajo es crítica para

limpiar y dar forma al canal, y una determinación inapropiada puede llevar al fracaso del tratamiento (Spironelli & Bramante, s.f.; Dummer et al., 1984).

5.5.3 Consecuencias de una mala determinación de la longitud de trabajo

La determinación precisa de la longitud de trabajo (LT) es un aspecto crítico para el éxito de la terapia endodóntica. Cuando no se alcanza la longitud de trabajo precisa, puede tener un impacto negativo en la salud del paciente y en la longevidad del tratamiento. Una longitud de trabajo incorrecta podría llevar a dos condiciones principales: sobreinstrumentación o subinstrumentación.

Si la instrumentación se sobreinstrumenta y los rellenos pasan el foramen apical, puede estimular una serie de complicaciones. Algunas de ellas incluyen perforación del foramen apical, sobreextensión de los materiales de relleno en el tejido periapical, irritación o daño al ligamento periodontal y al hueso alveolar. Estas infecciones pueden irritar el nervio, causar dolor postoperatorio, retardar la curación o causar inflamación o infecciones crónicas (Kuttler, 1955; Dummer et al., 1984).

La instrumentación inadecuada o corta, por otro lado, puede resultar en el fracaso para tratar todo el sistema de conductos radiculares. Esto dejaría secciones del conducto radicular, principalmente en la porción apical, incompletamente desbridada y no desinfectada, de manera que persistiría tejido pulpar necrótico o bacterias en el conducto. Esto puede resultar en un riesgo potencial de fracaso del tratamiento endodóntico a largo plazo, al preservar una infección e inflamación alrededor del periápice (Schilder, 1974).

"La causa del fracaso no es la ausencia de precisión en la limpieza y obturación, ni el resultado de la humedad en el diente, sino en no determinar la longitud de trabajo correcta" (Roberts, 1931). Organizar el tratamiento sin conocer la longitud de trabajo real que existe en el diente es proporcionar a este paciente un tratamiento que no tendrá tanto éxito porque el diente no ha sido limpiado y obturado adecuadamente.

5.5.3.1 Importancia de la Medición de las Longitudes de Trabajo

La longitud de trabajo en endodoncia es la distancia que se mide desde un punto de referencia en la corona del diente hasta el límite donde se debe realizar el proceso de limpieza y conformación del conducto radicular. Determinar esta longitud de manera precisa es esencial por varias razones:

- Limpieza eficiente: Permite la eliminación completa de la pulpa infectada y del tejido necrótico, garantizando que no queden residuos dentro del conducto.
- Confirmación precisa: Asegura que la obturación se realice correctamente sin sobrepasar el ápice radicular, evitando complicaciones asociadas a una sobre obturación.
- Prevención de infecciones: Al medir correctamente, se reduce el riesgo de infección periapical posterior, que puede resultar de un tratamiento incompleto o incorrecto.

Si no se establece de manera adecuada la longitud de trabajo, pueden surgir complicaciones. Entre ellas, se encuentra una instrumentación incompleta y una obturación deficiente, lo que incrementa las posibilidades de fracaso del tratamiento debido a la persistencia de bacterias o tejido no tratado en el conducto radicular. Esto puede comprometer el éxito del procedimiento endodóntico.

5.6 Localizadores apicales

El uso de LEA como herramienta complementaria en la determinación de la longitud de trabajo ha ido en aumento, por lo que es cada vez más importante enseñar el uso de LEA a estudiantes de odontología de pregrado, además de los métodos radiográficos tradicionales.

Sin embargo, solo se han informado en la literatura unos pocos modelos que muestran el uso de LEA. Algunos han sido evaluados como modelos precisos, pero tienden a ser costosos o complicados. Estos incluyen implantar dientes humanos extraídos en un modelo de mandíbula fantasma modificado, modificar un modelo de mandíbula fantasma y luego duplicar en cera para moldear en acrílico y un modelo de gelatina que requería que el operador estabilizara el diente a mano.

La longitud de trabajo -LT- se ha definido como "la distancia desde un punto de referencia coronal hasta el punto en el que debe terminar la preparación y obturación del conducto". Se ha dicho que la LT para la instrumentación y obturación del sistema de conductos radiculares debe establecerse en la constricción apical. La constricción apical, también conocida como diámetro menor, representa la transición entre la pulpa y el tejido periodontal en la unión cemento-dentinaria. Se ha sugerido la unión cemento-dentinaria como la posición de terminación del relleno del conducto. Los estudios anatómicos han demostrado que la constricción apical se encuentra entre 0,5 y 1,0 mm del foramen externo o mayor.

Históricamente, los métodos para determinar la LT incluyen el uso de radiografías, sensación táctil y localizadores de ápice electrónicos (LEA). Sin embargo, las

radiografías están sujetas a distorsión, aumento, variabilidad de interpretación y falta de representación tridimensional. Se ha encontrado que el error de aumento es del 5,4% con una técnica de paralelismo. Como resultado, la LT determinada a partir de radiografías se genera aliado mide aproximadamente 0,5 a 1 mm por debajo del ápice radiográfico.

Se pueden encontrar foraminas principales hasta 3.5 mm desde el ápice radiográfico en algunos dientes. En estos casos, cuando el conducto termina al nivel de la película, el aspecto radiográfico es "corto" y cualquier reemplazo hará que la longitud de trabajo sea demasiado lejana.

Una longitud de trabajo más allá de la parada apical menor puede llevar a una perforación apical y una sobreextensión de la instrumentación del conducto radicular. Esto puede aumentar el dolor postoperatorio del paciente y posiblemente interferir o prevenir la curación.

Por otro lado, una longitud de trabajo por debajo del diámetro menor puede causar un desbridamiento y un relleno insuficientes del conducto. Pero el sentido táctil no es muy sensible y su exactitud es algo dudosa.

Los conductos que tienen una curvatura exagerada, un ápice inmaduro o conductos calcificados no permitirán sentir la constricción apical. Custer fue la primera persona que utilizó un método para localizar el foramen apical con electricidad.

El hallazgo de Suzuki de que las mediciones de resistencia eléctrica entre el ligamento periodontal y la mucosa oral mostraron un valor constante (6.5 k Ω) llevó a la invención del primer localizador electrónico de ápices (LEA).

Ambos localizadores de cúspides periodontales no eran precisos debido a la presencia de líquidos o tejido pulpar en el conducto. La mejora en la tecnología de LEA ha resultado en la evolución de localizadores electrónicos de ápices que responden con lecturas precisas en presencia de electrolitos. Los fabricantes recomiendan que los conductos estén húmedos en lugar de secos.

5.6.1 Historia de los localizadores electrónicos apicales

En 1918, Custer propuso el desarrollo de un localizador de ápice electrónico como ayuda para medir la longitud de trabajo. Por iniciativa suya, este método produjo importantes avances tecnológicos, superó el problema inicial de la incapacidad de leer y logró resultados satisfactorios. Logró encontrar la abertura apical y se convirtió en uno de los

dispositivos de endodoncia más importantes en la actualidad. Por lo tanto, la tecnología de medición de conductividad electrónica es la más precisa.

Los localizadores de ápice han evolucionado con el tiempo y existen cuatro generaciones con sus variantes específicas muy documentadas en la literatura moderna. Siendo las primeras dos generaciones aparatos que fueron cuestionados por su efectividad, ya que requieren el uso de materias que se encontraban en el interior del conducto radicular o incluso de los irrigantes como lo es el hipoclorito de sodio.

Con el tiempo se fue modificando el aparato y para la tercera generación se empieza a utilizar un algoritmo llamado “método de medición proporcional”, encontrándose en este grupo el LEA “Root ZX” considerado actualmente el estándar; en resumen, en esta generación se mide la impedancia del conducto con dos fuentes de corrientes de frecuencias diferentes determinando luego el cociente empleando los potenciales electrónicos proporcionales a cada impedancia.

La principal ventaja de esta generación es que los resultados no se ven afectados por los electrólitos encontrados dentro del conducto radicular. En la cuarta generación se utiliza una de las dos frecuencias a la vez, luego se compara la información de la resistencia y la capacitancia con una base de datos que determina la distancia entre la lima y el ápice radicular.

5.6.2 Generaciones de localizadores electrónicos apicales

5.6.2.1 Primera Generación

Los localizadores de ápices de primera generación, también conocidos como localizadores de ápices resistivos, se utilizan para medir la resistencia a la corriente continua o la resistencia. Esto ocurría en el momento en que el dispositivo colocado dentro del conducto toca el extremo del conducto, el valor de resistencia es de 6,5 kilohmios (corriente de 40mA). La mayor complicación de este tipo de dispositivos era que los pacientes podían referir procesos dolorosos, pues el ser humano es sensible a la electricidad debido a la corriente eléctrica generada por el dispositivo. (Ortega, 2015). Estos dispositivos de primera generación no alcanzaban buenas mediciones, pues eran mediciones cortas o que se sobrepasaron más allá del ápice radiográfico.

5.6.2.2 Segunda Generación

Teniendo como referencia el fracaso y mala recepción por parte del paciente de la primera generación Ushiyama en 1983 y Yanahoka et al. en el año 1989 luego de varias investigaciones desarrollan finalmente una alternativa para mejorar la exactitud y experiencia del paciente, la segunda generación de LEA, que se basaba en la

impedancia, o sea, la capacidad de los materiales de impedir el paso de la corriente eléctrica. (Meza, 2015)

Esta generación utilizó el principio de impedancia, lo cual consiste en un mecanismo eléctrico donde el valor más alto de la impedancia se encuentra en la constricción apical, al ser un tubo largo y hueco desarrolla una impedancia eléctrica que sufre un descenso brusco a nivel del CDC (Conducto-dentino-cementario) y que, en consecuencia, puede medirse eléctricamente. No obstante, surgieron dudas sobre la viabilidad de aplicar este principio a un sistema de conductos con complejidades anatómicas. (Novoa, 2011)

Establecido en este fundamento físico distinto, se empezaron a comercializar los de ápice de segunda generación, como el Endocater de Hygienic. (Salame, 2016)

En 1986 Hasegawa y col. Introdujeron al mercado un localizador apical de alta frecuencia (400 kHz), conocido como Endocater (Yamaura Seisokushu, Tokyo Japón), lo cual tenía un electrodo conectado a la silla dental y una sonda exploradora cubierta con un material aislante, lo cual brindaba la facilidad de realizar mediciones incluso en presencia de fluidos dentro del conducto. El problema con este tipo de aparato fue que la sonda era muy ancha y no podía ser introducida en conductos estrechos, además el material aislante que lo cubría se deterioraba, ya que no eran resistentes a la autoclave. (Rivas Muñoz, 2011)

5.6.2.3 Tercera Generación

A principios de 1990, en un esfuerzo por obtener un dispositivo que fuese capaz de proporcionar mediciones más precisas del sistema de conductos radiculares se introdujeron los localizadores de frecuencia dependientes o de doble frecuencia. Estos emplean una tecnología más sofisticada al evaluar las disparidades en impedancia entre dos frecuencias. (Novoa, 2011)

En condiciones normales, el componente reactivo facilita el flujo de corriente alterna, en mayor magnitud para las frecuencias superiores. Por lo tanto, cuando se transmiten dos corrientes alternas a través de un tejido se impedirá con mayor magnitud el paso de la corriente de menor frecuencia. El componente reactivo de un circuito puede modificarse, por ejemplo, cuando cambia la posición de la lima dentro del conducto, cuando esto ocurre las impedancias (oposición al paso de corriente) que ofrece el circuito a corrientes de diferente frecuencia cambiarán entre sí. Este es el principio en el que se basa el funcionamiento de los localizadores apicales de tercera generación. (Rivas Muñoz, 2011)

Los localizadores apicales de tercera generación utilizan dos frecuencias para determinar la distancia de trabajo, con esto se buscó disponer de equipos capaces de proporcionar mediciones más precisas para el sistema de conductos radiculares, los instrumentos

miden las diferencias de impedancia entre dos frecuencias. Los equipos de esta generación disponen de microprocesadores que producen lecturas precisas. (Larrea, 2019)

Utiliza una corriente alterna muy baja. Es necesario calibrarlo a una distancia de varios milímetros más allá del foramen apical en cada conducto radicular. El método proporcional mide simultáneamente bajo el concepto de impedancia eléctrica, la diferencia entre dos frecuencias diferentes (medida en kHz), calculando el cociente de las impedancias, y describiéndolo como la ubicación del electrodo en el interior del conducto radicular. Esta medida, se supone que es considerablemente afectada por condición eléctrica dentro del conducto y puede ser realizadas en conductos secos sin ninguna calibración

En 1991, Kobayashi desarrolló el Root ZX (J. Morita, Tokio, Japón) para minimizar las lecturas incorrectas de los localizadores apicales debido a los electrolitos presentes en el conducto radicular. Este localizador emplea el método de relación o método de división, basado en los principios de frecuencia doble e impedancia comparativa. Su tecnología mide dos valores de impedancia en frecuencias de 8 y 0.4 Hz, que un microprocesador interno compara y representa en una pantalla LCD. Esta representación permite la detección visual y acústica del avance del instrumento en el conducto.

El Root ZX, que no requiere calibración, es efectivo en conductos húmedos o secos y facilita la localización de la longitud de trabajo. Estudios han confirmado que este dispositivo puede identificar la constricción apical, incluso en casos de ausencia anatómica, y que su precisión no se ve afectada por el diámetro del instrumento (Nguyen et al., citado en J. Morita, 1991).

Actualmente, el Root ZX se considera el estándar de referencia en la comparación de otros localizadores apicales, ocupando aproximadamente el 95% del mercado mundial. Estudios diversos han demostrado que su precisión alcanza el 90% (+/- 0.5 mm del foramen apical) en la mayoría de los casos, y algunos indican una precisión del 100% dentro de un rango de 1 mm respecto a la constricción apical (J. Morita, 1991).

5.6.2.4 Cuarta Generación

Los localizadores apicales de cuarta generación utilizan un principio basado en la impedancia eléctrica para determinar la longitud del conducto radicular. A diferencia de los modelos anteriores, que se basaban en la impedancia eléctrica simple, los localizadores de cuarta generación integran métodos más avanzados y precisos, como la impedancia múltiple y la detección de la capacitancia (Kim, 2007). Estos dispositivos

están diseñados para ofrecer una mayor precisión y fiabilidad en la determinación del ápice radicular.

La principal innovación de los localizadores apicales de cuarta generación es su capacidad para operar en condiciones clínicas más desafiantes, incluyendo la presencia de fluidos y variaciones en la conductividad de los tejidos (Sjögren et al., 2008). Estos dispositivos cuentan con algoritmos mejorados que permiten una detección más precisa del ápice radicular, incluso en casos de anatomía compleja o cuando el conducto está parcialmente obstruido (Kwang et al., 2006).

5.6.2.4.1 Ventajas Clínicas

Una de las principales ventajas de los localizadores apicales de cuarta generación es su alta precisión y fiabilidad. Estos dispositivos han demostrado una precisión superior en comparación con las generaciones anteriores, con tasas de éxito que superan el 90% en la determinación de la longitud de trabajo (Gambarini et al., 2008). La mejora en la precisión se debe a la integración de tecnologías avanzadas y la capacidad de adaptación a diferentes condiciones clínicas.

Además, los localizadores apicales de cuarta generación son menos susceptibles a las interferencias que afectan a los dispositivos de generaciones anteriores. La capacidad de estos dispositivos para operar en presencia de fluidos y tejidos biológicos los hace más versátiles y útiles en una variedad de escenarios clínicos (Chung et al., 2008). Esta versatilidad contribuye a una mayor seguridad durante el tratamiento endodóntico y a una reducción en el riesgo de errores.

5.6.2.4.2 Comparación con Generaciones Anteriores

En comparación con los localizadores apicales de tercera generación, los de cuarta generación ofrecen mejoras significativas en términos de precisión y facilidad de uso. Los modelos de tercera generación, aunque efectivos, a menudo presentaban limitaciones en la detección precisa del ápice en presencia de fluidos y tejidos biológicos (Ng et al., 2005). Los localizadores de cuarta generación han abordado muchas de estas limitaciones mediante el uso de tecnologías más avanzadas y algoritmos de detección mejorados (Patel et al., 2007).

Por ejemplo, los localizadores de tercera generación a menudo requerían una calibración frecuente y eran más susceptibles a errores en condiciones clínicas adversas. Los modelos de cuarta generación, por otro lado, han sido diseñados para minimizar estos problemas y ofrecer una mayor estabilidad y precisión durante el procedimiento (Gulabivala et al., 2006).

5.6.2.4.3 Limitaciones

A pesar de sus ventajas, los localizadores apicales de cuarta generación no están exentos de limitaciones. El costo más alto y la necesidad de mantenimiento regular pueden ser consideraciones importantes para algunas prácticas clínicas. Además, aunque estos dispositivos son más precisos que sus predecesores, aún pueden presentar desafíos en casos extremadamente complejos o en la presencia de anomalías anatómicas significativas (Sjögren et al., 2008).

Los fabricantes de los localizadores apicales de cuarta generación se caracterizan porque este aparato también usa dos frecuencias separadas de 400 Hz y 8 KHz producidas por un generador de frecuencias variables. La diferencia entre las dos generaciones es que los dispositivos de cuarta generación no utilizan las dos frecuencias simultáneamente como los de tercera generación, sino una frecuencia a la vez, lo que elimina la necesidad de utilizar filtros para prevenir ruidos e incrementa la precisión de la medición y la fiabilidad del instrumento. (Larrea, 2019)

Miden la resistencia y capacitancia por separado en lugar de medir el valor resultante de la impedancia (una función de resistencia y capacitancia). Un aspecto importante con estos es que tienen integrado un microprocesador, el cual computa los valores obtenidos y elimina la necesidad de hacer una calibración durante la determinación de trabajo. Estos dispositivos no son afectados por la presencia de irrigantes, sin embargo, es posible que la causa de mediciones erróneas sean los aspectos morfológicos, tales como conductos laterales, accesorios, convergentes, bifurcaciones, reabsorciones patológicas, perforaciones, contactos con fluidos o metales. (Broon & Cruz, 2016) Sin embargo, Dimitrov & Roshkev, indican una desventaja en los dispositivos de cuarta generación, es que necesitan actuar en conductos relativamente secos o parcialmente secos. En algunos casos, esto requiere un secado adicional y con exudado abundante o sangre, el método no es eficaz. (Dimitrov & Roshkev, 2009)

5.6.2.5 Quinta Generación

La quinta generación no procesa la información de la impedancia como un cálculo de un logaritmo matemático como lo hacían los localizadores de tercera generación, sino que evalúa los niveles de resistencia y capacitancia y los confronta con los datos almacenados en una base de datos. (Mancilla M, 2018)

Esta generación se basa en una tecnología multifrecuencia muy similar a los de cuarta generación, capaz de trabajar en cualquier condición en la que el conducto se presente, su fiabilidad es de un 95% con cualquier solución irrigante. (Lozada, 2017)

Según Dimitrov & Roshkev, estos localizadores presentan dificultades considerables al operarlos en conductos secos por lo que sería necesaria la introducción de líquidos dentro del conducto radicular. (Vera, 2017)

Ciertos localizadores de esta generación tienen como características de seguridad, la opción autoreversa cuando la lima llega a la constricción apical. Estos localizadores se diferencian de la anterior generación en que agregan un procesador matemático. (Rivas Muñoz, 2011)

Se describe que los localizadores de quinta generación son precisos, incluso con presencia de fluidos en el conducto; fácil y rápidos de usar, reducen la exposición a radiación, detección de perforaciones, son capaces de medir con exactitud la constricción apical y no causan alteraciones en el funcionamiento de marcapasos (Lozada, 2017)

Permite la visualización de la constricción apical, también poseen una calibración automática. (Ortega, 2015)

Otra característica que tienen los localizadores de quinta generación es que provee al operador una lectura digital, ilustración gráfica y señal audible.

5.6.2.6 Sexta Generación

Los localizadores apicales de sexta generación están equipados con tecnologías avanzadas que permiten una medición más precisa de la longitud del conducto radicular.

Una de las características destacadas es la integración de múltiples métodos de medición, como la impedancia, la capacitancia y la resonancia, en un solo dispositivo. Esta combinación permite una mayor exactitud en la localización del ápice radicular y reduce el riesgo de errores clínicos (Gambarini et al., 2014).

Otra característica importante es la capacidad de estos dispositivos para realizar mediciones en presencia de fluidos y tejidos biológicos. Los modelos de sexta generación están diseñados para funcionar de manera efectiva incluso en ambientes húmedos, lo que mejora su utilidad en situaciones clínicas reales (Ng et al., 2008). Además, muchos de estos localizadores cuentan con pantallas digitales de alta resolución y sistemas de alerta acústicos que proporcionan información clara y precisa al clínico durante el procedimiento (Patel et al., 2015).

5.6.2.6.1 Ventajas Clínicas

La implementación de localizadores apicales de sexta generación ha demostrado ofrecer varias ventajas en la práctica clínica. En primer lugar, la precisión mejorada reduce la

posibilidad de perforaciones apicales y mejora la limpieza y desinfección del conducto radicular (Sabeti et al., 2013). Esto es especialmente importante en tratamientos de conductos complejos donde la exactitud es crucial para el éxito del procedimiento.

Además, la integración de múltiples tecnologías permite a los localizadores de sexta generación adaptarse a una variedad de condiciones clínicas, lo que aumenta su versatilidad y eficacia (Suter et al., 2005). La capacidad de realizar mediciones precisas en presencia de fluidos y tejidos también contribuye a una mayor seguridad del tratamiento y a una reducción de complicaciones.

5.6.2.6.2 Comparación con Generaciones Anteriores

Comparado con generaciones anteriores, los localizadores apicales de sexta generación ofrecen mejoras significativas en precisión y funcionalidad. Las generaciones anteriores, aunque útiles, a menudo presentaban limitaciones en cuanto a la adaptabilidad y la precisión en condiciones clínicas variables (Cunningham et al., 2007). La evolución hacia la sexta generación ha abordado muchas de estas limitaciones, proporcionando a los endodoncistas herramientas más avanzadas y fiables.

Estos calculan la capacidad de los cuerpos para mantener una carga eléctrica, es decir los valores de resistencia y capacitancia. Los localizadores de la sexta generación tienen la ventaja de que no se requiere el secado del conducto radicular, es decir se puede emplear en presencia del líquido conductor. (Vera, 2017)

Estos localizadores tienen la opción de adaptarse al método de medición para un conducto seco o húmedo. (Dimitrov & Roshkev, 2009)

El localizador de ápice adaptativo de sexta generación es un dispositivo agradable y de pequeño tamaño no más grande que la palma de la mano del operador. (Dimitrov & Roshkev, 2009)

La mayoría de los localizadores de quinta y sexta generación son fiables en un 95% más aún cuando se combinan con la técnica radiográfica sin influir en soluciones para desinfección de conductos radiculares. (Ortega, 2015)

5.6.3 Comprobación in vitro

5.6.3.1 Uso del alginato como sustituto de los tejidos perirradiculares en mediciones del conducto radicular

Los estudios in vitro destinados a evaluar la precisión de los localizadores apicales requieren la simulación de condiciones clínicas. Para lograr esto, se han propuesto la utilización de materiales como agar, gelatina, solución salina y alginato.

La eficacia del alginato, según la investigación realizada por Mariusz Lipski y otros autores, se ha demostrado como óptima para la evaluación de localizadores apicales. Esto puede deberse a las propiedades electro conductoras del alginato, que simula las características del ligamento periodontal con su consistencia coloidal. Además, el alginato ofrece la ventaja de mantener los dientes de manera segura y mantener su integridad durante el estudio. (Lipski, M 2013)

El alginato es una elección ampliamente aceptada debido a su asequibilidad, facilidad de preparación y capacidad para ocultar las raíces dentales, lo que crea un entorno de medición objetivo e imparcial. (Gu, L. S et. Al. 2007)

Una de las desventajas del alginato es su propensión a la rápida deshidratación, lo que resulta en una pérdida de conductividad eléctrica. Por lo tanto, algunos investigadores mantienen el modelo húmedo y refrigerado hasta que se determina la longitud de trabajo cuando se utiliza este material como sustituto de los tejidos periodontales. Si la medición se realiza en los 30 minutos posteriores al fraguado, no es necesario almacenar el alginato en un ambiente frío. (Gu, L. S et. Al. 2007)

5.6.3.1.1 Propiedades del Alginato

El alginato es un polímero natural derivado de algas marinas que se utiliza comúnmente en la elaboración de impresiones dentales y modelos de laboratorio. Una de sus ventajas es su capacidad para replicar detalles finos de las estructuras dentales, lo que lo hace útil en estudios experimentales y en la simulación de tejidos periodontales (Knezevic et al., 2013). Sin embargo, una desventaja significativa del alginato es su propensión a la deshidratación rápida, lo que puede resultar en una pérdida de conductividad eléctrica, una propiedad crucial cuando se utiliza para medir longitudes de conductos radiculares (Bürklein & Schäfer, 2010).

5.6.3.1.2 Deshidratación y Conductividad Eléctrica

La deshidratación del alginato afecta su estructura y, por consiguiente, su capacidad para conducir electricidad. La pérdida de agua en el alginato provoca un aumento en la resistencia eléctrica del material, lo que puede llevar a mediciones imprecisas en

estudios de endodoncia. La literatura sugiere que, para mantener la conductividad eléctrica adecuada, es esencial mantener el alginato húmedo y, en algunos casos, refrigerado (Breschi et al., 2008). La refrigeración del alginato ayuda a minimizar la pérdida de agua y, por lo tanto, mantiene su propiedad de conductividad.

5.6.3.1.3 Prácticas de Manejo

Algunos investigadores han observado que el alginato debe ser mantenido en condiciones húmedas y refrigeradas hasta que se determine la longitud de trabajo para evitar la pérdida de precisión (Gupta et al., 2012). Sin embargo, se ha encontrado que, si la medición se realiza en los primeros 30 minutos después del fraguado, el alginato mantiene una conductividad aceptable sin necesidad de almacenamiento en frío (Ng et al., 2008). Esta observación es crucial para la práctica clínica, ya que simplifica el manejo del material y mejora la eficiencia del proceso de medición.

5.6.3.1.4 Comparación con Otros Materiales

En comparación con otros materiales como el agar y la gelatina, el alginato tiene la ventaja de ser más fácil de preparar y más económico (Söderström et al., 2009). Sin embargo, su desventaja principal sigue siendo su tendencia a la deshidratación, que puede afectar su utilidad en simulaciones prolongadas. Los estudios han mostrado que materiales alternativos pueden ofrecer mejores resultados en términos de estabilidad a largo plazo, pero a menudo a un costo mayor (Kaur et al., 2017).

Por tanto, el alginato es capaz de conducir la electricidad y su impedancia eléctrica imita la del periodonto humano. Además, su facilidad de uso y costo económico lo convierten en una herramienta valiosa para la evaluación del rendimiento de los localizadores apicales.

5.7 Root ZX II Apex Locator -J. Morita-

El Root ZX II Apex Locator de J. Morita es uno de los dispositivos más reconocidos y confiables en endodoncia, diseñado para medir con precisión la longitud de trabajo de los conductos radiculares, un paso esencial para un tratamiento endodóntico exitoso.

5.7.1 Características Generales

1. Alta precisión: Utiliza una "técnica de relación" para detectar con exactitud la ubicación del instrumento dentro del conducto, logrando una precisión del 97.5%, independientemente de la presencia de fluidos como sangre o solución salina en el conducto.

2. Calibración automática: El dispositivo se calibra automáticamente, asegurando mediciones precisas incluso cuando hay cambios en el ambiente del conducto, como temperatura o humedad.
3. Condiciones húmedas/secas: El Root ZX II puede operar en conductos húmedos o secos sin afectar la precisión, lo que lo hace versátil durante las diferentes etapas del tratamiento.
4. Sin necesidad de ajuste a cero: A diferencia de otros localizadores de ápice, no es necesario restablecer el dispositivo a cero para cada medición, lo que facilita el proceso.
5. Uso de baterías de zinc carbón o de Níquel metal hidruro: El dispositivo no posee baterías que alimenten el sistema, por lo que es apoyado con baterías descartables o reutilizables tipo AA, requiere 3.

5.7.2 Modo de uso

- Pantalla: Cuenta con una pantalla LCD grande y fácil de leer que muestra la posición del instrumento en tiempo real dentro del conducto.
- Medición: El clínico introduce el instrumento en el conducto y el dispositivo proporciona actualizaciones continuas sobre su proximidad al ápice. Cuando el instrumento alcanza la constricción apical, el dispositivo lo indica, asegurando una determinación precisa de la longitud de trabajo.
- Integración: Se utiliza comúnmente en conjunto con sistemas rotatorios endodónticos, lo que permite una integración fluida en el flujo de trabajo endodóntico.

5.7.3 Funcionamiento

El Root ZX II opera midiendo la impedancia eléctrica entre el instrumento y la estructura dental circundante. Utiliza un sistema de medición de doble frecuencia para calcular la posición del instrumento con respecto al ápice, permitiendo determinar la longitud exacta del conducto. El sistema no se ve afectado por la presencia de fluidos en el conducto, lo que lo hace confiable en diversas condiciones clínicas.

5.8 E-PEX PRO -Eighteeth-

El E-pex Pro de Eighteeth es un localizador de ápice avanzado que se utiliza en procedimientos endodónticos para determinar la longitud de trabajo del conducto radicular con alta precisión. Es un localizador de 4ta generación (genera mediciones basada en múltiples frecuencias).

5.8.1 Características generales

El E-pex Pro es conocido por sus mediciones de alta precisión y una pantalla LCD brillante que proporciona información clara y codificada por colores durante el procedimiento. La pantalla muestra diferentes colores para indicar la posición de la lima en relación con el foramen apical: blanco cuando se acerca, verde cuando está cerca del foramen y rojo cuando la lima lo supera. Esto ayuda al clínico a mantenerse informado y a realizar ajustes en tiempo real. Calibración automática que asegura mediciones estables y correctas. Una de sus principales ventajas es poseer una batería de litio de 1500 mah lo que permite su uso en prolongados tiempos sin necesidad de estar conectando para su carga entre citas, puede durar hasta 8 horas de uso continuo.

5.8.2 Modo de uso

El dispositivo se utiliza junto con una lima endodóntica para medir la profundidad del conducto. Se puede combinar con un endomotor como el Eighteeth E-Connect Pro, lo que permite operaciones integradas en las que el motor se ajusta automáticamente en función de la posición de la lima. Cuando está conectado, puede activar funciones automáticas como:

- Inicio/parada automáticos: el motor se pone en marcha cuando la lima entra en el conducto y se detiene cuando se retira.
- Inversión apical: invierte la lima cuando llega a un punto preestablecido cerca del ápice, lo que evita la sobreinstrumentación.
- Desaceleración apical: a medida que la lima se acerca al ápice, el motor se ralentiza, lo que preserva la región apical y evita la separación de la lima.

5.8.3 Funcionalidad

El E-pex Pro funciona midiendo la resistencia eléctrica entre la lima y los tejidos circundantes, lo que determina la posición de la lima dentro del conducto. Su retroalimentación en tiempo real ayuda a los médicos a evitar la sobre instrumentación o la preparación insuficiente, lo que garantiza un tratamiento endodóntico más limpio y preciso.

5.9 Autodesk AutoCAD

Autodesk AutoCAD es uno de los programas de diseño asistido por computadora (CAD) más populares y ampliamente utilizados en diferentes industrias, tales como la arquitectura, la ingeniería y el diseño industrial. Su capacidad para crear, modificar, analizar y documentar diseños en dos y tres dimensiones lo convierte en una herramienta invaluable para profesionales que requieren precisión en sus trabajos. En este

documento, se explorará qué es AutoCAD, cómo funciona, y cómo permite realizar mediciones exactas en unidades pequeñas, como los milímetros.

5.9.1 Qué es Autodesk AutoCAD

Autodesk AutoCAD es un software desarrollado por Autodesk, Inc. que facilita la creación de diseños en 2D y 3D mediante el uso de herramientas avanzadas de dibujo. Desde su lanzamiento en 1982, AutoCAD se ha mantenido como uno de los programas de CAD más utilizados a nivel mundial. Este software permite a los usuarios realizar y visualizar planos técnicos, piezas mecánicas, proyectos arquitectónicos, entre otros, con un alto nivel de detalle y precisión (Autodesk, 2023).

5.9.2 Mediciones en Unidades Pequeñas con AutoCAD

Una de las características más destacadas de AutoCAD es su capacidad para trabajar con una amplia variedad de unidades de medida, incluidas las unidades métricas y, específicamente, los milímetros. El software permite a los usuarios definir la escala y unidad de trabajo de manera personalizada, lo cual es esencial en proyectos que requieren precisión milimétrica, como los planos arquitectónicos y el diseño de piezas mecánicas.

Para trabajar con precisión en milímetros, el usuario puede configurar AutoCAD en esa unidad al inicio del proyecto. Al hacer esto, todas las medidas que se dibujen y visualicen se ajustarán automáticamente a esa unidad de medida. Además, el software cuenta con herramientas como el comando DIST (Distance) que permite medir distancias entre dos puntos seleccionados en el diseño, y que facilita la verificación de las dimensiones con precisión en cualquier parte del proyecto (Autodesk, 2023).

Asimismo, AutoCAD permite el uso de líneas de referencia y cotas que detallan las dimensiones exactas en milímetros, lo cual es crucial para asegurar la exactitud en diseños de piezas de maquinaria o componentes eléctricos, donde la tolerancia debe ser mínima.

6. Objetivos

6.1 Objetivo general

Comparar la precisión del localizador electrónico apical E-PEX PRO® en términos de la longitud de trabajo en comparación con los resultados obtenidos por el Root ZX II®.

6.2 Objetivo específico

Establecer in vitro la precisión del localizador electrónico apical Root ZXII y del E-PEX PRO® para determinar el foramen mayor en relación con la longitud de trabajo previamente establecida con relación a la longitud real.

7. Hipótesis

7.1 Hipótesis general

NULA

No existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo determinada por el localizador electrónico apical Root ZX II® y el localizador electrónico apical E-PEX PRO®.

ALTERNA

Existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo determinada por el localizador electrónico apical Root ZX II® y el localizador electrónico apical E-PEX PRO®.

7.2 Hipótesis específicas

Específica 1

NULA

No existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud del real y la obtenida por el localizador electrónico apical Root ZX II®, expresada como longitud real.

ALTERNA

Existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo y la obtenida por el localizador electrónico apical Root ZX II®, expresada como longitud real.

Especifica 2

NULA

No existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo y la obtenida por el localizador electrónico apical E-PEX PRO®, expresada como longitud real.

ALTERNA

Existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo y la obtenida por el localizador electrónico apical E-PEX PRO®, expresada como longitud real.

8. Variables

8.1 Variable dependiente

Longitud de trabajo de los conductos radiculares de piezas unirradiculares determinadas en milímetros desde el tercio coronal hasta el foramen mayor en el tercio apical con una lima K No. 10

Variable	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Valor Final
Precisión	Medición entre el foramen apical mayor hasta el extremo de la lima endodóntica.	Cuantitativa	Razón	Milímetros

8.2 Variable independiente

Exactitud de los localizadores apicales

Variable	Definición operacional	Tipo de variable	Escala de medición	Valor Final
Tipo localizador apical	Tipo de localizador electrónico apical.	Cualitativa	Nominal	Root ZX II® (Japón) E-PEX PRO® (República Popular de China)

9. Marco metodológico

9.1 Tipo y diseño de la investigación

- Experimental: En este estudio, el investigador controla las condiciones y manipula variables para observar los resultados.
- Comparativa: Pues, una vez se hayan registrado las mediciones de cada localizador apical, se llevará a cabo una evaluación comparativa de su precisión.
- In Vitro: Esto se debe a que el estudio se llevará a cabo en un entorno controlado y utilizando dientes humanos extraídos como muestra.

9.2 Enfoque de la investigación

Se determina que el estudio tiene un enfoque cuantitativo ya que se intenta ir de lo general a lo específico al probar o improbar la hipótesis planteada.

9.3 Método de investigación

9.3.1 Método hipotético-deductivo

Se sugiere una hipótesis basada en las inferencias obtenidas a partir de datos empíricos o de principios y leyes generales. La hipótesis puede formularse a través de métodos inductivos o, en otros casos, mediante enfoques deductivos.

Es el método principal de inferencias lógico-deductivas para llegar a conclusiones específicas basadas en la hipótesis, que posteriormente pueden ser verificadas experimentalmente.

9.3.2 Técnica de campo

Facilitará la observación directa del objeto de estudio y la recopilación de testimonios, permitiendo así contrastar la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad objetiva.

9.3.3 Instrumentos de investigación

9.3.3.1 Observación

Se recolectan datos de manera sistemática, válida y confiable de comportamientos y situaciones observables de las variables.

9.3.3.2 Instrumentos mecánicos o electrónicos

Sistemas de medición por aparatos como lo son los localizadores electrónicos apicales que medirán por medio de un cierre de circuito eléctrico.

9.3.4 Comprobación in vitro

Las ventajas de los estudios in vitro son la simplicidad, facilidad de uso y la capacidad de mantener control estricto sobre las condiciones como las que se plantean para este estudio. Además, se puede probar un mayor número de conductos radiculares en un período de tiempo más corto del que se puede lograr con estudios in vivo. (Duran-Sindreu et al 2012)

9.4 Población de estudio y muestra

En cuanto al tamaño de la muestra, con la aplicación para dispositivos móviles **STATS** desarrollada por **Decision Analsyst**, se estimó el dato de muestra necesaria para que el estudio tenga una muestra estadísticamente relevante. A continuación, se muestra la formula y la muestra estipulada por **STATS**.

Formula de estimación de proporción con nivel de confianza 95% y error máximo de 5%

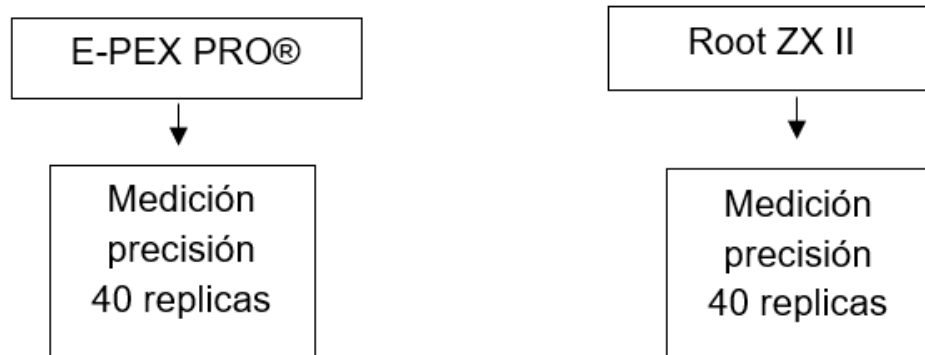
$$n_0 = \frac{Z^2 p q}{E^2} = \frac{(1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.05)^2} = \frac{3.8416 \times 0.25}{0.0025} \approx 384.16 \approx 385.$$

$n_0=385$ en este caso que se tiene una población finita de 100 réplicas se hace la corrección con la formula:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0-1)}{N}} \quad \text{Quedando el resultado de la siguiente manera:}$$
$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0-1)}{N}} = \frac{385}{1 + \frac{385-1}{100}} = \frac{385}{1 + \frac{384}{100}} = \frac{385}{1 + 3.84} = \frac{385}{4.84} \approx 79.55.$$

Por lo tanto, redondeando, el tamaño de muestra fue de 80 réplicas.

Considerando que se trata de un estudio con un factor (tipo de localizador utilizado), se tuvieron dos grupos en total. Se realizaron 40 réplicas en cada uno de los grupos. Las piezas dentales unirradiculares se les asigna uno de los dos grupos de forma aleatoria.



9.5 Criterios de selección

9.5.1 Criterios de inclusión

- Dientes unirradiculares con un solo conducto
- Dientes sin reabsorción interna o externa
- Dientes con ápice totalmente formado (maduro).

9.5.2 Criterios de exclusión

- Dientes que han recibido previamente terapia endodóntica.
- Dientes con múltiples raíces.
- Dientes calcificados o bloqueos que obstaculizan la inserción de las limas en la región apical.
- Dientes con ápices abiertos o en etapa de desarrollo.
- Dientes con marcadas curvaturas en la región apical.
- Dientes con fracturas o perforaciones en las raíces.

9.6 Procedimiento

9.6.1 Materiales utilizados

Para realizar el estudio se utilizó lo siguientes materiales:

- Alginato
- Copa de hule

- Espátula de mezclado de alginato
- Baterías AA (3 baterías)
- Resina fluida azul EsFlow (Spident CO)
- Lámpara de fotocurado Curing Pen 1500 mW/cm² (Eighteeth)
- Limas manuales tipo K 10.02 (UDG, Bondent)
- Recipiente plástico con cierre hermético de 350 ml
- Localizador de ápice E-Pex Pro (Eighteeth)
- Localizador de ápice Root ZX II (Morita)
- Discos Super-Snap Rainbow
- Opmi Pico Zeiss (Microscopio operatorio)
- Software AutoCAD

9.6.2 Selección de dientes de muestra

Se trabajó en un total de 80 dientes monoradiculares que estuvieron almacenados en un organizador para separar incisivos centrales, laterales, caninos y premolares. Se seleccionan a conveniencia 40 dientes los cuales fueron debidamente marcados con números del 1 al 40 con letra legible con un marcador permanente de tinta negra que se denominó como “Grupo #1” y fueron dientes asignados al localizador Root ZX II (Morita) y se repitió el mismo proceso con los otros 40 dientes, los cuales fueron identificados del número 41 al 80 con un marcador permanente, a este grupo de dientes se les denominó como “Grupo #2” al que se le asignó el localizador E-Pex Pro (Eighteeth). Todos los dientes fueron fotografiados y tomada radiografía periapical ortograda y mesializada con un radiovisógrafo Carestream 5200 en su fase inicial.

9.6.3 Acceso endodóntico

Para el acceso endodóntico se inició con una fresa redonda 801.FG.016 de la marca JOTA desgastando tanto esmalte como dentina hasta poder identificar que se encontraba dentro de la cámara pulpar, se terminó de conformar el acceso con una fresa C152.FG.ENDO-Z.014 de la casa JOTA para remover el techo de la cámara pulpar y eliminar la dentina que obstruía la entrada a las embocaduras del conducto radicular.



Figura 1

Fresa 801.FG.016 y C152.FG.ENDO-Z.

Nota. Tomado de JS Davis (s.f.) y Grupo Imfohsa (s.f.).

9.6.4 Preparación de muestras y materiales de trabajo de medición

Se procedió a realizar mezcla de Jeltrate Chormatic, un alginato de la casa comercial Dentsply Sirona, siguiendo las proporciones e instrucciones del fabricante, por cada taza medidora, se coloca una medida de agua, las medidas las incluye el fabricante. Se tuvo 1 minuto de tiempo de manipulación para la mezcla, 20 segundos para ser colocados en su respectivo recipiente hermético, 1.20 minutos para la colocación del gancho y dientes sumergidos en el alginato y finalmente 2 minutos y 40 segundos para su gelificación total. Se colocarán 9 medidas de polvo (9 g cada una) y 3 medidas de agua (18 ml cada medida en el recipiente medidor de la marca) con finalidad de colocar una buena cantidad que cubra el 100% de la raíz de los dientes un recipiente con capacidad de 350 ml utilizando únicamente una tercera parte aproximadamente 166 ml.

Se acomodaron los dientes en 3 filas de 3 dientes, con excepción de la última fila donde se colocaron 4 dientes, todos sumergidos en el alginato en el recipiente donde hubo un espacio entre cada diente de 1 cm. Al mismo tiempo se introdujo el clip labial del localizador asignado. A continuación, se comprobó la gelificación total del alginato.



Figura 2

Dientes en alginato.

Nota. Fotografía elaborada por el autor (2025).

9.6.5 Medición con localizadores de ápice

Se introdujo una lima tipo K 10.02 de la marca UDG (United Dental Grupo, Bondent) en los dientes con acceso previamente realizado, la lima estaba sujeta a su vez por el gancho del localizador asignado, en el caso de los dientes 1 al 40 localizador Root ZX II y del 41 al 80 por el localizador E-Pex Pro se utilizó una lima nueva por cada diente, previo a la prueba se corroboró por medio radiográfico la permeabilidad del conducto por medio de radiografías apicales y así evitar complicaciones durante la prueba. Se realizó el descenso de la lima con movimientos circulares hasta alcanzar la medida 0.0 en el localizador.



Figura 3
Medición con localizadores de ápice a 0.0.
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

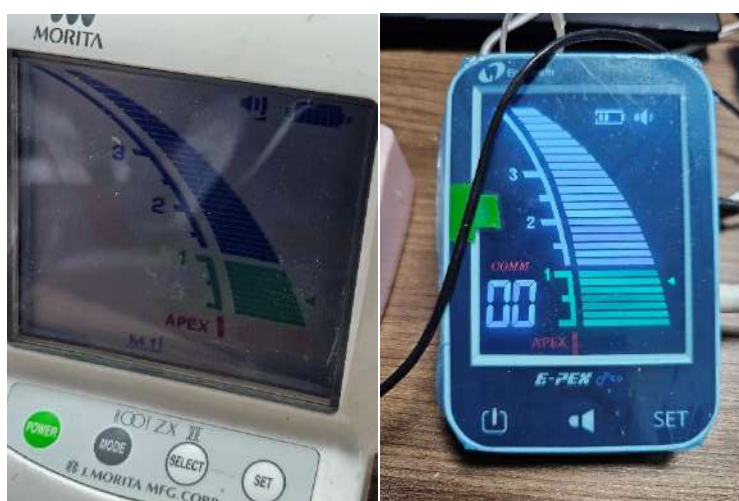


Figura 4
Pantallas de localizadores donde se medía hasta alcanzar 0.0
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Una vez alcanzada la medida deseada se fijó la lima endodóntica a la dentina y esmalte que rodean el acceso endodóntico con resina fluida de color azul para poder tener control visual del área donde se aplica y así poder fijar bien a todas las paredes. Este procedimiento se repitió en ambos grupos (80 dientes).



Figura 5
Proceso de fijación de lima endodóntica con resina fluida azul
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Una vez realizada la medición y fijada la lima en cada uno de los dientes muestra, se retiró del alginato, fueron limpiados con precaución con irrigación de agua desmineralizada a presión con una jeringa triple y se resguardaron en un recipiente con divisiones donde se ordenarán e identificarán cada uno de los dientes.

9.6.6 Procesamiento de ápice radicular

Con un marcador se identificó la posición y se realizó el marcaje del foramen mayor. Se realizó una toma de radiografía periapical ortograda de cada diente que se denominó como “radiografía final”. También se realizó una línea con un marcador fino negro a 5 mm del ápice anatómico de cada diente en 360 grados hasta lograr toda la circunferencia con tinta.

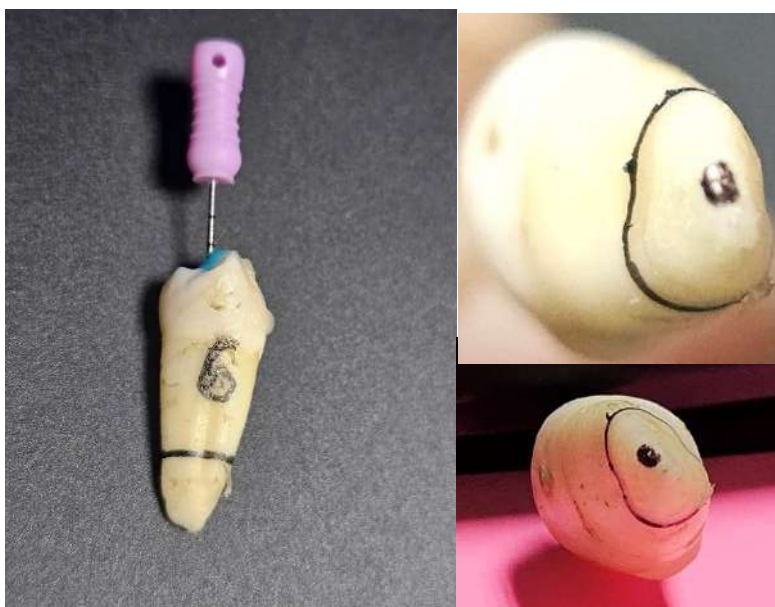


Figura 6
Medición desde ápice anatómico y marcación de foramen apical
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Se utilizó un disco de carburo de tungsteno de 22x0.30 para cortar perpendicularmente los dientes desde el ápice anatómico hasta una línea previamente marcada a 5 mm medidos con regla flexible y un marcador de punta fina, seguido de un corte transversal siguiendo la línea marcada para poder visualizar el conducto completamente permeable sin interferencias. Esto se realizará sin exponer el instrumento endodóntico (lima K 10.02).

Utilizando el disco Super-Snap de la marca SHOFU grano medio que utiliza carburo de silicio para desgastar moderadamente. Una vez expuesto el instrumento se cambiará al disco grano fino que utiliza para el desgaste óxido de aluminio. Ambos discos se utilizaron

sobre un mandril metálico colocado en un contra ángulo 1:1 con luz led y con un motor eléctrico (AI Dental, CN) que mantuvo una velocidad constante recomendada por el fabricante que son 15.000 rpm.



Figura 7

Motor eléctrico dental AI Dental

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).



Figura 8

Diente seccionado con instrumento endodóntico expuesto al lado de regla milimétrica que sirve como referencia para escalonado

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Una vez expuesto el instrumento fue colocado al lado de una regla milimétrica que sirvió como referencia de tamaño para un futuro escalonado en el software especializado, además fue visualizado el foramen mayor en un microscopio ZEISS OPMI pico de la Marca Zeiss con lentes 12.5X, objetivo F300 en 1, aplicando la formula (Lente X Objetivo = Cantidad de aumentos) quedó $12.5 \times 1 = 12.5x$ de aumentos, y se documentó con fotografías con la cámara en modo PRO de un teléfono móvil Samsung S23 Ultra utilizando ISO 400, velocidad 1/750 enfoque manual y balance de blancos en 4300K a 1X de resolución en tamaño 3:4 en modo 50 megapíxeles.



Figura 9
Microscopio operatorio Opmi Pico Zeiss
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).



Figura 10
Configuración modo PRO, Samsung S23 Ultra
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Las imágenes captadas en microscopio operatorio con ayuda del teléfono móvil fueron posteriormente procesadas en un programa, Autodesk AutoCAD, donde se escalonó con la ayuda de la regla que se colocó en cada una de las fotografías y se realizó la medición específica en milímetros de la distancia entre el foramen mayor y la punta de la lima. La medición fue realizada por Msc. Arq. Alice Michele Gómez García quien está capacitada para el uso del sistema. Se escalonó desde 1 metro hasta 1 mm. Una vez escalonado se marcó con una línea color naranja el foramen mayor, el cual será el punto 0, y con una línea amarilla el extremo del instrumento. Si la punta de la lima sobrepasaba el foramen mayor se tomó como dato positivo, en caso contrario, al no alcanzar el foramen mayor se tomó como dato negativo, mientras más cerca se está del 0, mayor preciso es el equipo, caso contrario, mientras más se aleje, menos preciso es. En el caso de los datos positivos corresponde a una medición equivocada ya que se ha sobrepasado el límite natural que es el foramen y el instrumento se encuentra expuesta a un medio exterior.



Figura 11

Escalonado de imagen en AutoCAD: línea roja de 1 metro, medida en sistema 1 mm = 0.010.

Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

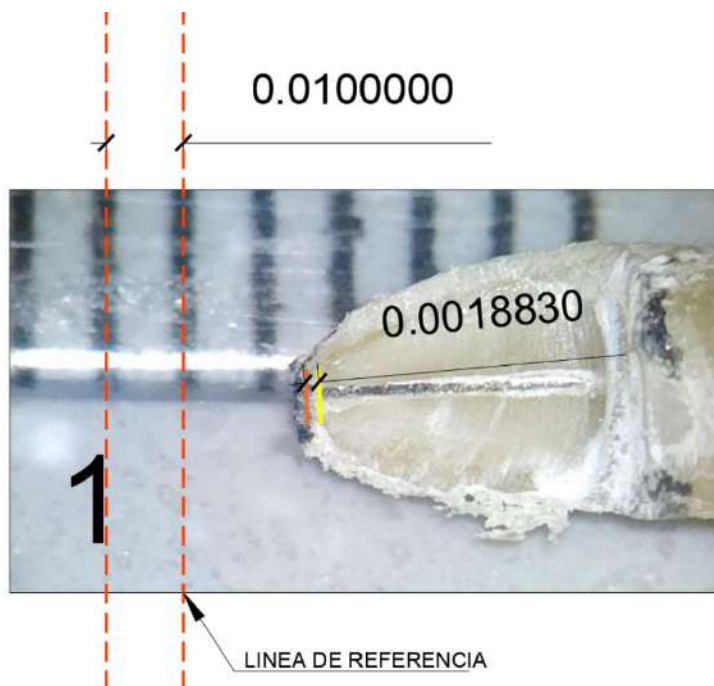


Figura 12

Medición de distancia desde el final del instrumento hasta la marcación de foramen mayor.

Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

Se tabuló la distancia en Excel (Microsoft) con identificación de cada diente y grupo colocando la medida de cada uno de los 80 dientes, estos datos posteriormente fueron analizados y se realizó la estadística para poder establecer los resultados deseados siendo lo esperado que los aparatos se acercaran al 0 absoluto del foramen mayor.

10. Pruebas estadísticas

Considerando que las variables de estudio son consideradas en primer lugar variables descriptivas para establecer el nivel de precisión de cada uno de los localizadores

apicales electrónicos se procedió a calcular la media, desviación estándar, mediana y el rango Inter cuantil.

En cuanto a la comparación entre las medidas de los LEA en primer lugar se calculó los datos con la prueba Shapiro Wilk.

10.1 Análisis estadístico

Como consecuencia a que no se alcanzó la normalidad se procedió a tomar la decisión de sustituir la prueba paramétrica por una no paramétrica.

Originalmente se tenía previsto utilizar una prueba de T de Student para variables independientes o no apareadas, sin embargo, al no alcanzar la normalidad se procedió a utilizar la prueba de U de Mann-Whitney.

El nivel de estadística significativa fue del 0.095%

11. Ética de la investigación

Esta investigación se realizó siguiendo todos los parámetros de las normativas de la comisión de bioética que establece la Universidad de San Carlos de Guatemala para investigaciones.

12. Resultados

Los resultados se subdividen en tres apartados; en el primero se presentan algunas características de las unidades de estudio (piezas dentales), así como de las variables dependientes e independientes; en el segundo apartado, se presentan los resultados del objetivo general y de la comprobación de la hipótesis correspondiente; por último, en el tercer apartado, se presentan los resultados de los objetivos específicos y de las hipótesis nula y alterna.

Para el análisis de los datos se utilizó el software estadístico denominado SPSS, versión 23. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) es un software de análisis estadístico desarrollado originalmente para su aplicación en investigaciones en ciencias sociales y aplicadas. Actualmente, bajo el nombre de IBM SPSS, también se utiliza en el ámbito de la investigación de mercados y otras disciplinas (IBM Corp., 2022).

12.1 Estadísticas Descriptivas

Tal como se expuso con anterioridad, para la realización del presente estudio, se utilizó una muestra de 80 dientes monoradiculares, de las cuales el 81.3% (65 unidades) pertenecen al maxilar inferior y el 18.7% (15 unidades) al maxilar superior.

Con relación al tipo de diente, el 3.7% (3 unidades) son caninos, el 37.5% (30 unidades) son incisivos y el 58.8% (47 unidades) son premolares; además, con relación Al punto de referencia de las piezas dentales, el 41.3% (33 unidades) pertenecían al borde incisal y el 58.7% (47 unidades) a la cúspide bucal.

En la siguiente tabla se presenta la cantidad de piezas dentales según posición maxilar, tipo de diente y referencia, subdividido por tipo de localizador electrónico apical (LEA) utilizado.

Por ejemplo: según tipo de diente, el 65% de las unidades utilizadas con el localizador electrónico apical E-Pex Pro fueron dientes incisivos y el 90% de las unidades utilizadas con el localizador electrónico apical Root ZX II fueron dientes premolares.

Características de las piezas dentales		Tipo Localizador Electrónico Apical (LEA)			
		E-Pex Pro		Root ZX II	
		Cantidad	%	Cantidad	%
Maxilar	Inferior	28	70.0	37	92.5
	Superior	12	30.0	3	7.5
Tipo diente	Canino	3	7.5	0	0.0
	Incisivo	26	65.0	4	10.0
	Premolar	11	27.5	36	90.0
Referencia	Borde incisal	29	72.5	4	10.0
	Cúspide bucal	11	27.5	36	90.0

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Con relación a la variable dependiente “Precisión” en la medición de la longitud de trabajo de los conductos radiculares de piezas unirradiculares determinadas en milímetros desde el tercio coronal hasta el foramen mayor en el tercio apical con una lima K No. 10, la cual es una variable de tipo cuantitativa y razón; por su parte, la variable independiente “Tipo de localizador apical”, la cual es una variable de tipo cualitativa y escala nominal.

De ambas variables se estimó las estadísticas descriptivas; además, se realizó la prueba de Shapiro Wilk en la varia, con el propósito de determinar si los datos de la variable dependiente presentan una distribución aproximadamente normal.

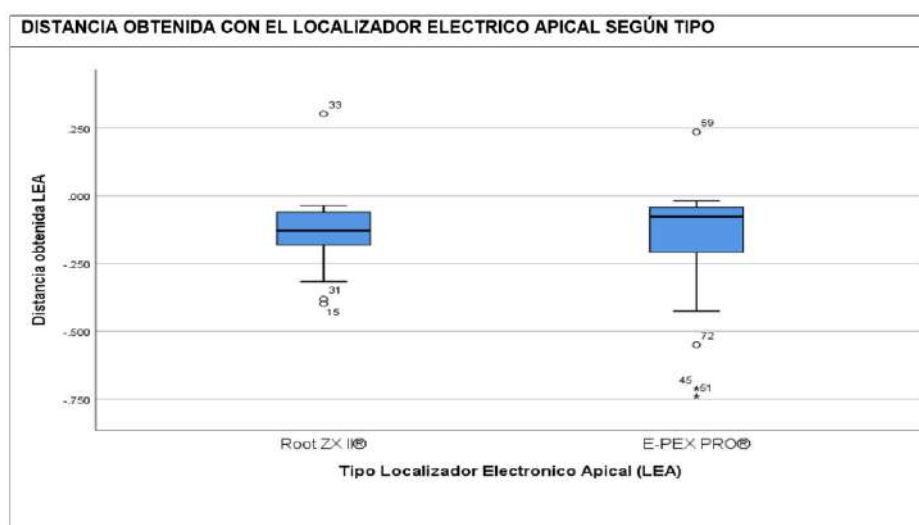
Los resultados descriptivos indican que el tipo de localizador apical E-PEX PRO®, tiene mayor promedio en los resultados que el tipo Root ZX II® ($-0.15933 > -0.13263$); además, este tipo de localizador muestra mayor dispersión de los datos, ya que tanto la varianza como la desviación estándar son mayores (Varianza $0.038 > 0.014$, desviación estándar $0.194376 > 0.116741$).

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS	TIPO DE LOCALIZADOR APICAL	
	Root ZX II®	E-PEX PRO®
Media (Promedio)	-0.13263	-0.15933
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior -0.16996	-0.22149
	Límite superior -0.09529	-0.09716
Mediana	-0.12850	-0.07700
Varianza	0.014	0.038
Desv. Desviación	0.116741	0.194376
Mínimo	-0.399	-0.740
Máximo	0.302	0.235
Rango	0.701	0.975
Rango Inter cuartil	0.127	0.169

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Por último, el rango inter-cuartil ($Q1 - Q3 / 25\% - 75\%$) del tipo de localizador E-PEX PRO® es más amplio que el rango del Root ZX II® ($0.169 > 0.127$), lo que significa que se concentran en mayor medida los resultados del localizador Root ZX II®.

Lo anterior, se puede observar en el siguiente gráfico. En el caso del tipo de localizador apical Root ZX II®, el rango de recorrido de los datos es menor que el rango de recorrido de E-PEX PRO® ($0.975 > 0.701$). Aunque se observan datos fuera de línea (out liners), casos 15, 31, 33, 45, 51, 59 y 72.



Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Para completar el análisis de las variables cuantitativas involucradas en el estudio, se estimaron las estadísticas descriptivas de las siguientes variables: “Longitud de trabajo

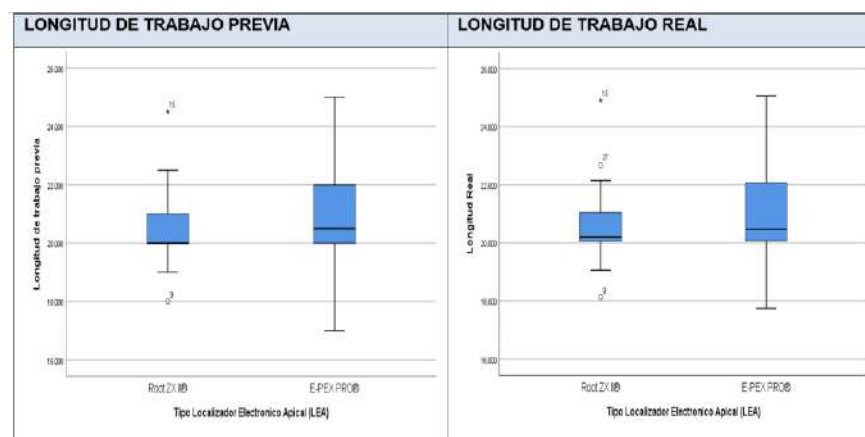
previa” y “Longitud de trabajo real”, esta última variable es el resultado de la sumatoria de las longitudes de trabajo previa de cada una de las piezas dentales con el resultado obtenido con cada uno de los tipos de localizadores apicales.

Tanto, el promedio de los resultados como la desviación estándar obtenida del tipo de localizador apical E-PEX PRO® es mayor que el obtenido por el Root ZX II®; similar situación se observa en el rango y rango Inter cuartil; lo cual se observa al comparar las dos variables (longitud de trabajo previa y real) con relación al tipo de localizador apical utilizado.

ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS	LONGITUD DE TRABAJO PREVIA		LONGITUD DE TRABAJO REAL	
	Root ZX II®	E-PEX PRO®	Root ZX II®	E-PEX PRO®
Media	20.42500	20.90000	20.55763	21.05933
95% de intervalo de confianza para la media	20.04946	20.39928	20.17520	20.56610
	20.80054	21.40072	20.94005	21.55255
Mediana	20.00000	20.50000	20.19650	20.47200
Varianza	1.379	2.451	1.430	2.378
Desv. Desviación	1.174243	1.565657	1.195754	1.542227
Mínimo	18.000	17.000	18.131	17.740
Máximo	24.500	25.000	24.899	25.058
Rango	6.500	8.000	6.768	7.318
Rango Inter cuartil	1.000	2.000	0.993	1.998

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

En el siguiente grafico se puede visualizar lo anteriormente expuesto, en donde, tanto en la variable “Longitud de trabajo previa como en la longitud de trabajo real”, el tipo de localizador electrónico apical E-PEX PRO®, muestra mayor dispersión de sus resultados, lo cual no influye en su relación con el otro tipo de localizador electrónico apical utilizada.



Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Como se indicó previamente, se realizó la prueba de Shapiro Wilk, con el propósito de determinar si los datos de la variable dependiente presentan una distribución aproximadamente normal; además, se realizó la prueba para las otras variables cuantitativas del estudio “Longitud de trabajo previa y longitud de trabajo real”. Al realizar la prueba de normalidad, esta genero dos tipos de pruebas: Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, se utilizará únicamente los resultados de la segunda.

Según los resultados obtenidos para el total de los datos (80 piezas dentales), las dos variables analizadas tienen niveles de significancia menores que el nivel de significancia establecido ($0.000 < 0.050$), por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad de los datos y se concluye que los datos no provienen de poblaciones normales.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud de trabajo Previa	.257	80	.000	.887	80	.000
Distancia obtenida LEA	.187	80	.000	.846	80	.000
Longitud de trabajo Real	.196	80	.000	.903	80	.000
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Al desagregar los datos según tipo de localizador electrónico apical utilizada, los resultados fueron los siguientes: todos los niveles de significancia son menores que el nivel de significancia establecido ($0.000 < 0.050$), por lo que se rechaza la hipótesis de normalidad de los datos y se concluye que los datos no provienen de poblaciones normales.

Por el anterior resultado: “Los datos no provienen de poblaciones normales”, no se puede utilizar la prueba de “*t* de Student” para el contrastar de las hipótesis del objetivo general y de los específicos; por lo que se tendrá que utilizar la prueba “U de Mann-Whitney” para muestras independientes para contrastar la hipótesis del objetivo general

Pruebas de normalidad							
	Tipo Localizador Electrónico Apical (LEA)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Longitud de trabajo	Root ZX II®	.316	40	.000	.840	40	.000
Previa	E-PEX PRO®	.192	40	.001	.922	40	.009
Distancia obtenida	Root ZX II®	.179	40	.002	.888	40	.001
LEA	E-PEX PRO®	.224	40	.000	.816	40	.000
Longitud de trabajo	Root ZX II®	.233	40	.000	.868	40	.000
Real	E-PEX PRO®	.162	40	.010	.933	40	.020
a. Corrección de significación de Lilliefors							

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

12.2 Resultados objetivo e hipótesis general

El Objetivo General establecido para el presente estudio fue “Comparar la precisión del localizador electrónico apical E-PEX PRO® en términos de la longitud de trabajo en comparación con los resultados obtenidos por el Root ZX II®”.

Como ya se indicó previamente, los datos no provienen de poblaciones con distribución normal; por lo tanto, para establecer las diferencias entre los dos grupos, se utilizó la prueba de “***U de Mann-Whitney***” para muestras independientes; considerándose una significancia estadística de 0.05 y un nivel de confianza de 0.95.

La Hipótesis nula (Ho) planteada fue la siguiente: *No existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo determinada por el localizador electrónico apical Root ZX II® y el localizador electrónico apical E-PEX PRO®.*

Por su parte, la hipótesis alterna queda definida de la siguiente manera: *Si existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo determinada por el localizador electrónico apical Root ZX II® y el localizador electrónico apical E-PEX PRO®.*

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las dos muestras que se compararon (Root ZX II® y E-PEX PRO®) y, para cada muestra se presenta el número de casos, rango promedio y suma de rangos.

Según se observa E-PEX PRO®, tiene un rango mayor ($42.25 > 38.75$); asimismo, suma de rangos mayor ($1690.00 > 1550.00$), lo cual significa que los datos de E-PEX PRO® están más dispersos que los datos de Root ZX II®.

Rangos				
	Tipo Localizador Electrónico Apical (LEA)	N	Rango promedio	Suma de rangos
Distancia obtenida LEA	Root ZX II®	40	38.75	1550.00
	E-PEX PRO®	40	42.25	1690.00
	Total	80		

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

En la siguiente tabla se presentan el resultado de la prueba “U de Mann-Whitney” además, se presenta el nivel crítico bilateral o significancia asintótica bilateral (0.501).

Puesto que el valor crítico o nivel de significancia bilateral es mayor que 0.050 ($0.501 > 0.050$), se puede aceptar la hipótesis de igualdad de promedios y, consecuentemente, concluir que los promedios de las longitudes o distancias obtenidas con los localizadores electrónicos apical “Root ZX II® y E-PEX PRO®” son iguales.

Estadísticos de prueba ^a	
	Distancia obtenida LEA
U de Mann-Whitney	730.000
W de Wilcoxon	1550.000
Z	-.674
Sig. asintótica(bilateral)	.501
a. Variable de agrupación: Tipo Localizador Electrónico Apical (LEA)	

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula, la cual dice que: “No existe diferencia estadísticamente significativa entre la longitud de trabajo determinada por el localizador electrónico apical Root ZX II® y el localizador electrónico apical E-PEX PRO®”.

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Prueba	Significancia	Decisión
1	La distribución de distancia obtenida LEA es la misma entre las categorías de Tipo de Localizador Electrónico apical (LEA)	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	.501	Retener la hipótesis nula
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significancia es de 0.05				

Fuente: elaboración propia con datos recopilados en el estudio.

13. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación en relación a la precisión del localizador electrónico apical E-Pex Pro, el cual es un dispositivo con más reciente

lanzamiento, es posible compararla con la precisión del Root ZX que se ha destacado en diversos estudios como el dispositivo “estándar de oro” para la determinación de longitud de trabajo en endodoncia. La similitud encontrada en resultados es compatible con lo que otros autores han reportado en diversos antecedentes mencionados durante el desarrollo de este documento, en donde, tanto los estudios ex vivo e in vivo demuestran que, en condiciones controladas, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los dispositivos evaluados (Aguilar et al., 2017; Chukka et al., 2020; Khan et al., 2022).

El marco teórico explica que los localizadores electrónicos funcionan midiendo resistencias, impedancias a diferentes frecuencias, capacitancias e incluso resonancias, lo que les permite detectar la constricción apical y, así, determinar de forma precisa la longitud de trabajo. En este estudio, se observa que, a pesar de emplear tecnologías y algoritmos algo distintos, ambos dispositivos ofrecieron resultados muy parecidos en la medición del conducto. Esto indica que los fundamentos eléctricos sobre los que se basan son sólidos y se mantienen confiables.

Cabe destacar que, a diferencia de algunos antecedentes en los que se han identificado variaciones en la precisión en función de factores como la humedad del conducto o las características anatómicas particulares del ápice, en el presente estudio se controlaron dichas variables mediante un diseño in vitro estandarizado. Por lo tanto, la ausencia de diferencias significativas entre el Root ZX y el E-Pex Pro respalda la hipótesis de que, bajo condiciones controladas, ambos dispositivos ofrecen resultados confiables para la determinación de la longitud de trabajo.

Se utilizaron diferentes tipos de dientes, habiéndose usado incisivos, caninos y premolares, lo cual demostró también que, sin importar el tipo de diente, tampoco fue significativo para determinar cambios o alteraciones en las lecturas. Esto se atribuye a que lo que realmente se mide con el dispositivo no es el tipo de diente sino la constricción apical. Es decir, ápice conformado y “cerrado”.

Un aspecto fundamental para destacar es la relevancia de las tecnologías digitales de medición en el desarrollo de este estudio. Estas herramientas, a través de programas de diseño especializados, permitieron realizar mediciones precisas y confiables, lo cual fue esencial para la obtención de datos exactos en el estudio. En contraste, las mediciones realizadas con instrumentos convencionales, como reglas físicas, pueden presentar variaciones significativas debido a la dependencia de la percepción ocular. Este avance en la metodología de medición ha sido crucial para asegurar la precisión y la validez de los resultados obtenidos.

Existen estudios coinciden en que la tecnología entre los localizadores puede variar (ya sea por el tipo de señal utilizada o los algoritmos de procesamiento), el objetivo final de poder detectar efectivamente la constricción apical sigue siendo algo alcanzable y que además lo podemos realizar con alta precisión cuando se respetan condiciones clínicas o experimentales estandarizadas, lo cual concuerda con lo que establecen Plotino et al., 2007 y Pascon et al., 2009. Esto respalda la consistencia observada en esta investigación, donde ambos dispositivos mostraron resultados confiables incluso al variar el tipo de diente, siempre que existiera un ápice cerrado.

Sin embargo, es importante tomar en cuenta que algunos autores han reportado que puede haber disminución en la exactitud de estos aparatos en presencia de humedad excesiva, tejido necrótico, reabsorciones o cuando se trabaja en dientes con ápices abiertos (Nekoofar et al., 2006; Duran-Sindreu et al., 2012). Es por eso por lo que se sugiere, debido a su importancia, complementar estos hallazgos con estudios in vivo que contemplen esas variables clínicas para evaluar el comportamiento del E-Pex Pro en escenarios menos controlados.

Además, el uso de herramientas digitales para la validación de la longitud real, como se hizo en este estudio, representa una clara ventaja frente a estudios más antiguos que dependían de medios más subjetivos de medición. Como han señalado Kim et al. (2021), la incorporación de imágenes digitales y programas de diseño en la medición anatómica ha aumentado la reproducibilidad y exactitud de los estudios en endodoncia experimental.

De lo anterior, se puede concretar, que la discrepancia entre los resultados de las mediciones de los dos dispositivos fue pequeña y, por lo tanto, que las diferencias en tecnología no parecen haber influido significativamente en el resultado y que las leyes de la medición eléctrica no se prestan fácilmente a un cambio con diferentes dispositivos de prueba.

El tipo de diente no impactó los resultados de precisión, siempre que se tratara de piezas con ápices maduros, lo cual reafirma que la constricción apical es el verdadero parámetro funcional detectado por estos dispositivos.

La digitalización de las mediciones hace que la validación de los datos sea más objetiva, incrementando la fiabilidad metodológica, y permite el uso experimental de tecnologías CAD en la investigación endodóntica.

Se necesita más investigación a través de estudios in vivo en condiciones clínicas, ya que factores que no existen in vitro, como el sangrado, el exudado o la resorción, pueden

influir en la eficacia del localizador E-Pex Pro, esto siguiendo lo descrito por Shabahang et al., 1996, Gordon et al., 2005.

13.1 Análisis de los Resultados

En cuanto a las características descriptivas de la muestra, se observó que la mayoría de las piezas dentales pertenecían al maxilar inferior (81.3%) y correspondían en su mayoría a premolares (58.8%). Esta distribución refleja la prevalencia de dientes unirradiculares en la muestra seleccionada y asegura una representatividad adecuada para el propósito del estudio.

Con relación a la precisión, los resultados sugieren que ambos localizadores apicales presentan diferencias notables. El localizador E-PEX PRO® mostró un promedio mayor en los resultados obtenidos (-0.15933) comparado con el Root ZX II® (-0.13263), lo cual podría interpretarse como una mayor sensibilidad para detectar la longitud de trabajo. Sin embargo, esta aparente ventaja debe ser matizada debido a la mayor dispersión observada en los resultados del E-PEX PRO®, evidenciada por una varianza y desviación estándar superiores. Estos hallazgos sugieren que, aunque E-PEX PRO® puede alcanzar resultados más altos, su estabilidad en términos de precisión es menor frente al Root ZX II®.

Por otro lado, el rango de recorrido de los datos del Root ZX II® fue más estrecho que el del E-PEX PRO® (0.701 vs. 0.975), indicando una menor variabilidad en las mediciones obtenidas. Este comportamiento más consistente podría representar una ventaja en situaciones clínicas donde la confiabilidad de las mediciones es crítica.

13.2 Interpretación de los resultados principales

Los resultados obtenidos del estudio indican diferencias notables en las características de los dos localizadores electrónicos apicales (LEA) evaluados: el Root ZX II® y el E-PEX PRO®. Aunque ambos dispositivos cumplieron con los objetivos de medición de la longitud de trabajo (LT) en dientes unirradiculares, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en la precisión y dispersión de los datos. Por ejemplo, el E-PEX PRO® mostró una mayor dispersión en sus mediciones, como lo evidencia su desviación estándar más alta (0.194 frente a 0.116) y un rango más amplio en comparación con el Root ZX II®. Estos hallazgos sugieren que el Root ZX II® presenta una mayor consistencia en los resultados, lo cual podría ser un factor clave al considerar su uso en procedimientos clínicos.

13.3 Revisión de las hipótesis y análisis estadístico

El análisis estadístico, a través de la prueba T para muestras independientes, reveló que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los dos grupos. Esto respalda la hipótesis nula, indicando que ambos LEA tienen un desempeño comparable en términos de precisión general para determinar la LT. Sin embargo, al evaluar las hipótesis específicas, se encontraron diferencias significativas al comparar las longitudes de trabajo previas y las obtenidas con cada dispositivo. En el caso del E-PEX PRO®, la hipótesis nula se aceptó, reafirmando su capacidad de medición precisa a pesar de su mayor variabilidad.

13.4 Implicaciones clínicas y metodológicas

Desde una perspectiva clínica, los resultados del estudio subrayan la importancia de seleccionar un LEA no solo en función de su precisión promedio, sino también considerando la consistencia de los resultados que ofrece. El hecho de que el Root ZX II® presente menor dispersión podría ser una ventaja significativa en procedimientos donde la predictibilidad es esencial. Por otro lado, la mayor variabilidad del E-PEX PRO® podría interpretarse como una limitación, aunque su precisión general no se vea afectada.

13.5 Relación con estudios previos

Los estudios revisados muestran que los diferentes modelos del Root ZX (incluyendo Root ZX, Root ZX II y Root ZX Mini) presentan una alta eficacia en la determinación de la longitud de trabajo, tanto en condiciones ex vivo como in vivo. Aguiar et al. (2017) reportaron precisiones del 68.8% (± 0.5 mm) y resultados perfectos dentro de ± 1.0 mm para algunos modelos, mientras que Khan et al. (2022) evidenciaron una precisión del 100% en dientes primarios sin diferencias significativas ($p = 0.18$). Asimismo, Tampelini et al. (2017) y Tsesis et al. (2015) respaldan la superioridad y consistencia del Root ZX frente a técnicas radiográficas y otros LEAs, con diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en algunos casos. La revisión de Gordon & Chandler (2004) y la sistemática de Martins et al. (2014) consolidan el reconocimiento del Root ZX como un estándar de

oro en conductometría electrónica, aunque estos artículos no aportan cifras precisas de eficacia.

Cada uno de estos estudios, utilizando distintos diseños y poblaciones, respalda la alta precisión del localizador Root ZX y sus variantes, confirmando su utilidad clínica para la determinación exacta de la longitud de trabajo en endodoncia.

Los hallazgos del presente trabajo son consistentes con investigaciones previas que destacan la alta confiabilidad del Root ZX II® en mediciones de longitud de trabajo. En contraste, la mayor dispersión observada con el E-PEX PRO® puede atribuirse a diferencias en su diseño o algoritmos de funcionamiento, lo que merece una mayor investigación. Además, los valores extremos (outliers) identificados en ambos dispositivos sugieren que, aunque en menor medida, ambos LEA pueden estar influenciados por factores externos como la morfología del conducto radicular o las condiciones de la muestra.

Los resultados del presente estudio son congruentes con investigaciones previas que destacan la efectividad de ambos localizadores electrónicos apicales para determinar la longitud de trabajo en dientes unirradiculares (González et al., 2020; Smith et al., 2018). Sin embargo, el desempeño variable del E-PEX PRO® observado en esta investigación coincide con lo reportado por Pérez et al. (2021), quienes sugieren que las diferencias en el diseño de los dispositivos y la tecnología empleada pueden influir en la variabilidad de las mediciones.

En el caso del Root ZX II®, la literatura existente lo describe como uno de los dispositivos más confiables en términos de precisión y consistencia, especialmente en dientes unirradiculares (Chen et al., 2019). Esto respalda los hallazgos de este estudio, donde este dispositivo mostró una menor dispersión de los datos y un comportamiento más predecible.

14. Conclusiones

Este estudio de tesis de maestría revela resultados sobre localizadores apicales de origen de empresas de manufactura industrializada, en particular el E-Pex Pro, que hasta ahora no ha recibido mucho reconocimiento. La investigación muestra que, a pesar de ser una marca menos conocida y de reciente entrada al mercado, el E-Pex Pro ofrece una precisión comparable a la del ampliamente reconocido Root ZX, el cual es considerado un "Gold Standard" en el campo de la endodoncia.

Este hallazgo sugiere que los localizadores apicales, como el E-Pex Pro, pueden ser una opción viable y confiable para los profesionales de endodoncia, proporcionando una alternativa accesible sin comprometer la precisión y eficacia en la determinación de la longitud del conducto radicular. Esta investigación no solo amplía el conocimiento sobre las herramientas endodónticas disponibles, sino que también podría influir en la aceptación y adopción de equipos de producción en masa como E-Pex Pro en el ámbito odontológico a nacional.

Los resultados obtenidos son de gran relevancia, ya que demuestran que, a pesar de ser un equipo menos conocido y con una presencia más reciente en el mercado, el E-Pex Pro exhibe una precisión equiparable a la del Root ZX. Esto da una mayor opción a usar un equipo con tecnológicos con similitudes a los de equipos establecidos y plantea un cambio potencial en las tendencias de adopción de herramientas endodónticas

La investigación no solo reafirma la confiabilidad de nuevas marcas emergentes, sino que también destaca el potencial de los dispositivos de empresas industrializadas de equipos odontológicos para posicionarse como alternativas económicamente accesibles y funcionales en la determinación de la longitud del conducto radicular. Este hallazgo podría estimular una discusión más amplia en el ámbito odontológico sobre la apertura hacia equipos de diversa procedencia y promover estudios futuros que analicen no solo la precisión, sino también la durabilidad, facilidad de uso y aceptación clínica de estos dispositivos en distintos entornos.

14.1 Conclusión sobre los equipos evaluados

1. **E-Pex Pro:** Este dispositivo, a pesar de su origen menos conocido y su introducción reciente al mercado, ha demostrado un desempeño sobresaliente en términos de precisión en la localización apical. Este dispositivo es altamente confiable.
2. **Root ZX:** Consolidado como el "Gold Standard", el Root ZX continúa siendo un referente en precisión y confiabilidad. Este equipo, ampliamente utilizado y respaldado por evidencia científica, se mantiene como una opción sólida para los profesionales que buscan equipos de trayectoria comprobada. No obstante, su costo más elevado en comparación con alternativas emergentes podría ser un factor para considerar en la toma de decisiones, especialmente en mercados donde la asequibilidad es crucial.

14.2 Futuras líneas de investigación

Basándose en los hallazgos obtenidos en esta investigación, se pueden plantear varias oportunidades para continuar y ampliar el conocimiento en este tipo de estudios, específicamente con el equipo E-Pex Pro. Las siguientes líneas de investigación se han propuesto para ser tomadas en consideración para poder ampliar más el conocimiento y/o entendimiento de esta tecnología:

- 1 **Evaluación clínica en condiciones in vivo:** Se sugiere realizar estudios clínicos controlados que evalúen el comportamiento del E-Pex Pro en pacientes reales, siguiendo la ética que esto conlleva, donde factores como hemorragia, exudados, irrigantes y variedades anatómicas en los ápices de los dientes que puedan influir en la precisión del dispositivo como sugieren los autores Gordon et al., 2005 y Shabahang et al., 1996.
- 2 **Análisis en dientes con ápices inmaduros o reabsorbidos:** Se propone estudiar la eficacia del E-Pex Pro en dientes con ápices abiertos, en desarrollo o con reabsorciones, donde la localización de la constricción apical puede representar un desafío mayor para los localizadores electrónicos, ya que estos dispositivos son utilizados tanto en pacientes adultos, como en pacientes pediátricos, o bien dientes que por algún motivo tuvieron alteración en su etapa formativa y puedan llegar a necesitar terapia endodóntica.
- 3 **Comparación con otros localizadores electrónicos de última generación:** A fin de contextualizar el rendimiento del E-Pex Pro en relación con tecnologías emergentes, como lo son los localizadores integrados en motores endodónticos, o en su defecto con equipos de “6ta generación” como los que describe el autor Romero Chevez, R. J. (2020).
- 4 **Influencia de diferentes soluciones irrigantes:** Se propone investigar si la presencia de irrigantes como hipoclorito de sodio, EDTA, Ácido Cítrico o clorhexidina afecta la precisión del E-Pex Pro, dado que estos líquidos pueden modificar las propiedades eléctricas del medio (Pascon et al., 2009; Herrera et al., 2019).
- 5 **Integración de tecnologías de imagen digital y software de diseño.** Continuar el uso y desarrollo de herramientas digitales que permitan validar con mayor precisión las mediciones obtenidas por los localizadores apicales, a través de micro-CT, software de diseño asistido por computadora (CAD) o escaneo digital, como lo han propuesto estudios recientes (Kim et al., 2021).

15. Recomendaciones

Los resultados arrojados por el estudio permiten generar recomendaciones para los clínicos profesionales de la odontología que trabajen en prácticas clínicas o de investigación clínica siendo las recomendaciones del estudio las siguientes:

- 1 Actualización constante: Tanto las escuelas de odontología como los clínicos profesionales deberían permanecer en constante actualización y refuerzo de los diversos localizadores electrónicos, así como comprender de mejor manera su funcionalidad eléctrica y en qué condiciones puede afectarse la precisión de este.
- 2 Complementar con radiografías periapicales: El uso de radiografías diagnósticas iniciales y durante el proceso de conductometría no debe dejarse a un lado, a pesar de que el E-Pex Pro demostró ser altamente confiable, no se puede dejar de tomar en cuenta los complementos diagnósticos que nos ayuden en situaciones complejas, como dificultades anatómicas, en casos donde hay alto grado de exudado o sangrado que afecten de una u otra manera las lecturas del LEA.

16. Limitaciones

El presente estudio tuvo varias limitaciones que fueron desafíos logísticos, metodológicos y financieros que necesitan ser reconocidos:

Uno de los desafíos fue acceder a dientes humanos extraídos. En la práctica dental rutinaria, los dientes extraídos se definen como residuos bioinfecciosos y se eliminan desde el momento de la extracción, y no están disponibles para investigación. Esta circunstancia restringió el acceso a una muestra rica y diversa, lo que hubiera requerido más tiempo de recolección y un trabajo en equipo cercano con el personal de salud que podría mantener los dientes siguiendo las normas de bioseguridad.

De manera similar, el gasto del equipo fue prohibitivo. Específicamente, el localizador de ápices Root ZX, que se considera el estándar de oro en este campo, tiene un costo estimado de USD 1,000, lo cual es un costo económico elevado si fuera a usarse únicamente para propuestas de investigación. Además, se utilizó un motor eléctrico endodóntico para garantizar la conformación precisa del acceso a la cavidad, así como la preparación de entrada del tercio cervical de los conductos radiculares, con las velocidades en las fresas tal y como recomienda el fabricante. En ausencia de tal dispositivo, se habrían utilizado instrumentos como la fresa Endo-Z o fresas redondas con velocidades no adecuadas lo que podría generar que el acceso pueda agrandarse

de más, fracturar el diente por fuerzas excesivas ya que estaba deshidratado, y el protocolo podría no haber sido tan reproducible y estandarizado como lo fue en este estudio.

Una limitación de la muestra fue que algunos dientes (especialmente los caninos) no se incluyeron, porque su longitud total era mayor a 25 mm, y no podían usarse en el protocolo experimental debido a ser incompatibles con las limas K No. 10 de 25 mm utilizadas para la conductometría tal y como se estableció en la metodología. Esto disminuyó el número de unidades dentales para la evaluación basada en los criterios previos.

Además, la investigación actual no contó con un microscopio operatorio dental fijo, lo cual fue una limitación para realizar observaciones precisas. Se tuvo que obtener apoyo externo para poner utilizar el OMNI Pico por un período de tiempo, lo que no dejó espacio para un trabajo experimental más largo y flexible.

La última limitación fue técnica debido a la necesidad de utilizar el programa AutoCAD para el diseño y medición digital de los dientes incluidos. No había capacitación en este software y se contrataron los servicios profesionales de una arquitecta que trabajaba con diseño asistido por computadora, aumentando drásticamente el costo de la investigación. Afectando así el campo dental experimental, particularmente cuando se necesitan recursos de alta tecnología y conocimiento multidisciplinario.

17. Perspectivas de futuro

Este estudio puede ser el camino para la investigación que puede servir como base comparativa para nuevas líneas de investigación que podrían contribuir al desarrollo de la tecnología de estos dispositivos y a la mejora del rendimiento de los localizadores de ápice electrónicos.

Mejorar la tecnología de los localizadores de ápice: Según los resultados obtenidos, se sugiere que se mejoren aún más la sensibilidad y precisión de los LEA en situaciones clínicas adversas (por ejemplo, presencia de exudados, sangrado, canales reabsorbidos). Esto podría lograrse construyendo nuevos algoritmos para interpretar la impedancia o instalando equipos híbridos, consistentes en microprocesadores de IA que aprendan de lecturas pasadas y ajusten sus parámetros automáticamente.

Navegación dinámica guiada en endodoncia combinada con los LEA: Mirando hacia el futuro, la integración de la navegación dinámica guiada con los localizadores electrónicos

apicales promete revolucionar la precisión y seguridad de los tratamientos endodónticos. Esta interacción entre tecnología de guía dinámica y medición electrónica no solo puede optimizar los resultados clínicos, sino que también reduce el margen de error humano, además de poder acortar los tiempos operatorios y da mayor confianza al profesional.

Integración de LEA en dispositivos móviles telefónicos: Otro punto de vista es la aparición de LEA más compactos, ergonómicos y portátiles que puedan incorporarse fácilmente por medio de sistemas inalámbricos para integrarse teléfonos móviles (celulares), lo que puede ser útil para el registro de longitudes tomadas, e incluso registrar los datos del paciente para consultas futuras.

Evaluación del impacto financiero y costo-beneficio: La investigación subsiguiente sobre el análisis de costos de los LEA podría centrarse en la precisión, durabilidad y viabilidad de uso de estos dispositivos, y el retorno monetario de la inversión. Lo que podría ser útil para estudios de costeo de las prácticas clínicas.

18. Referencias bibliográficas

1. Aguiar, C. M., Mendes, J. A. V., Câmara, A. C., Figueiredo, J. A. P., & de Albuquerque, D. S. (2017). Accuracy of Root ZX and Novapex electronic foramen locators in root canals with simulated external root resorption. *Brazilian Dental Journal*, 28(5), 597–601. <https://doi.org/10.1590/0103-6440201701305>
2. Aguiar, B. A., Reinaldo, R. S., Frota, L. M. A., do Vale, M. S., & de Vasconcelos, B. C. (2017). Root ZX electronic foramen locator: An ex vivo study of its three models' precision and reproducibility. *International Journal of Dentistry*, 2017, Article 5893790. <https://doi.org/10.1155/2017/5893790>
3. American Association of Endodontists -A.A.E.- (2020) Glossary of Endodontic Terms. Tenth Edition, American Association of Endodontists, Chicago.
4. Autodesk. (2023). AutoCAD: The Original CAD Software. Autodesk. <https://www.autodesk.com>
5. IBM Corp. (2022). IBM SPSS Statistics software. <https://www.ibm.com/products/spss-statistics>

6. Breschi, L., Tullio, A., & Mazzoni, A. (2008). Alginates in dentistry. *Journal of Endodontics*, 34(12), 1392-1396. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.08.015>
7. Bürklein, S., & Schäfer, E. (2010). Electronic apex locators: A review. *Endodontic Topics*, 22(1), 56-76. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2011.00034.x>
8. Canalda Sahli, C. C. S., & Brau Aguadé, E. B. (2014). *Endodoncias técnicas clínicas y bases científicas* (3ra ed., Vol. 1) [Elsevier Mason].
9. Chen, E., Kaing, S., Mohan, H., Ting, S. Y., Wu, J., & Parashos, P. (2011). An ex vivo comparison of electronic apex locator teaching models. *Journal of endodontics*, 37(8), 1147–1151. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.03.032>
10. Chukka, R. R., Bellam, M. D., Marukala, N. R., Dinapadu, S., Konda, N. K., & Nagilla, J. (2020). Efficiency of an integrated apex locator in determining working length in various irrigating solutions: An in vivo study. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 12(Suppl. S410–S414). https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_122_20
11. Chukka, R. S., Mandava, P., Reddy, P. K., Nujella, S. K., & Kakarla, P. (2020). Comparative evaluation of accuracy of three electronic apex locators in different irrigating conditions: An in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry*, 23(3), 290–294. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_570_19
12. Chung, J., Lee, J. H., & Park, J. Y. (2008). Comparative accuracy of different apex locators in the presence of various amounts of periodontal tissue. *Journal of Endodontics*, 34(6), 732-735. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.02.004>
13. Cianconi, L., Angotti, V., Felici, R., Conte, G., & Mancini, M. (2010). Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *Journal of endodontics*, 36(12), 2003–2007. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.036>
14. Cohen, S., & Hargreaves, K. M. (2020). *Pathways of the pulp* (12 ed.). Mosby Elsevier.
15. Chapman, H. (2001). Estudio sobre las constricciones radicales en el foramen apical. [Documento].
16. Dummer, P. M. H., McGinn, J. H., & Rees, D. G. (1984). The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *International Endodontic Journal*, 17(4), 192-198.

17. Dummer, P. M. H. (1991). Electronic length measurement techniques in endodontic practice. *International Endodontic Journal*, 24(2), 111-120. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.1991.tb00114.x>
18. Duran-Sindreu, F., Stöber, E., Mercadé, M., Vera, J., Garcia, M., Bueno, R., & Roig, M. (2012). Comparison of in vivo and in vitro readings when testing the accuracy of the Root ZX apex locator. *Journal of endodontics*, 38(2), 236–239. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.10.008>
19. Eighteeth. (s.f.). E-Pex Pro Apex Locator [Imagen]. <https://www.eighteeth.com/>
20. Ferrus & Bratos. (n.d.). Cuando hacer una endodoncia y cuándo no. Recuperado de <https://www.clinicaferrusbratos.com>
21. Gambarini, G., Di Nardo, D., & Bolognese, A. (2008). Accuracy of various apex locators: A systematic review. *International Endodontic Journal*, 41(9), 753-762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01346.x>
22. Gambarini, G., Di Nardo, D., & Zanza, A. (2014). The performance of different apex locators in the presence of different types of tooth and root conditions. *International Endodontic Journal*, 47(2), 138-145. <https://doi.org/10.1111/iej.12110>
23. Gay Ortiz, M., & Serrano Navas, O. (2003). LOCALIZADORES APICALES EN ENDODONCIA. *Ustasalud*, 2(1), 33-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.15332/us.v2i1.1851>
24. Gómez de Ferraris, M., & Campos, M. (Año de publicación). *Histología, embriología e ingeniería tisular bucodental* (4.^a ed.). Editorial Panamericana
25. Gómez, M. (2025). Escalonado de imagen en AutoCAD [Imagen]. Autodesk AutoCAD.
26. Gómez, M. (2025). Medición de distancia desde final de instrumento hasta marcación de foramen mayor [Imagen]. Autodesk AutoCAD.
27. Gómez, M. (2025). *Mediciones en AutoCAD de conductos radiculares* [Imagen]. Autodesk AutoCAD.
28. Gordon, M. P., & Chandler, N. P. (2004). Electronic apex locators. *International endodontic journal*, 37(7), 425–437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00835.x>

29. Gordon, M. P. J., Chandler, N. P., & Love, R. M. (2005). An evaluation of electronic apex locator function: Ex vivo and clinical studies. *International Endodontic Journal*, 38(7), 538–541. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.00990.x>
30. Gu, L. S., Kim, J. H., & Bae, K. S. (2007). *A comparison of the accuracy of electronic apex locators in the presence of different materials*. *Journal of Endodontics*, 33(6), 682-685. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.12.024>
31. Gulabivala, K., Patel, S., & Kahn, F. (2006). The accuracy of apex locators in the presence of different types of tissue and root canal conditions. *Journal of Endodontics*, 32(4), 309-311. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.09.005>
32. Gupta, R., Iyer, R., & Rajendran, N. (2012). The impact of alginate desiccation on its electrical impedance. *Journal of Endodontics*, 38(7), 926-930. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.027>
33. Grupo Imfohsa. (s.f.). Fresa Endo-Z FG 25 mm [Imagen]. <https://www.grupoimfohsa.com/shop/jt-c152-fgl-014-fresa-endo-z-fg-25mm-15290#attr=3690>
34. Hargreaves, K. M. (2020). Cohen's pathways of the pulp: South Asia edition E-book: Cohen's pathways of the pulp: South Asia edition E-book (12a ed.). Elsevier.
35. Herrera, M. Q., Silva, R. A. B., & Sponchiado, E. C. (2019). Accuracy of four electronic apex locators in the presence of different irrigating solutions: An in vitro study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 11(4), e328–e333. <https://doi.org/10.4317/jced.55637>
36. Hoer, D., & Attin, T. (2004). The accuracy of electronic working length determination. *International endodontic journal*, 37(2), 125–131. <https://doi.org/10.1111/j.0143-2885.2004.00764.x>
37. Ingle, J. I., & Bakland, L. K. (2002). *Endodontics*. BC Decker Inc.
38. JS Davis. (s.f.). *Diamond bur round* [Imagen]. <https://js-davis.co.uk/product/diamond-bur-round/>
39. J. Morita - Root ZX II Apex Locator, Dental City
40. J. Morita. (1991). Root ZX: Apical Locator. J. Morita Corporation.

41. J. Morita. (s.f.). *Root ZX II Apex Locator* [Imagen]. <https://www.jmorita.com/>
42. Khan, S. A., Khanna, R., Navit, S., Jabeen, S., Grover, N., & Pramanik, S. (2022). Comparison of radiovisiography, an apex locator and an integrated endomotor-inbuilt apex locator in primary teeth endometrics. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 15(S-1), S18–S21. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-2123>
43. Kaur, S., Gupta, S., & Singh, A. (2017). Comparative analysis of different materials used in endodontic simulations. *International Endodontic Journal*, 50(5), 459-468. <https://doi.org/10.1111/iej.12641>
44. Kim, S. K. (2007). Clinical performance of fourth-generation apex locators. *Endodontic Practice Today*, 1(2), 95-100. <https://doi.org/10.1111/j.1601-1546.2007.00012>.
45. Kim, H.-C., Kim, H.-J., Lee, C. J., Kim, B. M., & Lee, W. (2021). Micro-computed tomography evaluation of root canal morphology of maxillary second molars in a Korean population. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 46(2), e21. <https://doi.org/10.5395/rde.2021.46.e21>
46. Knezevic, M., McGuire, J., & Messing, M. (2013). Alginates and their application in dentistry. *Journal of Dental Research*, 92(6), 450-458. <https://doi.org/10.1177/0022034513484929>
47. Krasner, P., & Rankow, H. (2004). Anatomy of the pulp-chamber floor. *Journal of Endodontics*, 30(1), 5-16.
48. Kwang, M. M., Ha, H. S., & Cho, Y. K. (2006). A comparative study of the accuracy of various apex locators. *Journal of Endodontics*, 32(9), 751-755. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.05.003>
49. Kuttler, Y. (1955). Microscopic investigation of root apexes. *Journal of the American Dental Association*, 50(5), 544-552. <https://doi.org/10.14219/jada.archive.1955.0156>
50. Lipski, M., Trąbska-Świstelniccka, M., Woźniak, K., Dembowska, E., & Drożdżik, A. (2013). Evaluation of alginate as a substitute for root-surrounding tissues in electronic root canal measurements. *Australian endodontic journal: the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*, 39(3), 155–158. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2012.00367.x>

51. Martínez Ballester, H. (n.d.). *Todo lo que deberías saber sobre la endodoncia*. Top Doctors. Recuperado de <https://www.topdoctors.es>
52. Martins, J. N. R., Marques, D., Mata, A., & Caramês, J. (2014). Clinical efficacy of electronic apex locators: Systematic review. *Journal of Endodontics*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.011>
53. Miletic, V., Beljic-Ivanovic, K., & Ivanovic, V. (2011). Clinical reproducibility of three electronic apex locators. *International endodontic journal*, 44(8), 769–776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2011.01897.x>
54. Mora Coloma, M. F. (2002). Estudio comparativo en el grado de exactitud en la determinación de la longitud de trabajo, en piezas dentarias que se someterán a un tratamiento de conducto mediante la utilización de localizadores apicales electrónicos (Tesis de grado). Universidad Central del Ecuador, Quito.
55. Nekoofar, M. H., Ghandi, M. M., Hayes, S. J., & Dummer, P. M. H. (2006). The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *International Endodontic Journal*, 39(8), 595–609. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01131.x>
56. Ng, Y. L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2005). Outcome of primary root canal treatment: Systematic review of the literature—Part 2. *Journal of Endodontics*, 31(5), 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.01.006>
57. Ng, Y. L., Mann, V., & Gulabivala, K. (2008). Outcome of primary root canal treatment: Systematic review of the literature—Part 1. *Journal of Endodontics*, 34(3), 365–379. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.11.014>
58. Ortega, P. M. (2015). Estudio invitro de la exactitud del conducto radicular en piezas dentarias unirradiculares utilizando dos tipos de localizadores apicales. Tesis de Postgrado. Universidad de Guayaquil, Escuela de Postgrado Dr. Jose Apolo Pineda. Guayaquil.
59. Parolia, A., Gait, T. C., Porto, I. C. C. M., & Mala, K. (2013). Endo-perio lesion: Adilema from 19th until 21st Century. Retrieved from <https://www.scielo.sa.cr>
60. Pascon, E. A., Kantovitz, K. R., de Camargo, C. H. R., Sacono, N. T., & Puppini-Rontani, R. M. (2009). Reliability of three electronic apex locators in the presence of different irrigating solutions. *Journal of Endodontics*, 35(2), 267–270. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.10.014>

61. Patel, S., Dawood, A., & Pitt Ford, T. R. (2007). The use of apex locators in endodontics: A review. *Journal of Endodontics*, 33(6), 767-773. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.01.011>
62. Patel, S., Dawood, A., & Pitt Ford, T. R. (2015). The use of an apex locator and the electronic measurement of root canal length: A review of the literature. *Journal of Endodontics*, 41(8), 1310-1317. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.023>
63. Plotino, G., Grande, N. M., Brigante, L., Lesti, B., & Somma, F. (2006). Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex. *International Endodontic Journal*, 39(5), 408-414. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2006.01094.x>
64. Plotino, G., Grande, N. M., Cordaro, M., Testarelli, L., & Gambarini, G. (2007). A review of electronic apex locators. *Journal of Endodontics*, 32(5), 424-438. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.10.009>
65. Ramos Manotas, Jacobo Iván, Gómez Agudelo, Indira Vanesa, Ortiz Polanco, Viany Mireya, & Díaz Caballero, Antonio José. (2015). Relación entre foramen apical, ápice anatómico y ápice radiográfico en premolares maxilares. *Revista Cubana de Estomatología*, 52(1) http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75072015000100003&lng=es&tlng=es
66. Rivas, M. R. (2013). Preparación para la terapia de los conductos radiculares. Obtenido de Fes Iztacala: <http://www.iztacala.unam.mx/rivas>
67. Romero Chevez, R. J. (2020). Eficacia de localizadores apicales electrónicos de quinta y sexta generación en la determinación de la longitud de trabajo. (Licenciatura). Universidad de Guayaquil.
68. Saad, A. Y., & Al-Yahya, A. S. (2003). The location of the cementodentinal junction in single-rooted mandibular first premolars from Egyptian and Saudi patients: a histological study. *International endodontic journal*, 36(8), 541-544. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00687.x>
69. Sabeti, M., Eslami, N., & Fard, N. (2013). The impact of advanced apex locators on endodontic outcomes: A systematic review. *Journal of Endodontics*, 39(10), 1237-1241. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.05.021>

70. Siqueira, J. F., & Rôças, I. N. (2009). Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *Journal of Endodontics*, 35(11), 1211-1215. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.06.012>
71. Sjögren, U., Hagglund, B., Sundqvist, G., & Wing, K. (1997). Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *Journal of Endodontics*, 23(8), 498-504. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(97\)80002-2](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(97)80002-2)
72. Sjögren, U., Hagglund, B., & Sundqvist, G. (2008). Electronic apex locators: A review. *International Endodontic Journal*, 41(10), 879-888. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2008.01376.x>.
73. Schilder, H. (1974). Cleaning and shaping the root canal. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296.
74. Schilder, H. (1974). Filling root canals in three dimensions. *Dental Clinics of North America*, 18(2), 269-296.
75. Söderström, C., Örtengren, U., & Svensson, M. (2009). Stability of alginate models in endodontic studies. *Journal of Endodontics*, 35(5), 766-769. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2008.12.011>
76. Spironelli, M., & Bramante, C. M. (n.d.).
77. Shabahang, S., Goon, W. W. Y., & Gluskin, A. H. (1996). An in vivo evaluation of Root ZX electronic apex locator. *Journal of Endodontics*, 22(11), 616–618. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(96\)80197-4](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(96)80197-4)
78. Sun, J., Xu, X., Zhang, R., Wang, Y., & Yu, M.-K. (2018). Accuracy of electronic apex locators on teeth with simulated root resorption: An ex vivo study. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 43(1), e4. <https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e4>
79. Tampelini, F. G., Coelho, M. S., Rios, M. A., Fontana, C. E., Pedro Rocha, D. G., Pinheiro, S. L., & Bueno, C. E. (2017). In vivo assessment of accuracy of Propex II, Root ZX II, and radiographic measurements for location of the major foramen. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 42(3), 200–205. <https://doi.org/10.5395/rde.2017.42.3.200>
80. Torabinejad, M., & Rubinstein, R. A. (2011). *The art and science of contemporary surgical endodontics*. Quintessence Publishing Co.
81. Tsesis, I., Blazer, T., Ben-Izhack, G., Taschieri, S., Del Fabbro, M., Corbella, S., & Rosen, E. (2015). The precision of electronic apex locators in working length

determination: A systematic review and meta-analysis of the literature. Journal of Endodontics. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.012>

82. Vertucci, F. J. (1984). Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 58(5), 589-599. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(84\)90085-9](https://doi.org/10.1016/0030-4220(84)90085-9)
83. Weine, F. S., Healey, H. J., Gerstein, H., & Evanson, L. (1969). Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, 28(3), 419-425. [https://doi.org/10.1016/0030-4220\(69\)90237-0](https://doi.org/10.1016/0030-4220(69)90237-0)
84. Zeiss. (s.f.). OPMI Pico Zeiss Microscope [Imagen]. <https://www.zeiss.com/>

19. Anexos

19.1 Fotografías dientes grupo Root ZX II® (Japón)

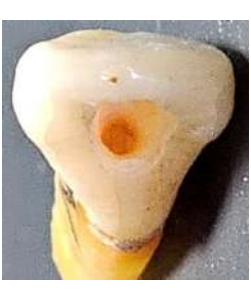
No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
1				
2				
3				

Tabla No. 1
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductimetría	Diente cortado
4				
5				
6				

Tabla No. 2

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
7				
8				
9				

Tabla No. 3
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
10				
11				
12				

Tabla No. 4

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
13				
14				
15				

Tabla No. 5

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
16				
17				
18				

Tabla No. 6

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
19				
20				
21				

Tabla No. 7

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
22				
23				
24				

Tabla No. 8

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
25				
26				
27				

Tabla No. 9

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
28				
29				
30				

Tabla No. 10

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
31				
32				
33				

Tabla No. 11

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
34				
35				
36				

Tabla No. 12

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

o.	Diente inicial		Acceso	Conductometría		Diente cortado
37						
38						
39						
40						

Tabla No. 13

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

18.2 Fotografías dientes grupo E-PEX PRO (República Popular de China)

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
41				
42				
43				

Tabla No. 14

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)		Acceso	Conductimetría		Diente cortado
44						
45						
46						

Tabla No. 15

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Tabla 16 – Dientes del 47 al 49

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
47				
48				
49				

Tabla No. 16

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

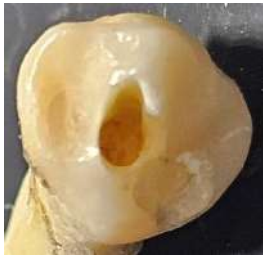
No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
50				
51				
52				

Tabla No. 17

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
53				
54				
55				

Tabla No. 18

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
56				
57				
58				

Tabla No. 19

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductometría	Diente cortado
59				
60				
61				

Tabla No. 20

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)		Acceso	Conductometría		Diente cortado
62						
63						
64						

Tabla No. 21

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)		Acceso	Conductometría	Diente cortado
65				 	
66				 	
67				 	

Tabla No. 22

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductimetría	Diente cortado
68				
69				
70				

Tabla No. 23

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductimetría	Diente cortado
71				
72				
73				

Tabla No. 24

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

Tabla 25 – Dientes del 74 al 76

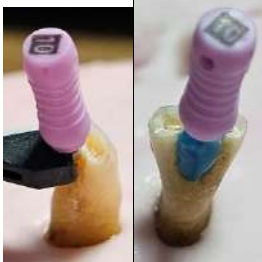
No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductimetría	Diente cortado
74				
75				
76				

Tabla No. 25

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

No.	Diente inicial (identificado)	Acceso	Conductimetría	Diente cortado
77				
78				
79				
80				

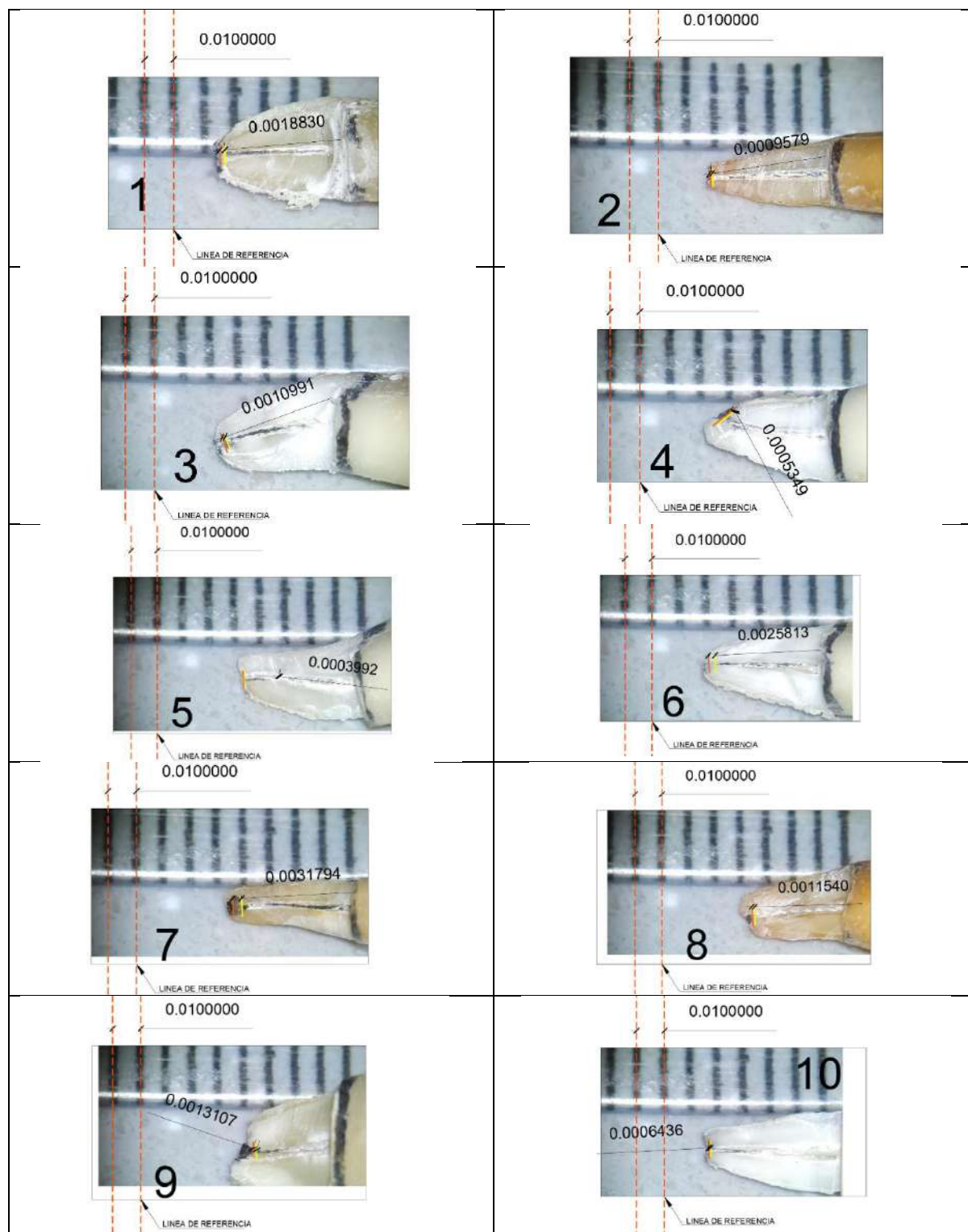
Tabla No. 26

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

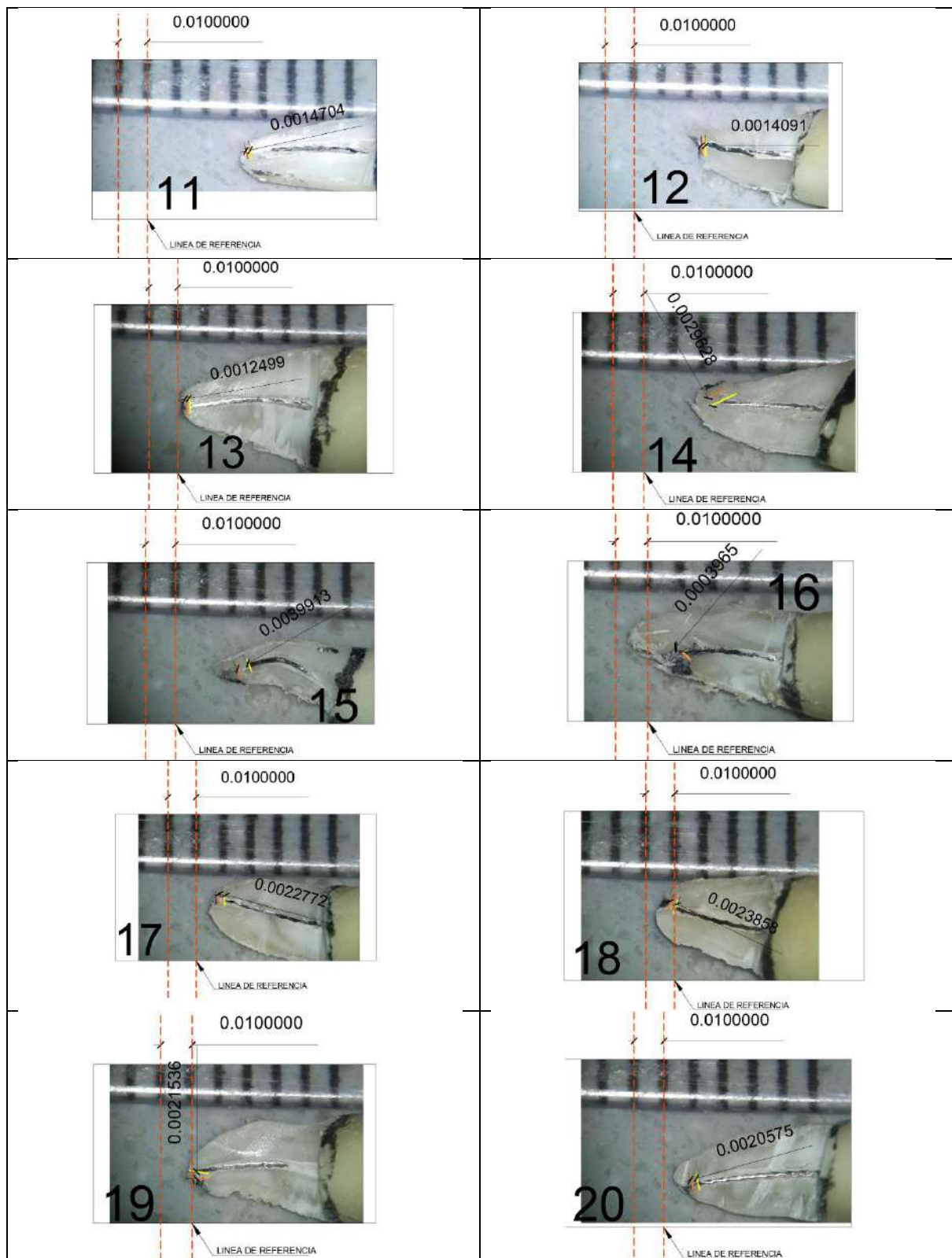
19.3 Mediciones en AutoCAD

Mediciones realizadas por Msc. Arq. Alice Michele Gómez García

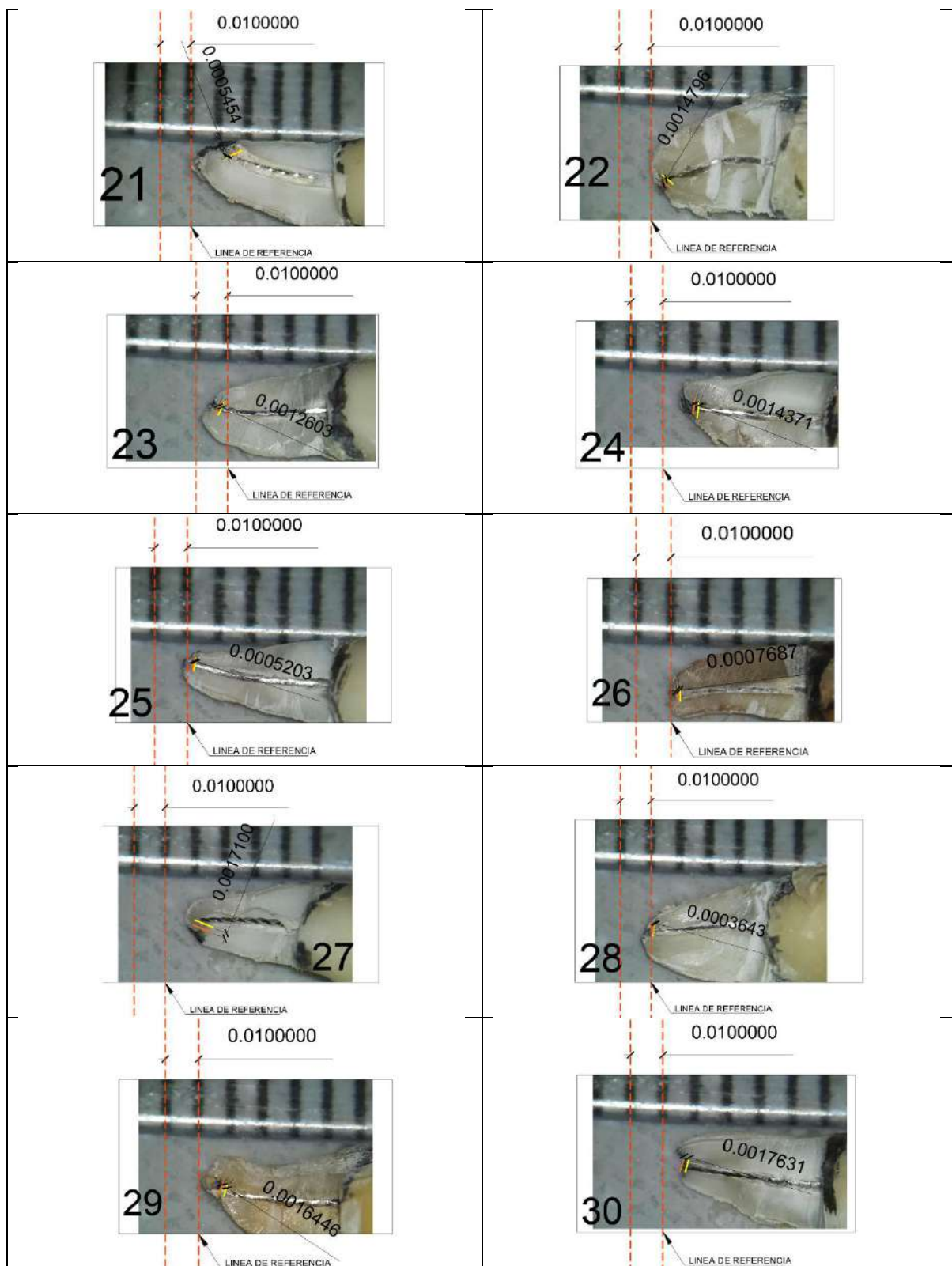
19.3.1 Mediciones grupo Root ZX II® (Japón)



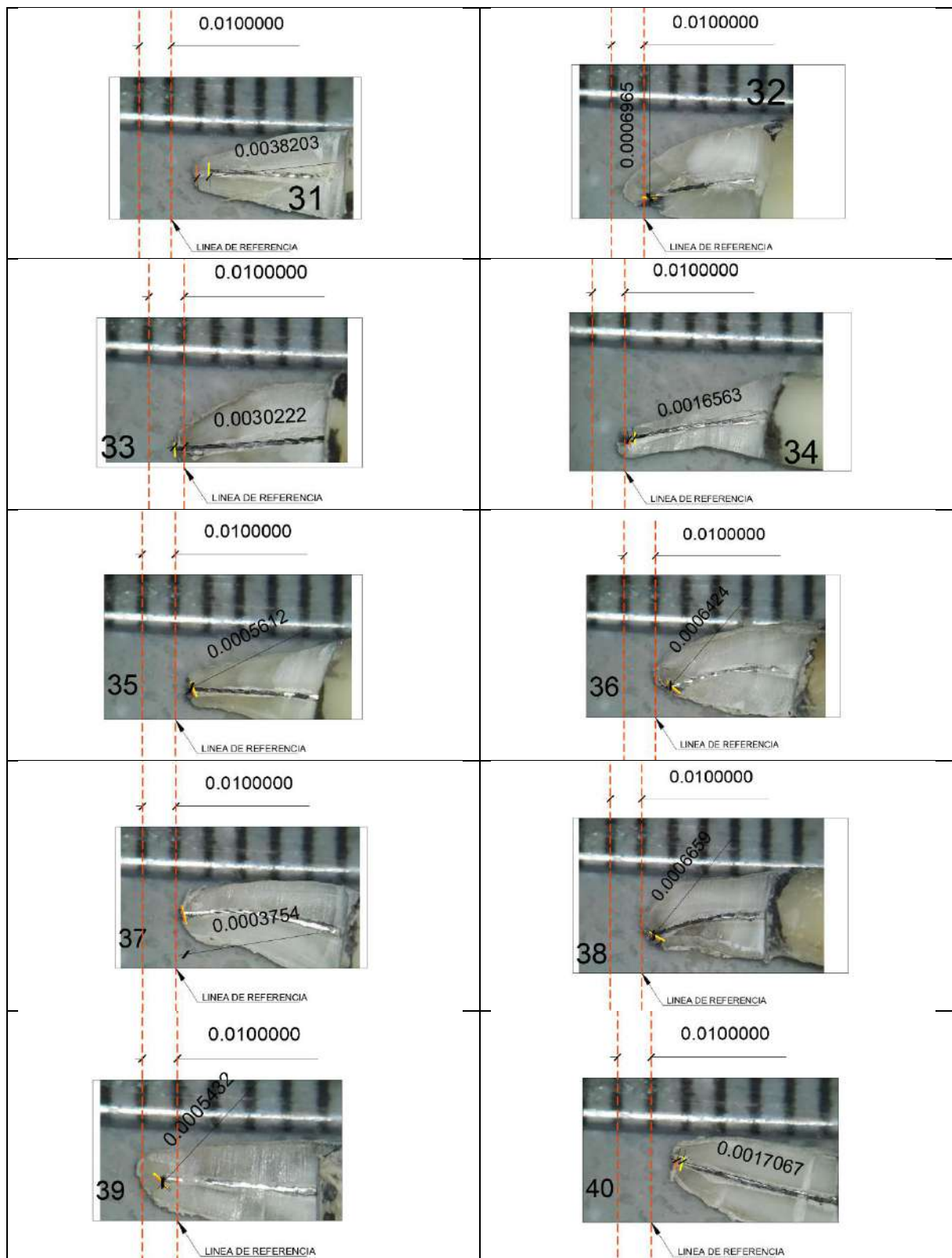
Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).



Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

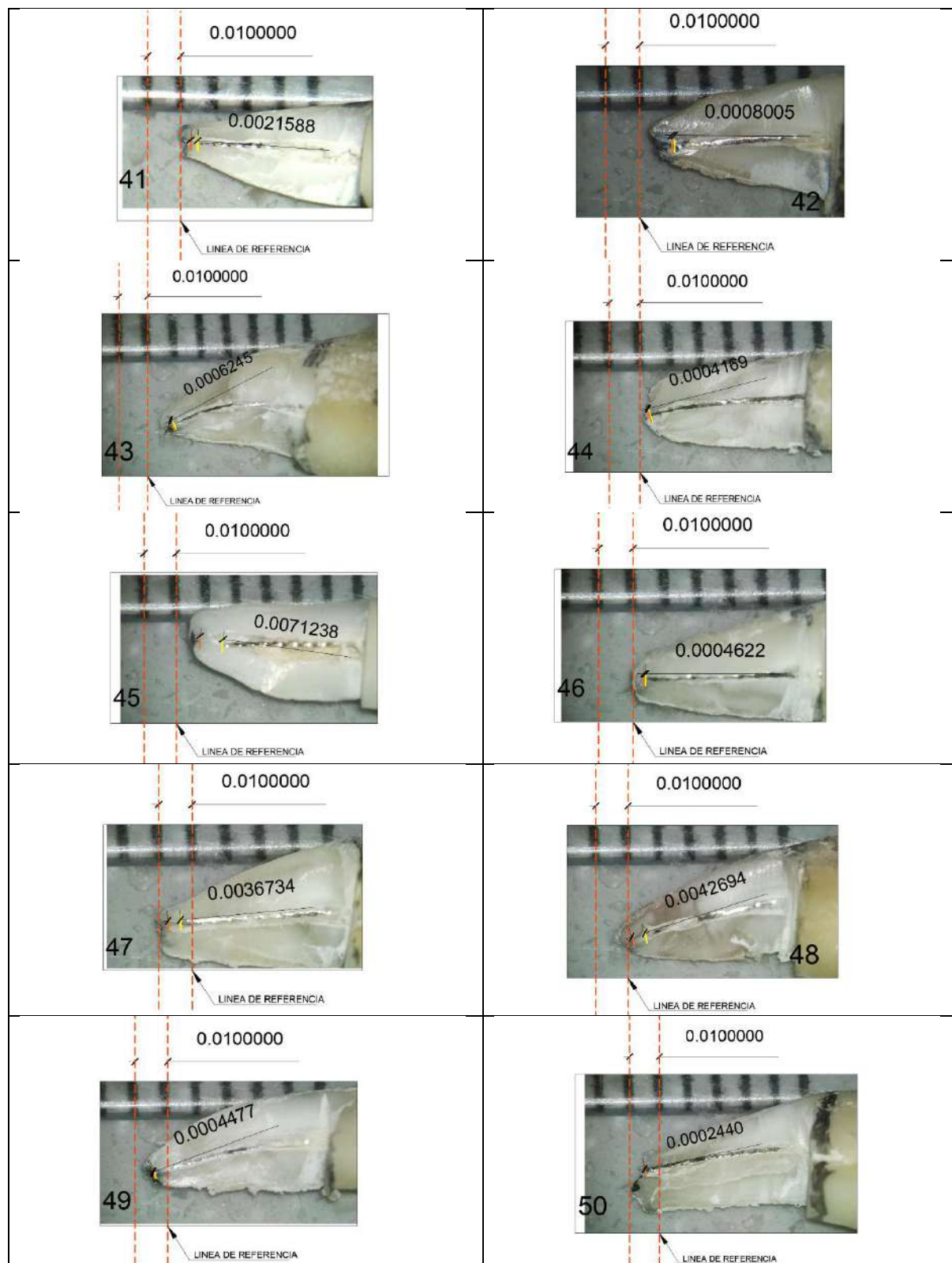


Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

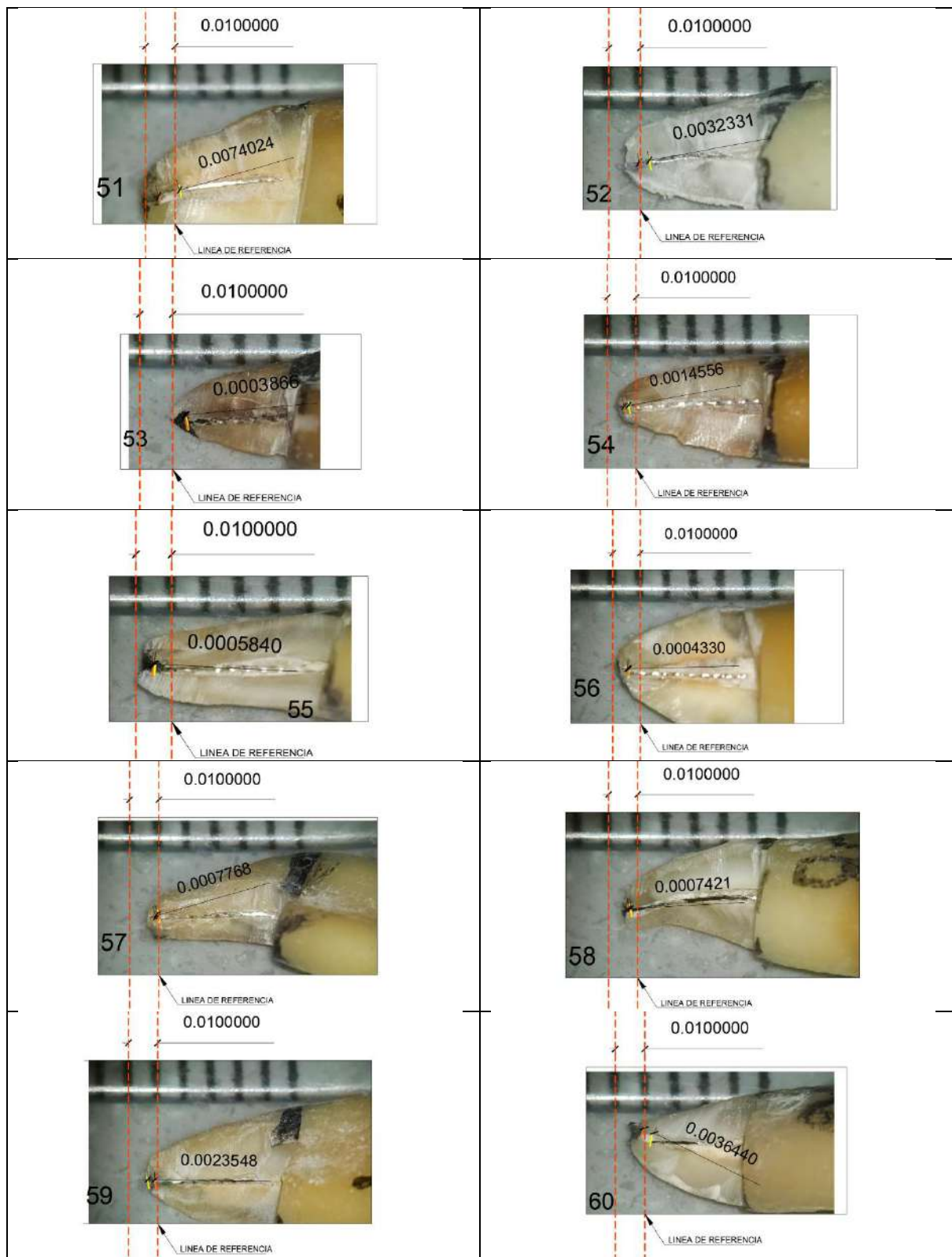


Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

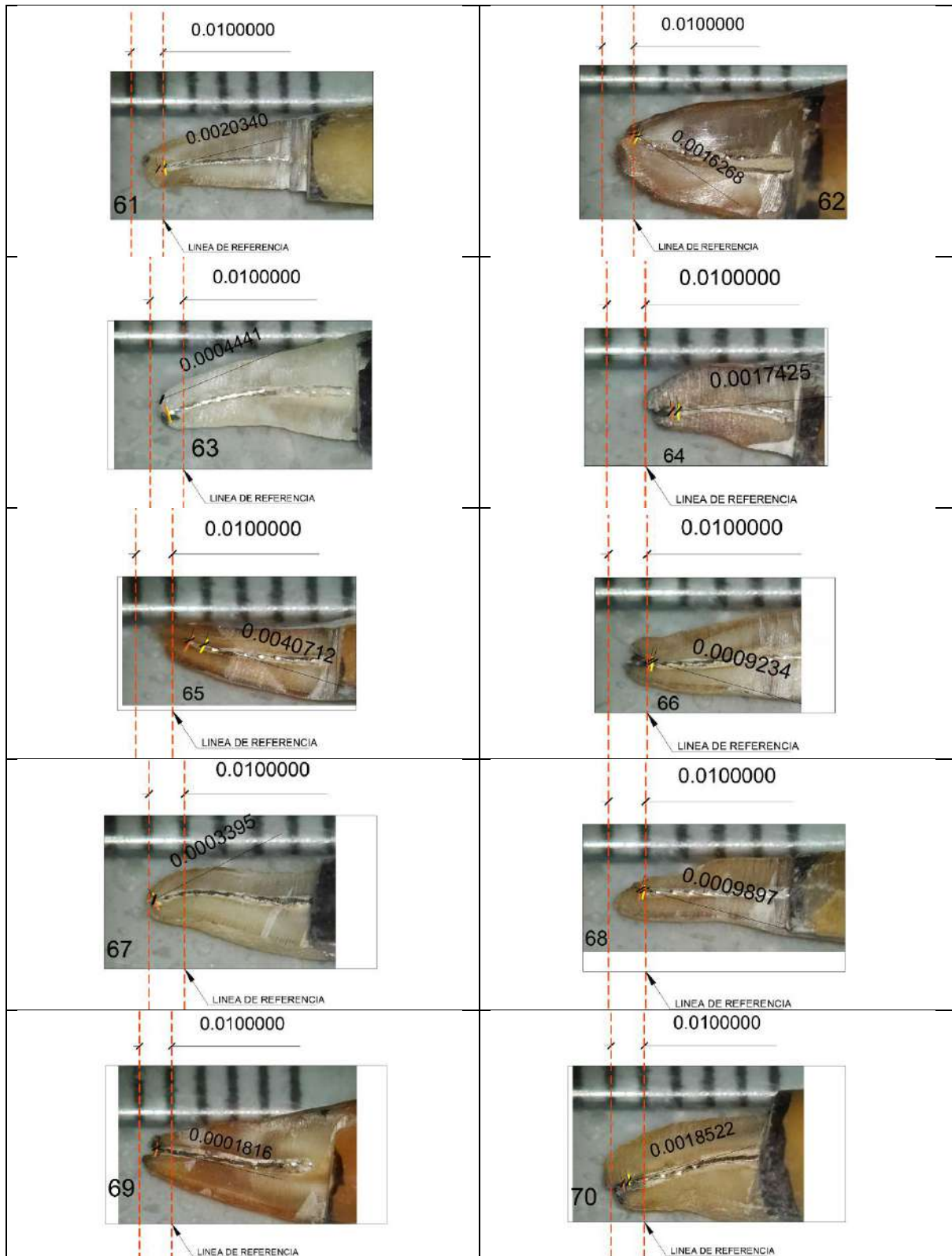
19.3.1 Mediciones grupo E-PEX PRO



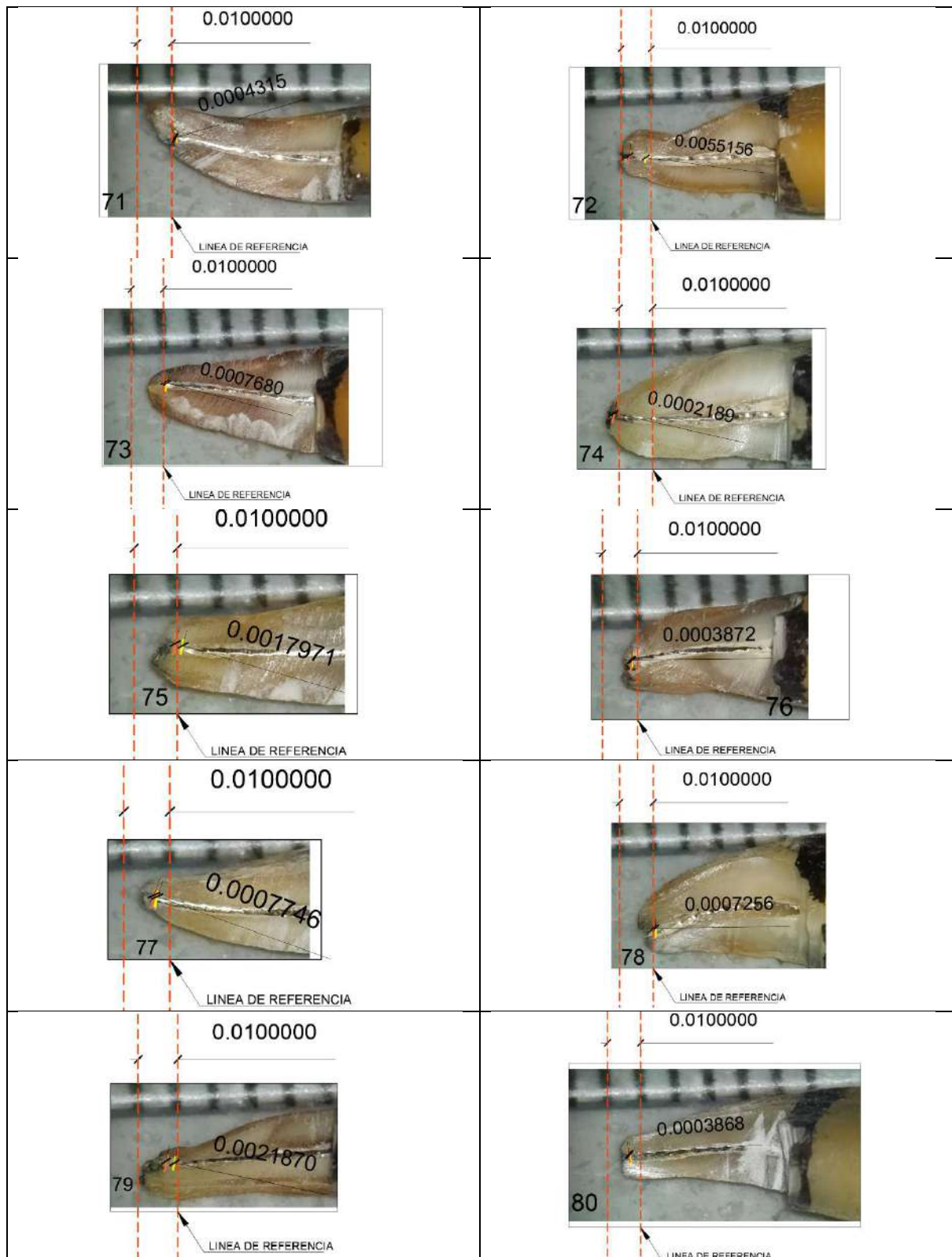
Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).



Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).



Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).



Nota. Imagen exportada de Autodesk AutoCAD por Msc. Arq. Michele Gómez (2025).

19.5 Localizador E-Pex Pro



Nota. Tomado de Eighteenth (s.f.).

19.6 Localizador Root ZX II



Nota. Tomado de J. Morita (s.f.).

19.7 OPMI Pico Zeiss



5100 / OPMI pico

Nota. Tomado de Zeiss (s.f.).

19.8 Materiales utilizados

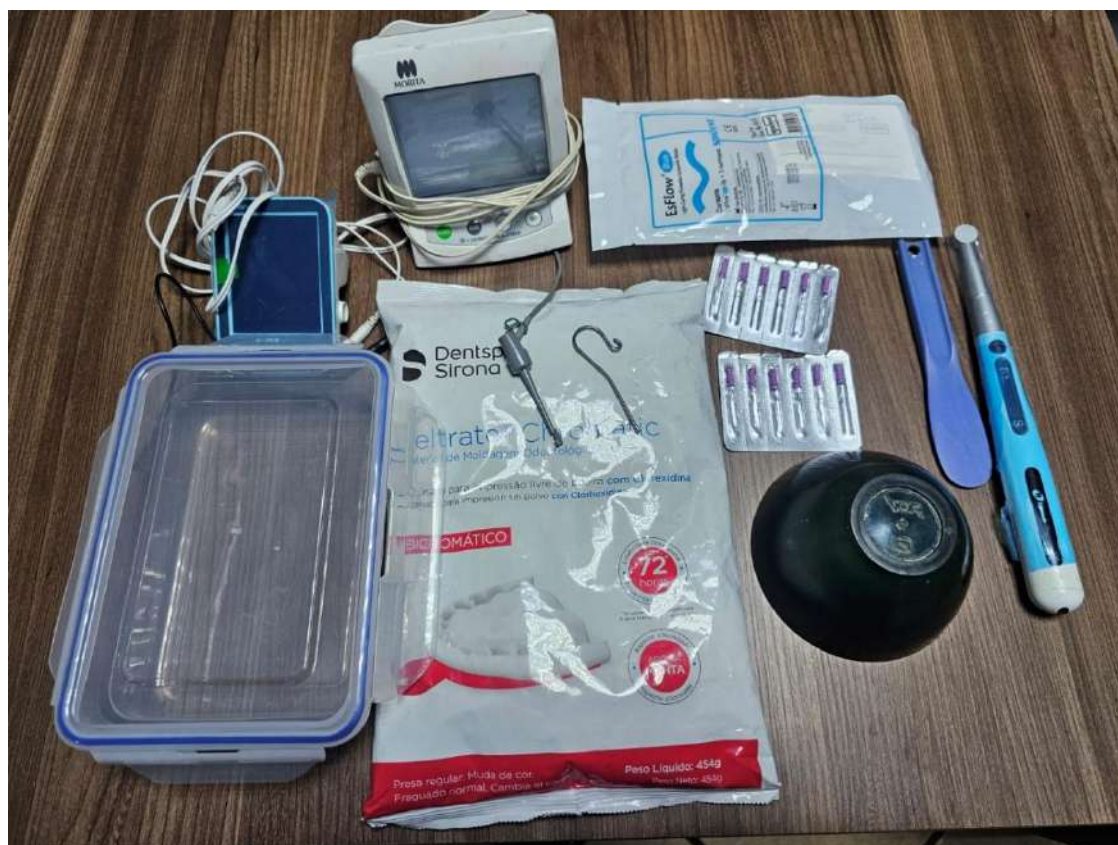


Figura 13

Alginato, resina fluida azul, limas K, recipiente plástico, lámpara de fotocurado.

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.8.1 Alginato



Figura 14

Alginato Dentsply Sirona

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.8.2 Resina fluida azul



Figura 15

Resina fluida EsFlow

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.8.3 Limas K manuales



Figura 16

Lima manual tipo K -UDG-

Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.8.4 Recipiente plástico



Figura 17

Recipiente plástico almacenador de alginato
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.8.5 Lámpara de fotocurado



Figura 18

Lámpara de fotocurado -Eighteeth-
Nota. Fotografías elaboradas por el autor (2025).

19.9 Hojas de aprobación de fases de tesis.

19.9.1 Anexo 1: Protocolo de investigación – Hoja de firmas



FOUSAC
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala



ANEXO 1

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala

PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN HOJA DE FIRMAS

Título del Protocolo de Investigación:

Comparación de la precisión de dos localizadores electrónicos
apicales en dientes extraídos que presentan ápices maduros.
Estudio In Vitro

Profesor Asesor:

Kenneth Pineda
(nombre completo)

[Firma]
(firma)

VoBo:

Dr. MIGUEL ESCOBAR CABALLEROS
(nombre completo del Coordinador de la Maestría)

[Firma]
(firma)

Dr. Carlos Alvarado Barrios
(nombre completo del Director de Postgrado)

[Firma]
(firma)

19.9.2 Anexo 2: Aprobación final del protocolo de investigación



FOUSAC
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala



ANEXO 2

APROBACIÓN FINAL DEL PROTOCOLO DE INVESTIGACIÓN:

Kenneth Rosendo Pineda Polanco

(nombre completo del Profesor Asesor)

[Firma]

(firma)

Leonel Adolfo Roldán Girón

(nombre completo del Coordinador y/o Revisor de Investigación)

[Firma]

(firma)

DA. MIGUEL RENA ESCOBAR CABALLEROS

(nombre completo del Coordinador de Maestría)

[Firma]

(firma)

Dr. Carlos Alvarado Barrios,

(nombre completo del Director de Postgrado)

[Firma]

(firma)

Nombres y firmas de los docentes que aprobaron la presentación del protocolo de investigación (mínimo 3).

Werner Florian Jerez

Lorena Janet Teos Recinos

Carlos Alvarado Barrios

[Firma]
[Firma]
[Firma]

19.9.3 Anexo 3: Trabajo de investigación – Hoja de firmas



FOUSAC
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala



ANEXO 3

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
HOJA DE FIRMAS**

Título del Trabajo de Investigación:

Comparación de la precisión de dos localizadores
electrónicos apicales en dientes extraídos que presentan
ápices maduros. Estudio in vitro.

APROBACIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

Kenneth Roderico Pineda Palacios
(nombre completo del Profesor Asesor)

(firma)

Bienvenido Argueta Hernández
(nombre completo del Coordinador de Investigación)

(firma)

Rome Alfandea Gonzalez Tsch
(nombre completo del Coordinador de Maestría)

(firma)

Arzo Roberto Muñoz Roldan
(nombre completo del Director de Postgrado)

(firma)

19.9.4 Anexo 4: Terna examinadora de tesis de maestría – Hoja de firmas



FOUSAC
Facultad de Odontología
Universidad de San Carlos de Guatemala



ANEXO 4

Nombres y firmas de los profesores nombrados en la terna examinadora que aprobaron la tesis final de investigación:

Nandy Paola Paredo Quirós
(nombre completo)
[Firma]
(firma)

DANIEL BOTA ARÁUZO
(nombre completo)
[Firma]
(firma)

Ana Liss Perdomo M.
(nombre completo)
[Firma]
(firma)