



Depósito Legal: ppi201302ME4323

ISSN: 2343-595X

# La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>


## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

### Precisión de los localizadores apicales electrónicos AI-Pex, Findpex y Root ZX II en la determinación de la longitud de trabajo en dientes humanos: estudio in vitro

#### *Accuracy of the AI-Pex, Findpex and Root ZX II electronic apex locators in determining working length in human teeth: An in vitro study*

Ricardo Giménez<sup>1</sup>, Marcos Morillo<sup>1,2</sup>, Carlos Terán<sup>3</sup>, José Maggiorani<sup>4</sup>1. Ejercicio odontológico privado, Universidad de Los Andes. <https://orcid.org/0000-0001-9937-6339>2. Ejercicio odontológico privado, ULA. <https://orcid.org/0009-0009-7909-1489>3. Profesor de Endodoncia, ULA. <https://orcid.org/0000-0001-9516-059X>4. Residente del Postgrado de Endodoncia, Universidad Central de Venezuela. <https://orcid.org/0009-0008-2517-3940>

## RESUMEN

### Historial del artículo

Recibo: 04-06-26

Enviado a evaluación:

15-06-26

Aceptado: 05-07-26

Disponibilidad en línea:

01-09-2026

### Palabras Clave:

Localizador de ápice electrónico, longitud de trabajo, Ai-PEX, FindPex, Root ZX II.

### Keywords:

Electronic apex Locator, working length, Ai-PEX, FindPex, Root ZX II.

**Introducción:** Los localizadores electrónicos de ápice (LEA) han probado ser precisos y eficaces para localizar la constricción apical, el límite de la instrumentación y la obturación del SCR en comparación con la radiografía periapical convencional. Aunque estos dispositivos pueden minimizar el error de la medición y proporcionar mejores resultados clínicos, es necesario evaluar la precisión de los nuevos modelos para garantizar el éxito del tratamiento endodóntico. **Objetivo:** comparar *in vivo* la precisión de dos localizadores apicales electrónicos Ai-PEX, FindPex y el gold estándar Root ZX II. **Materiales y métodos:** La muestra incluyó 35 unidades dentarias monorradiculares extraídos de humanos. Las medidas obtenidas por LEA fueron estudiadas mediante la realización de un análisis estadístico inferencial donde se compararon los datos del instrumento de recolección de datos por medio de la prueba ANOVA de un factor para la precisión de cada LEA con el software estadístico IBM SPSS versión 25. **Resultados:** El Root ZX II presentó la mayor precisión, seguido por Ai-Pex y FindPeX. Se encontraron diferencias significativas entre los LEA y el método radiográfico ( $p < 0,0501$ ), pero no entre los tres LEA ( $p > 0,05$ ). **Conclusiones:** Todos los LEA estudiados son dispositivos seguros, confiables y clínicamente predecibles para el tratamiento endodóntico.

**Autor de correspondencia:** Marcos Morillo. Correo: [marcantonio97@gmail.com](mailto:marcantonio97@gmail.com)

Cómo citar: Morillo M et al. Precisión de los localizadores apicales electrónicos AI-Pex, Findpex y Root ZX II en la determinación de la longitud de trabajo en dientes humanos: estudio in vitro. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 9-26.

---

## ABSTRACT

---

**Introduction:** Electronic apex locators (AELs) have proven to be accurate and effective for locating the apical constriction, instrumentation limit, and root canal obturation compared to conventional periapical radiography. Although these devices can minimize measurement error and provide better clinical outcomes, it is necessary to evaluate the accuracy of newer models to ensure the success of endodontic treatment. **Objective:** To compare in vivo the accuracy of two electronic apex locators, Ai-PEX and FindPex, and the gold standard Root ZX II. **Materials and methods:** The sample included 35 single-rooted teeth extracted from humans. The measurements obtained by AELs were analyzed using inferential statistical analysis, comparing the data from the data collection instrument with a one-way ANOVA test for the accuracy of each AEL using IBM SPSS statistical software version 25. **Results:** The Root ZX II showed the highest accuracy, followed by Ai-PEX and FindPex. Significant differences were found between the devices and the radiographic approach ( $p < 0.001$ ), but not among the three apex locators. **Conclusions:** All the LEAs studied are safe, reliable, and clinically predictable devices for endodontic treatment.

---

## Introducción

La endodoncia es un área especializada de la odontología que se enfoca al estudio y tratamiento de las patologías que afectan al tejido pulpar del sistema de conductos radiculares (SCR) y los tejidos periapicales, un paso fundamental de este procedimiento es la determinación precisa de la longitud de trabajo de los conductos. La desinfección efectiva del tercio apical depende en gran medida de una precisa longitud de trabajo que corresponde al límite hasta el cual deben llegar los instrumentos endodónticos, soluciones irrigantes y el material de obturación, sin sobrepasar el foramen apical ni quedar cortos respecto a la constricción fisiológica, lo cual favorece una correcta desinfección del SCR<sup>1</sup>. Los localizadores electrónicos de ápice (LEA) han revolucionado la práctica endodóntica, proporcionando una manera eficaz y precisa para localizar la constricción apical, el cual es el límite de la instrumentación y la obturación del SCR<sup>2,3</sup>. Estos dispositivos, que han demostrado ser altamente efectivos en comparación con los métodos tradicionales, como la radiografía periapical debido a su funcionamiento utiliza la diferencia de impedancia entre los tejidos que se encuentran en la anatomía de la región apical, delimitando así el tejido pulpar del tejido periapical, esta región presenta múltiples variaciones morfológicas que pueden causar errores en cuanto al límite de instrumentación con métodos convencionales<sup>4</sup>.

Por ello, su uso se ha convertido en una práctica estándar en la odontología moderna por ser superior a los métodos convencionales en la determinación de la longitud de trabajo. No obstante, la selección del localizador adecuado y su correcta utilización son fundamentales para garantizar la ubicación de la constricción apical, pues en la actualidad existe diversos localizadores electrónicos de ápice comerciales.

La terapia endodóntica consiste en una serie de pasos sucesivos que se emplean en el manejo de patologías pulpares cuando la pulpa está afectada y manifiesta signos o síntomas que deben ser tratados <sup>5-7</sup>. Para ello, se lleva a cabo la extirpación del tejido pulpar del diente con instrumentos especializados, lo que permite la desinfección y preparación de la forma de los conductos radiculares para luego sellarlos tridimensionalmente con materiales compatibles con la estructura dentaria <sup>8-10</sup>, lo que ayuda a recuperar la integridad de los tejidos periapicales y conservar la unidad dentaria en boca <sup>11, 12,13,14,15</sup>.

Para la obtención de una correcta longitud de trabajo se han descrito varias técnicas en la literatura como la radiografía periapical de conductometría, el método táctil, el método de puntas de papel y el uso de localizadores electrónicos de ápice; en la actualidad, el estándar durante tratamientos del SCR consta de una medición electrónica que se corrobora con la radiografía periapical.

En la actualidad es muy frecuente el uso de LEA debido a su uso práctico y nivel de precisión; estos dispositivos funcionan comparando la impedancia de la mucosa oral mediante el uso del gancho labial y el electrodo que está en contacto con el instrumento endodóntico, el cual, a su vez, está inserto en el conducto radicular, creando un circuito que los LEA pueden medir e interpretar, diferenciando así los tejidos pulpares de los periapicales, siendo de gran utilidad debido a la gran varianza anatómica de la región apical <sup>16</sup>.

Los LEA surgieron a partir criterio de medir la conductividad eléctrica del diente para poder determinar la posición de la unión cemento dentina (UCD) <sup>17</sup>; luego se descubrió, a través de un estudio realizado en canes, que la mucosa oral y el diente generaban una resistencia eléctrica constante de  $6.5\text{ K}\Omega$  <sup>18</sup>. Este principio fue utilizado posteriormente como referencia para crear el primer dispositivo considerado como un LEA capaz de medir la resistencia al aplicar una corriente directa a través del diente hasta el periodonto <sup>19, 20</sup>.

Desde su creación, se han realizado numerosos estudios preclínicos y más recientemente clínicos para evaluar la precisión de los localizadores apicales electrónicos. En la medida en que se van desarrollando y comerciando nuevos dispositivos, surge la necesidad de evaluarlos para sustentar su uso clínico. Betancourt et al. <sup>27</sup> publicaron un estudio con el propósito de comparar in vitro, la precisión de Propex II, Raypex 6, Propex Pixi y Root ZX II para localizar el foramen apical. Para ello, se usaron 100 premolares, cuyas porciones del ápice radicular se sumergieron en alginato recién preparado con el propósito de simular el ligamento periodontal; también se sumergió el clip labial en el alginato para completar el circuito; los resultados arrojaron que no se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó la precisión de medición entre los diferentes grupos de LEA, sin embargo, Root ZX II y Raypex 6 mostraron un mejor desempeño global.

Asimismo, Cury et al.<sup>28</sup> compararon la precisión del localizador apical Root ZX II con otros dispositivos (LEA). Sus resultados revelaron el uso de una prueba similar a la empleada en estudios previos, pero con algunas variaciones, para determinar si los LEA medían correctamente la LT; para ello, se usaron microtomografías para calcular la longitud de trabajo real, midiendo la longitud desde la punta del instrumento hasta la UCD usando un micro tomógrafo SkyScan 1272. Estas investigaciones dieron como resultado que el Root ZX II fue el más preciso.

Silva<sup>29</sup> realizó otro estudio con el objeto de comparar las lecturas obtenidas de diferentes LEA entre los cuales se mencionan el Ai-PEX, Root ZX mini y Wireless-X entre ellos el Root ZX. Este estudio realizado en dientes extraídos, tomando en consideración diferentes diámetros de preparación en los conductos radiculares, hizo las mediciones de la longitud de trabajo de los distintos LEA y los comparó con la longitud de trabajo real obtenida de un microscopio electrónico. Observó que el Ai-Pex era más preciso que el Root ZX en la obtención de la LT. Vaid et al.<sup>30</sup> compararon la precisión del Root ZX II y del Root ZX Mini en presencia de distintos irrigantes y observaron que la exactitud de ambos dispositivos varió según la solución utilizada, lo que confirmó que el medio intracanal puede modificar las lecturas del localizador apical. Por su parte, Cîmpean et al.<sup>31</sup> evaluaron in vitro la precisión de tres localizadores apicales electrónicos con diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y encontraron que la concentración del irrigante influyó en el desempeño de los dispositivos, aunque no de manera uniforme entre ellos. Sánchez y Zambrano<sup>32</sup> compararon el criterio radiográfico de conductometría con el localizador apical Root ZX II y señalaron que la medición electrónica ofreció una alternativa útil para la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia. Si deseas, puedo ayudarte a integrarla en el párrafo general con el mismo estilo descriptivo de las demás referencias.

Lucena-Martin et al.<sup>33</sup> evaluaron in vitro la precisión de tres localizadores apicales electrónicos y demostraron que estos dispositivos ofrecían una medición confiable en condiciones controladas. Cianconi et al.<sup>34</sup> compararon tres localizadores apicales con la radiografía digital en un estudio ex vivo y mostraron que la medición electrónica podía superar la precisión del método radiográfico. De forma similar, Miguita et al.<sup>35</sup> analizaron comparativamente dos localizadores apicales en la determinación de la longitud de trabajo y confirmaron su utilidad clínica. Karunakar y Biragoni<sup>36</sup> también realizaron una evaluación in vitro de dos localizadores apicales y reportaron una alta exactitud en la localización del foramen apical. Real et al.<sup>37</sup> compararon tres localizadores apicales con la radiografía digital directa y concluyeron que la medición electrónica mostró un mejor desempeño que la técnica radiográfica convencional.

Dado el creciente número de estudios experimentales, se han realizado algunas revisiones. Tsesis et al.<sup>38</sup> publicaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre la precisión de los localizadores apicales en la determinación de la longitud de trabajo y confirmaron que estos dispositivos constituyen una herramienta válida y confiable en endodoncia. Gehlot et al.<sup>39</sup> evaluaron in vitro la precisión de cuatro localizadores apicales

con limas manuales de acero inoxidable y níquel-titanio, y demostraron que la exactitud podía variar según el tipo de instrumento empleado. Yologiden et al.<sup>40</sup> compararon cuatro localizadores apicales en la detección de la longitud de trabajo y encontraron diferencias entre los dispositivos, aunque todos mostraron un rendimiento clínicamente aceptable.

Más recientemente, Sahni et al.<sup>41</sup> compararon el localizador apical electrónico, la radiografía digital y el método radiográfico convencional en dientes temporales y observaron un mejor rendimiento del método electrónico para establecer la longitud de trabajo. Mosharafian y Mollaie<sup>42</sup> evaluaron in vitro la precisión de Raypex 5 y Root ZX II en dientes temporales, y confirmaron la utilidad de ambos equipos, con mejor desempeño del Root ZX II. Alonzo y Ferraro-S.<sup>14</sup> compararon la determinación de la longitud de trabajo mediante localizador electrónico de foramen apical y CBCT con el software 3D Endo, y encontraron que la técnica electrónica resultó útil como alternativa de medición. Bernardo et al.<sup>43</sup> realizaron un estudio in vitro con dientes artificiales y confirmaron que los localizadores apicales electrónicos mantienen una precisión adecuada para la determinación de la longitud de trabajo. Rodríguez-Niklitschek y Oporto<sup>15</sup> revisaron las implicancias clínicas de la anatomía radicular y del sistema de canales radiculares en la determinación de la longitud de trabajo y destacaron la relevancia de usar métodos confiables para evitar errores de instrumentación.

Nasiri y Wrbas<sup>44</sup> publicaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre la precisión de distintas generaciones de localizadores apicales y concluyeron que los modelos modernos mantienen una exactitud clínicamente aceptable. Ese mismo año, Godiny et al.<sup>45</sup> estudiaron la influencia de la permeabilidad apical, el preflaring coronal y el hidróxido de calcio sobre la precisión del Root ZX, y demostraron que ciertas condiciones intracanal pueden modificar la exactitud del dispositivo. La Rosa et al.<sup>46</sup> publicaron una revisión sistemática sobre localizadores apicales integrados para determinar la longitud de trabajo y señalaron que la evidencia in vitro sigue siendo amplia, aunque persisten diferencias metodológicas entre estudios.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de controlar las condiciones del conducto al momento de determinar la longitud de trabajo, ya que la presencia y la concentración de los irrigantes pueden alterar la exactitud de los LEA. Aunque se han realizado algunos estudios que respaldan la eficacia de estos dispositivos en la identificación de la constricción apical, la evidencia respecto de la precisión de los modelos recientes es limitada e insuficiente.

Hasta la fecha no se encontró un estudio que analice de forma comparativa la precisión diagnóstica de la longitud de trabajo de los dispositivos Ai-PEX y FindPex, comparada con el Root ZX II y la radiografía periapical. Sigue siendo necesario estudiar su precisión bajo condiciones controladas, ya que la determinación exacta de la longitud de trabajo resulta esencial para la preparación, desinfección y obturación del sistema de conductos radiculares. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la precisión en

la determinación de la longitud de trabajo de los LEA Ai-PEX y FindPex comparada con el Root ZX II y la radiografía periapical convencional.

### **Formulación de hipótesis**

El presente estudio se formularon dos pares de hipótesis, una de la comparación entre métodos (LEA vs radiografía) y otra de la comparación entre dispositivos electrónicos:

#### **Comparación LEA vs radiografía periapical**

H0<sub>1</sub>: No existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical.

H1<sub>1</sub>: Existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical.

#### **Comparación entre LEA entre sí**

H0<sub>2</sub>: No existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos.

H1<sub>2</sub>: Existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos.

### **Materiales y métodos**

Se realizó una investigación experimental *in vitro* con el propósito de comparar la precisión en la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia de los localizadores apicales electrónicos Ai-PEX, FindPex y Root ZX II, este último considerado el gold standard, frente a la radiografía periapical convencional. Se eligió un diseño de laboratorio *in vitro* porque permite evaluar el desempeño de estos dispositivos en condiciones controladas, sin la interferencia de variables clínicas que puedan modificar los resultados. Los localizadores se utilizaron siguiendo estrictamente las indicaciones del fabricante, sin realizar procedimientos adicionales que pudieran alterar su funcionamiento. Además, la longitud de trabajo se evaluó en piezas dentarias humanas extraídas, lo que permitió estandarizar la medición y reducir posibles sesgos relacionados con la variabilidad anatómica y las condiciones propias del medio oral.

#### **Equipos evaluados**

En la presente investigación se evaluó la precisión en la determinación de la longitud de trabajo mediante dos localizadores apicales electrónicos, comparados con un dispositivo de referencia considerado gold estándar y con la radiografía periapical convencional. Los equipos evaluados fueron:

- Ai-Pex, fabricado por Guilin Woodpecker Medical Instrument Co., LTD.
- FindPex, fabricado por Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.

- Root ZX II, de J. Morita Corporation, utilizado como gold estándar.

### **Preparación de los especímenes**

La muestra de estudio estuvo constituida por 35 unidades dentarias monorradiculares extraídas por razones profilácticas u ortodónticas. Estas se obtuvieron en la Facultad de Odontología de la Universidad de Los Andes, en clínicas odontológicas privadas y en unidades de atención odontológica públicas de la ciudad de Mérida, Venezuela, durante el período comprendido entre febrero y septiembre de 2024. Este tamaño es mayor que el tamaño mínimo de muestra de 28 dientes artificiales requerido para demostrar una diferencia estadística entre las EAR analizadas<sup>47</sup>.

Todas las unidades dentarias recolectadas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5,25%. Luego, se limpiaron para retirar restos de tejido blando, ligamento periodontal y cálculo mediante el uso de curetas. Posteriormente, se almacenaron en solución fisiológica a temperatura ambiente hasta su preparación. Antes de iniciar los procedimientos experimentales, se tomaron radiografías periapicales preoperatorias con un equipo de rayos X Gnatus® y un sensor Nano Pix 2.0 (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.) con el fin de identificar y descartar especímenes con anomalías radiculares.

### **Determinación electrónica de la longitud del conducto radicular**

El procedimiento experimental constó de los siguientes pasos. En primer lugar, se realizó el acceso a la cámara pulpar de todos los especímenes mediante una fresa redonda #2 de alta velocidad y una turbina PANA-AIR  $\Sigma$  (NSK®), con el fin de localizar el conducto radicular. Luego de la apertura de la cámara pulpar, se determinó la longitud de trabajo por inspección visual directa.

Posteriormente, se irrigó la cámara pulpar con hipoclorito de sodio al 5,25% (Secure®), con el propósito de eliminar el tejido orgánico y ofrecer mejores condiciones para la localización del conducto. Una vez realizado este procedimiento, el conducto se exploró con un instrumento DG16. Después, se tomó una segunda radiografía en cada espécimen para confirmar de forma radiográfica la posición exacta del instrumento dentro del conducto.

Una vez localizado el conducto radicular, se efectuó su permeabilización mediante limas K-file pre-serie y primera serie #6, #8, #10 y #15 (Dentsply®). Seguidamente, se preparó alginato marca Hygedent® y se vertió en un vaso plástico desechable número V-37, con capacidad de 3 oz. Esta mezcla permitió crear el circuito eléctrico necesario para el funcionamiento de los localizadores apicales electrónicos.

Previo a la conductometría, los especímenes se colocaron dentro del vaso con alginato hasta la línea amelocementaria, luego esta se realizó usando la lima #15. Luego, se colocó un gancho de labio metálico del LEA en contacto con el alginato para completar el circuito eléctrico. Este circuito se cerró cuando el electrodo entró en contacto con la lima

#15 y, a través de ella, la corriente alcanzó el límite UCD. La longitud de trabajo de todos los especímenes se realizó en el siguiente orden: primero, el Ai-Pex (Guilin Woodpecker Medical Instrument Co., LTD.); luego, el FindPex (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd) y; por último, el Root ZX II (J. Morita Corporation).

Para garantizar la coherencia, las pruebas individuales de los tres dispositivos electrónicos diferentes fueron realizadas, medidas y registradas por el mismo operador. Todas las mediciones se realizaron tres veces y se registraron los valores promedio. La longitud de trabajo promedio obtenida en todos los especímenes con los tres localizadores apicales electrónicos se registró en la ficha correspondiente y se expresó en milímetros. Luego, las mediciones realizadas con los tres localizadores de ápice se compararon entre sí y con la radiografía periapical para determinar su precisión.

### **Registro radiográfico**

Las radiografías periapicales para evaluar la integridad de los especímenes y determinar la longitud de trabajo real se tomaron con un equipo de rayos X Gnatus® y un sensor Nano Pix 2.0 (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.). Posteriormente, las imágenes radiográficas se visualizaron en una computadora portátil MSI® usando el software Nano Pix, el cual permite medir distancias y ángulos, aspectos necesarios para determinar si las mediciones obtenidas por los localizadores apicales electrónicos fueron precisas.

### **Análisis de los datos**

Se calcularon medias, desviaciones estándar, mínimos y máximos del error absoluto entre la medición de referencia radiográfica y la obtenida por los localizadores Ai-Pex, FindPex y Root ZX II. El análisis estadístico se realizó para describir el comportamiento de las mediciones y comparar la precisión entre los métodos evaluados.

Las mediciones de la longitud de la raíz se sometieron a un análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y mostraron una distribución normal. Por lo tanto, para contrastar las diferencias entre los tres dispositivos y la radiografía se utilizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) y, cuando correspondió, la prueba post hoc de Tukey HSD. Además, se valoró el sesgo y los límites de acuerdo entre las mediciones mediante el método de Bland-Altman. Todos los datos se procesaron en Microsoft Excel y se analizaron con IBM SPSS versión 25 considerando un nivel de significancia de 0,05 ( $p < 0,05$ ).

### **Resultados**

La Tabla 1 muestra que la medición radiográfica presenta error absoluto nulo, mientras que Root ZX II registró el menor error medio (0,47 mm) y menor dispersión; por lo tanto, ofreció mayor precisión y consistencia promedio.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas del error absoluto (mm)

| <b>Método</b>   | <b>Media <math>\pm</math> SD (mm)</b> |
|-----------------|---------------------------------------|
| Referencia (RX) | 0,00 $\pm$ 0,00                       |
| FindPeX         | 0,56 $\pm$ 0,42                       |
| Ai-Pex          | 0,49 $\pm$ 0,38                       |
| Root ZX II      | 0,47 $\pm$ 0,35                       |

La Tabla 2 muestra que los resultados del ANOVA mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de los LEA y la radiografía periapical ( $p < 0,05$ ), lo que llevó a rechazar  $H_{01}$ . Esto indica que los localizadores apicales electrónicos y la radiografía no generan valores idénticos de longitud de trabajo, aunque ambos métodos puedan ser clínicamente útiles.

En cambio, al comparar entre sí FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la precisión global ( $p > 0,05$ ). Esto implica que no se rechaza  $H_{02}$ . Además, sugiere que los tres LEA presentan un comportamiento similar bajo las condiciones controladas del presente estudio. Todos mostraron errores medios inferiores a 0,6 mm y más del 70% de las mediciones dentro de  $\pm 0,5$  mm, valores que coinciden con los rangos de exactitud considerados aceptables para la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia.

**Tabla 2.** Resultados de ANOVA y las pruebas post-hoc (Tukey HSD)

| <b>Comparación</b>                 | <b>Diferencia Media (mm)</b> | <b>p</b>  |
|------------------------------------|------------------------------|-----------|
| <b>ANOVA global (F)</b>            |                              |           |
| RX, FindPeX, Ai-Pex, Root ZX II    | 20,14                        | $< 0,001$ |
| <b>Prueba post-hoc (Tukey HSD)</b> |                              |           |
| RX vs. FindPeX                     | 0,56                         | $< 0,001$ |
| RX vs. Ai-Pex                      | 0,49                         | $< 0,001$ |
| RX vs. Root ZX II                  | 0,47                         | $< 0,001$ |
| FindPeX vs. Ai-Pex                 | 0,07                         | 0,68      |
| FindPeX vs. Root ZX II             | 0,09                         | 0,54      |
| Ai-Pex vs. Root ZX II              | 0,02                         | 0,93      |

La Tabla 3 confirma sesgos próximos a cero y límites de acuerdo dentro de  $\pm 1,1$  mm para los tres dispositivos. De acuerdo con esto, es posible afirmar que no hay evidencia de sesgo sistemático clínicamente relevante en ninguno de los localizadores.

**Tabla 3.** Sesgos medios y límites de acuerdo (Bland–Altman)

| Dispositivo | Sesgo Medio (mm) | Límite Inferior (mm) | Límite Superior (mm) |
|-------------|------------------|----------------------|----------------------|
| FindPeX     | 0,02             | – 1,08               | 1,12                 |
| Ai-Pex      | – 0,03           | – 1,05               | 0,99                 |
| Root ZX II  | – 0,01           | – 1,07               | 1,05                 |

La Tabla 4 muestra que la mayoría (superior al 70 %) de las mediciones de cada LEA se encuentra dentro de  $\pm 0,5$  mm y que solo el 9–11 % supera 1 mm de error. De acuerdo con lo anterior, la mayoría de las lecturas de FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II son clínicamente aceptables, lo cual refuerza su confiabilidad.

**Tabla 4.** Frecuencia de errores por rango (n = 35 mediciones)

| Rango de Error (mm) | FindPeX (%) | Ai-Pex (%) | Root ZX II (%) |
|---------------------|-------------|------------|----------------|
| $\leq 0,5$          | 71          | 74         | 73             |
| 0,51–1,0            | 18          | 17         | 18             |
| $> 1,0$             | 11          | 9          | 9              |

### Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la precisión de tres LEA de diferentes generaciones y procedencias (FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II). Los resultados indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de los LEA y la radiografía periapical de referencia. Sin embargo, la comparación de los tres dispositivos entre sí indica que no diferencias estadísticamente significativas, por lo que su desempeño puede considerarse clínicamente equiparable. Además, la media de los errores se mantuvo por debajo de 0.6 mm y más del 70% de las lecturas se ubicó dentro del margen de  $\pm 0.5$  mm, rango que la literatura reconoce como aceptable para la práctica endodóntica.

Los resultados del análisis estadístico permiten rechazar  $H_{01}$  y aceptar  $H_{12}$ , ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones obtenidas con los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical de referencia ( $p < 0,05$ ) ( $H_{01}$ ). Esto indica que, aunque ambos métodos resultan clínicamente útiles, no producen mediciones idénticas de la longitud de trabajo, lo cual es coherente con el hecho de que la radiografía periapical representa una imagen bidimensional de estructuras tridimensionales y depende de la técnica y la interpretación del operador.

Por otra parte, al comparar entre sí los tres LEA mediante la ANOVA y las pruebas post hoc, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la precisión global ( $p > 0,05$ ). En consecuencia, no se rechaza  $H_{02}$ . Esto significa que, bajo las condiciones

controladas del presente estudio, el FindPeX, el Ai-Pex y el Root ZX II tienen un comportamiento similar, con errores medios por debajo de 0,6 mm y más del 70% de las mediciones dentro de  $\pm 0,5$  mm, rangos considerados clínicamente aceptable en la literatura sobre la longitud de trabajo.

Estos hallazgos permiten afirmar que los LEA evaluados se comportan como métodos equivalentes entre sí en términos de precisión, pero muestran un patrón de medición distinto al de la radiografía periapical. Estos, sin embargo, son compatible y complementario. La radiografía mantiene su valor como método de corroboración y control; en cambio, los localizadores electrónicos ofrecen una determinación más consistente de la longitud de trabajo en condiciones experimentales estandarizadas.

Este comportamiento puede explicarse por la capacidad de los LEA modernos para identificar con alta precisión la constricción apical mediante cambios en la impedancia del conducto radicular<sup>1,19</sup>. En condiciones controladas, con conductos permeabilizados, humedad estandarizada y sin factores clínicos adicionales que alteren la lectura, estos dispositivos suelen mostrar un rendimiento muy similar<sup>27-29</sup>. La variación observada frente a la radiografía periapical era predecible, porque la radiografía ofrece una imagen bidimensional de una estructura tridimensional y depende de la angulación, la superposición anatómica y la interpretación del operador<sup>32,34</sup>. Por ello, aunque la radiografía sigue siendo útil como método complementario, su capacidad para definir con exactitud la longitud de trabajo es menor que la de los LEA en contextos experimentales bien<sup>38,44</sup>.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por numerosos estudios<sup>33-46</sup>. Betancourt et al.<sup>27</sup> no encontraron diferencias significativas al comparar la precisión de Propex II, Raypex 6, Propex Pixi y Root ZX II, y concluyeron que todos eran altamente precisos<sup>27</sup>. En cambio, Cury et al.<sup>28</sup> compararon Root ZX II con otros dispositivos y encontraron un desempeño superior de este localizador, aunque dentro de rangos clínicamente aceptables. Por su parte, Silva<sup>29</sup> observó que Ai-Pex mostró mayor precisión que Root ZX en determinadas condiciones experimentales, lo que respalda la idea de que los localizadores de nueva generación pueden igualar o incluso superar a modelos ampliamente consolidados.

También, es importante considerar que la precisión de estos dispositivos puede variar según las condiciones del conducto y el tipo de irrigante presente. Vaid et al.<sup>30</sup> y Cîmpean et al.<sup>31</sup> demostraron que la presencia y concentración de soluciones irrigantes pueden modificar la exactitud de los LEA, por lo que la estandarización del medio resulta clave para interpretar correctamente sus lecturas. En el presente estudio, al mantener condiciones homogéneas y controladas, se redujo la posibilidad de sesgos asociados con estas variables, lo que ayuda a explicar la similitud observada entre FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II.

En su condición de gold estándar, el dispositivo Root ZX II mostró la menor dispersión en sus mediciones ( $0.47 \pm 0.35$  mm), reforzando su estatus como estándar de oro en la medición de la LT. Este resultado coincide con estudios realizados previamente. Cîmpean et al.<sup>31</sup> reportaron para el Root ZX II una precisión del 90% dentro de  $\pm 0.5$  mm, destacando su precisión. Asimismo, Sánchez y Zambrano<sup>32</sup>, en su estudio realizado en la Facultad de Odontología de la ULA, validaron la precisión de este dispositivo con el criterio radiográfico de conductometría<sup>33</sup>, sentando las bases metodológicas que este trabajo continúa.

Uno de los aportes más significativos de esta investigación radica en que se incluyó la evaluación del Ai-Pex, un LEA de última generación. Nuestros datos indican que no solo es comparable al Root ZX II, sino que incluso obtuvo el mayor porcentaje de mediciones dentro del rango de  $\pm 0.5$  mm (74%). Este hallazgo confirma lo reportado por Silva<sup>29</sup>, quien determinó que el Ai-Pex era más preciso que el Root ZX Mini. La capacidad de estos LEA de nueva generación destaca por su capacidad de adaptar sus algoritmos a las condiciones variables del conducto radicular, lo cual se traduce en una ventaja en la medición de la LT, lo que lo posiciona como una excelente alternativa en la práctica clínica.

Este estudio aporta en la literatura datos que previamente no habían sido reportados, como es la precisión del FindPeX<sup>33-46</sup>. Aunque la evidencia que evalúa este LEA específico es escasa, nuestros resultados demuestran que su precisión (71% de mediciones dentro de  $\pm 0.5$  mm) no es estadísticamente inferior a los LEA evaluados en este estudio. Esto amplía las opciones disponibles que son clínicamente aceptables para los odontólogos.

El diseño metodológico de este estudio controló variables como el tipo de irrigante y el protocolo de preparación, permitiendo así, que la variable a medir no sea afectada por otro factor al momento de la medición de la LT. Investigaciones como las de Vaid et al.<sup>30</sup> y Cîmpean et al.<sup>31</sup> han demostrado que la presencia y concentración de irrigantes como el NaOCl pueden afectar la precisión de los LEA. Al estandarizar este factor, se disminuyen los sesgos que puedan afectar la variable de estudio.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten establecer el rol de los LEA en la práctica clínica. Los hallazgos sustentan que estos dispositivos poseen una precisión similar y, en la práctica, reducen significativamente la exposición del paciente a la radiación ionizante, tal como se ha señalado en consensos internacionales<sup>33-46</sup>. Por lo tanto, los LEA FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II pueden ser considerados como una herramienta confiable para la determinación de la longitud de trabajo.

### **Conclusión**

Dentro de las limitaciones del presente estudio in vitro, se concluye que:

- Los tres localizadores apicales electrónicos evaluados cumplieron con los criterios de precisión requeridos para la determinación de la longitud de trabajo. En todos los casos, los errores medios fueron inferiores a 0,6 mm y más del 70% de las mediciones se ubicó dentro del margen de  $\pm 0,5$  mm. Estos resultados permiten considerar a los dispositivos estudiados como herramientas seguras, confiables y clínicamente predecibles para el tratamiento endodóntico.
- No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II en cuanto a su precisión global, lo que sugiere que, bajo las condiciones experimentales del presente estudio, su comportamiento fue similar. No obstante, Root ZX II, en su condición de gold standard, mostró la mayor precisión y la menor dispersión de datos, con un sesgo mínimo. Por su parte, Ai-Pex alcanzó el mayor porcentaje de lecturas dentro de  $\pm 0,5$  mm. Los límites de acuerdo, cercanos a  $\pm 1,1$  mm, no mostraron sesgos sistemáticos relevantes en ninguno de los dispositivos.

### **Recomendaciones**

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda:

- Verificar la calibración del localizador antes de cada uso y seguir de forma estricta el protocolo de humedad indicado por el fabricante, con el fin de asegurar lecturas fiables.
- Elegir el dispositivo según la necesidad clínica específica: Ai-Pex, cuando se busque un mayor porcentaje de lecturas dentro de  $\pm 0,5$  mm; Root ZX II, cuando existan condiciones de humedad variables; y FindPeX, cuando se requiera una alternativa con buena relación costo-beneficio.
- Confirmar la longitud de trabajo con radiografía periapical en aquellos casos en los que la lectura se encuentre cercana al ápice, especialmente cuando la diferencia sea mayor o igual a  $\pm 0,75$  mm, para reducir el riesgo de subinstrumentación.

### **Declaración de conflictos de interés:**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con las marcas comerciales de los dispositivos evaluados en este estudio.

### **Fuentes de financiamiento:**

Autofinanciado por los investigadores.

### Referencias

1. Kobayashi, C., & Suda, H. (1994). New electronic canal measuring device based on the ratio method. *Journal of Endodontics*, 20(3), 111–114. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80053-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80053-1)
2. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998;31:384–93. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00184.x>.
3. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394–409. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00183.x>.
4. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod* [Internet]. 2002;28(2):116–9. <http://dx.doi.org/10.1097/00004770-200202000-00017>
5. Canalda Sahli C, Aguade EB, editors. *Endodoncia: Técnicas Clínicas Y Bases Científicas*. 4th ed. Elsevier; 2019. Disponible en: [https://www.academia.edu/40060605/Endodoncia\\_T%C3%89CNICAS\\_CL%C3%89NICAS\\_Y\\_BASES\\_CIENT%C3%89FICAS](https://www.academia.edu/40060605/Endodoncia_T%C3%89CNICAS_CL%C3%89NICAS_Y_BASES_CIENT%C3%89FICAS)
6. Reit C, Bergenholtz G, Horsted-Bindslev P, editors. *Textbook of Endodontology*. 2nd ed. Chichester, England: Wiley-Blackwell; 2013. Disponible en: <https://ia803201.us.archive.org/32/items/TextbookOfEndodontology2ndMedtizi/Textbook%20of%20endodontology%202nd%20Medtizi.pdf>
7. Torabinejad M, Fouad AF, Shabahang S. *Endodontics E-book: Endodontics E-book*. 6th ed. Elsevier; 2020. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/endodontics/torabinejad/978-0-323-62436-7>
8. Ingle JJ. *Ingle's Endodontics* 6. 6th ed. Pmph-; 2014. [https://www.academia.edu/39050825/L01\\_Ingle\\_6ta\\_endodontics\\_en\\_ingles](https://www.academia.edu/39050825/L01_Ingle_6ta_endodontics_en_ingles)
9. Berman LH, Hargreaves KM. Cohen. *Vías de la Pulpa*. 12th ed. Elsevier; 2022. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/cohens-pathways-of-the-pulp/berman/978-0-323-67303-7>
10. American Association of Endodontists: the root canal specialists. American Association of Endodontists; 2017. Disponible en: <https://www.aae.org/>
11. Khamuani S, Ross A, Robertson D. Factors affecting the quality of endodontic treatment in general dental practice in Scotland: a qualitative focus group study. *Br Dent J* 2022;233:129–33. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4475-4>

12. Del Fabbro M, Taschieri S. Endodontic therapy using magnification devices: a systematic review. *J Dent* 2010;38:269–75. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.01.008>.
13. Andrade-Rojas y Raquel E. Guillen-Guillen BM. Localizadores apicales: análisis comparativo de la precisión de la longitud de trabajo entre el localizador apical I-ROOT (META BIOMED) y el ROOT ZX II (MORITA). *Revista Científica Dominio de Las Ciencias* 2017. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i2.453>
14. Alonzo-Plaza-de-los-Reyes K, Ferraro-S. N. Determinación de la Longitud de Trabajo Mediante Localizador Electrónico de Foramen Apical y CBCT a Través del Software 3D Endo de Dentsply Sirona: Estudio Comparativo in vitro. *Int J Odontostomatol* 2020;14:124–30. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2020000100124>.
15. Rodríguez-Niklitschek C, Gonzalo H, & Oporto V. Determinación de la Longitud de Trabajo en Endodoncia. Implicancias Clínicas de la Anatomía Radicular y del Sistema de Canales Radiculares. *International J Odontostomat* 2014;8:177–83. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718381X2014000200005>
16. Sethi K, Shefally S, Raji J. Working length determination: A review. *Int J Health Sci (IJHS)* 2021;45–55. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v5ns1.5309>.
17. Custer LE. Exact methods of locating the apical foramen. *Journal National Dental Association* 1918;5:815-819. PMID: 33703181
18. Suzuki K. Experimental study of iontoforesis. *Japanese Journal Stomatology* 1942;16:411-29
19. Sunada I. New Method for Measuring the Length of the Root Canal. *Journal of Dental Research*. 1962;41(2):375-387. <https://doi.org/10.1177/00220345620410020801>
20. Ali R, Okechukwu NC, Brunton P, Nattress B. An overview of electronic apex locators: part 1. *Br Dent J* 2013;214:155–8. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.161>.
21. Khadse, Amruta & Shenoi, Pratima & Kokane, Vandana & Khode, Rajiv & Sonarkar, Snehal & Lecturer, Senior & Reader,. (2017). Electronic Apex Locators- An overview. 2. 35-40. [https://www.researchgate.net/publication/322287488\\_Electronic\\_Apex\\_Locators-An\\_overview](https://www.researchgate.net/publication/322287488_Electronic_Apex_Locators-An_overview)
22. Ali R, Okechukwu NC, Brunton P, Nattress B. An overview of electronic apex locators: part 2. *Br Dent J* 2013;214:227–31. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.215>.

23. Kim E, Lee S-J. Electronic apex locator. *Dent Clin North Am* 2004;48:35–54. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2003.10.005>.
24. Gordon MPJ, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J* 2004;37:425–37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00835.x>.
25. Singh H, Kapoor P. Generations of apex locators: which generation are we in? *Stomatol Dis Sci* 2019;2019 <https://doi.org/10.20517/2573-0002.2018.16>.
26. Razavian H, Mosleh H, Khazaei S, Vali A, Ziaei F. Electronic apex locator: A comprehensive literature review - Part I: Different generations, comparison with other techniques and different usages. *Dent Hypotheses* 2014;5:84. <https://doi.org/10.4103/2155-8213.136744>.
27. Betancourt P, Matus D, Muñoz J, Navarro P, Hernández S. Accuracy of four electronic apex locators during root canal length determination. *Int J Odontostomatol* [Internet]. 2019;13(3):287–91. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-381x2019000300287>
28. Cury MTS, Vasques AMV, Bueno CRE, Machado T, Trizzi JQ, Santana V da S, et al. Accuracy of Root ZXII, E-PEX and FIND apex locators in teeth with vital pulp: an in vivo study. *Braz Oral Res* [Internet]. 2021;35. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0080>
29. Silva AF. Análise da influência do diâmetro apical nas leituras obtidas por diferentes localizadores apicais - estudo in vitro. Universidade de Lisboa, 2023. Disponible en: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/61645/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o\\_MI\\_MD\\_Ana\\_Mol\\_2018-2023.PDF.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/61645/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_MI_MD_Ana_Mol_2018-2023.PDF.pdf)
30. Vaid DS, Shan NC, Kothari DM, Bilgi PS. Comparison of accuracy of Root ZX II and Root ZX Mini in presence of various irrigants: an in vitro study. *J Integr Health Sci* 2015;3:28. <https://doi.org/10.4103/2347-6486.238516>
31. Cîmpean SI, Chisnoiu RM, Colceriu Burtea AL, Rotaru R, Bud MG, Delean AG, et al. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using different sodium hypochlorite concentrations. *Medicina (Kaunas)* [Internet]. 2023;59(5). <https://doi.org/10.3390/medicina59050918>
32. Sánchez L y Zambrano N. Comparación del criterio radiográfico de conductometría y el localizador de ápice ROOT ZX II. [Trabajo de grado]: Universidad de Los Andes; Noviembre; 2014. Disponible en el servidor de la biblioteca de la facultad de odontología de La Universidad De Los Andes.

33. Lucena-Martin C, Robles-Gijon V, Ferrer-Luque CM, de Mondelo JN. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod.* 2004;30(4):231-3. <https://doi.org/10.1097/00004770-200404000-00012>
34. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod.* 2010;36(12):2003-7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.036>
35. Miguita KB, Cunha RS, Davini F, Fontana CE, Bueno CEDS. Comparative analysis of two electronic apex locators in working length determination at endodontic therapy: an in vitro study. *RSBO (Online).* 2011;8(1):27-32.
36. Karunakar P, Biragoni C. Aiming for the apex..! evaluation of the accuracy of two electronic apex locators-an in-vitro study. *Endodontology.* 2011;23(1):12-7. <https://doi.org/10.4103/0970-7212.352010>
37. Real DG, Davidowicz H, Moura-Netto C, Zenkner CD, Pagliarin CM, Barletta FB, et al. Accuracy of working length determination using 3 electronic apex locators and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(3):e44-9. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.10.033>
38. Tsesis I, Blazer T, Ben-Izhack G, Taschieri S, Del Fabbro M, Corbella S, et al. The precision of electronic apex locators in working length determination: a systematic review and meta-analysis of the literature. *J Endod.* 2015;41(11):1818-23. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.012>
39. Gehlot PM, Manjunath V, Manjunath MK. An in vitro evaluation of the accuracy of four electronic apex locators using stainless-steel and nickel-titanium hand files. *Restor Dent Endod.* 2016;41(1):6-11. <https://doi.org/10.5395/rde.2016.41.1.6>
40. Yolagiden M, Ersahan S, Suyun G, Bilgec E, Aydin C. Comparison of four electronic apex locators in detecting working length: an ex vivo study. *J Contemp Dent Pract.* 2019;19(12):1427-33. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2444>
41. Sahni A, Kapoor R, Gandhi K, Kumar D, Datta G, Malhotra R. A comparative evaluation of efficacy of electronic apex locator, digital radiography, and conventional radiographic method for root canal working length determination in primary teeth: an in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2020;13(5):523. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1821>
42. Mosharafian S, Mollaie N. In vitro comparison of accuracy of Raypex 5 and Root ZXII apex locators for working length determination in primary teeth. *J Evol Med Dent Sci.* 2020;9(20):1594-8. <https://doi.org/10.14260/jemds/2020/348>
43. Bernardo RC, Alves LS, Bruno AM, Coutinho TM, Gusman H. The accuracy of electronic apex locators for determining working length: an in vitro study with

- artificial teeth. Aust Endod J. 2021;47(2):217-21.  
<https://doi.org/10.1111/aej.12455>
44. Nasiri K, Wrbas KT. Accuracy of different generations of apex locators in determining working length: a systematic review and meta-analysis. Saudi Dent J. 2022;34(1):11-20. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.09.020>
45. Godiny M, Hatam R, Safari-Faramani R, Khavid A, Rezaei MR. Influence of apical patency, coronal preflaring and calcium hydroxide on the accuracy of Root ZX apex locator for working length determination: an in vitro study. J Adv Oral Res. 2022;13(1):38-42. <https://doi.org/10.1177/23202068211036139>
46. La Rosa GR, Angelova A, Jovanova E, Apostolska S, Santos JM, Pedullà E. Integrated electronic apex locators for determining working length: a systematic review of in-vitro studies. Odontology. 2025;113(3):918-29. <https://doi.org/10.1007/s10266-024-01039-4>
47. Bernardo RC, Alves LS, Bruno AM, Coutinho TM, Gusman H. The accuracy of electronic apex locators for determining working length: An in vitro study with artificial teeth. Aust Endod J. 2021;47(2):217-221.  
<https://doi.org/10.1111/aej.12455>