

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**



**TESIS DOCTORAL**

**Factores clínicos-radiográficos asociados a la  
reabsorción radicular externa post-ortodóncica en  
dientes vitales y endodonciados**

---

**Clinical-radiographic factors associated with postorthodontic  
external root resorption in vital and  
endodontic teeth**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR  
**Carolina Elizabeth Parrales Bravo**

DIRECTOR  
**Alejandro Iglesias Linares**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**  
**Programa de Doctorado en Ciencias Odontológicas**



**TESIS DOCTORAL**

**Factores clínicos-radiográficos asociados a la  
reabsorción radicular externa post-ortodóncica en  
dientes vitales y endodonciados**

---

**Clinical-radiographic factors associated with postorthodontic  
external root resorption in vital and  
endodontic teeth**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR  
**Carolina Elizabeth Parrales Bravo**

DIRECTOR  
**Alejandro Iglesias Linares**

*La ciencia siempre vale la pena  
porque sus descubrimientos, tarde  
o temprano, siempre se aplican.*

**Severo Ochoa**

*It's worth making science.  
Whatever is discovered, sooner or later,  
is always applied.*

**Severo Ochoa**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi madre y mi padre,  
a toda mi familia y amistades.

La dedico a quienes hicieron posible que pueda culminar  
este trabajo, Dios primeramente y mi tutor,  
por todo el tiempo dedicado para mi aprendizaje.

## AGRADECIMIENTOS

Primeramente quiero reconocer infinitamente el valioso aporte durante toda la realización del presente trabajo de investigación al Dr. Alejandro Iglesias Linares, quien siempre se mostró comprensivo, crítico con cada entrega y avance realizado a lo largo del mismo. Gracias infinitas por el acompañamiento y respaldo brindado durante todos estos años. Además, quiero agradecer al Dr. Alberto Cacho y a toda la familia de la clínica Ortodoncia Madrid, quienes me abrieron las puertas para realizar la fase *in vivo* de esta investigación.

También quiero agradecer a mis asesores externos durante mi estancia de investigación en Brasil al Dr. João Batista Paiva, Dra. Cristina Domínguez, Dr. Claudio Costa, Dra. Simone Friedrichsdorf, Dr. Víctor Arana, Dr. David Normando, quienes me ayudaron a mejorar mis habilidades en investigación. Además quiero agradecer a los amigos que hice durante mi estancia: Renata de Faria, Raquel Medeiros, Bruno Pasqua, Thalita Galassi, Taiana Baldo, Rafael Golghetto Domingos, Paola Trigo y Thalita Fortunato, quienes me brindaron su compañerismo y de manera cotidiana aprendí de ellos el idioma portugués.

Me gustaría agradecer a todos los amigos que me acompañaron durante estos cinco pedazos de años viviendo en el Madrid de mi corazón, a Nataly Marquez, Laura Baca, Mariela Quinteros, Thressy Sánchez, Martín Enríquez, Awat Aziz, Majo Naranjo, Verónica Marinheiro, Natalia Del Rio, Regina Del Rio, Paula Díaz y Alexandra Dehesa. También quiero agradecer a todos los que me han adoptado como un miembro más de su familia, en especial a Ruth Romero, Marjorie Romero, Javier Gandía, Luis García, Noemí Domínguez, Kiko Sánchez, Isabel Casado, Montse García y a toda la familia Pop. También a mis amigas, Gaby Antón, Laura Sánchez, Andrea Tellez y Sara Muñoz, sin duda alguna todos están y estarán por siempre en mi corazón.

Finalmente, y no menos importante, agradezco infinitamente a Dios al darme la oportunidad de culminar esta investigación en esta prestigiosa Universidad Complutense y por la sabiduría que solo proviene de Él. Doy muchas gracias a mi padre, el Economista Franklin Parrales Marcillo y a mi madre la Analista de Sistemas computacionales Janeth Bravo Vélez, quienes han velado por mi, con profundo amor, todos los días de mi vida. También agradezco a mis hermanos: Ericka y Franklin, quienes me han brindado su apoyo y son mi compañía para cumplir mis metas.

Mi agradecimiento sincero a todos ellos y si me dejo a alguno, le ruego me perdone. Mil gracias, os quiero!

\* \* \*

#### Soporte financiero

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Universidad de Guayaquil-Ecuador 2017/2021 bajo la subvención (UG-CGB-126-17-7-2017) y por beca Iberoamérica: Santander Research 2019/2020 junto con la Universidad Complutense de Madrid- España, en el marco de la beca BOUC 14-3-2019 (ED01/19). Infinitas gracias a Dios por estas ayudas económicas, las cuales contribuyeron para la presente investigación.

# Índice

# ÍNDICE

<b>1. RESUMEN</b> .....	<b>13</b>
<b>2. ABSTRACT</b> .....	<b>17</b>
<b>3. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>22</b>
3.1. REABSORCIÓN RADICULAR: TIPOS Y CLASIFICACIÓN .....	22
3.2. REABSORCIÓN RADICULAR APICAL EXTERNA (EARR) .....	25
3.3. PREVALENCIA DE EARR.....	26
3.4. PREDISPOSICIÓN DE EARR.....	27
3.5. FACTORES CLÍNICOS.....	28
3.6. FACTORES RADIOGRÁFICOS .....	29
3.7. EVALUACIÓN Y SEVERIDAD DE EARR.....	30
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>33</b>
<b>5. HIPÓTESIS DE TRABAJO</b> .....	<b>36</b>
5.1 FASE <i>IN VITRO</i> : Validación del método diagnóstico.....	36
5.2 FASE <i>IN VIVO</i> : Predisposición clínica y radiográfica. ....	36
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	<b>38</b>
<b>7. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>40</b>
<b>7.1 FASE <i>IN VITRO</i>: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DIAGNÓSTICO</b> .....	<b>40</b>
7.1.1. Diseño de estudio y muestras.....	40
7.1.2. Generación de réplicas sintéticas estandarizadas.....	41
7.1.3. Intervenciones y asignación: simulación de reabsorción radicular externa .....	43
7.1.4. Posicionador digital para la captura de imágenes DPR (Apartado afectado por los derechos de confidencialidad y protección de datos industriales) .....	43

7.1.5. Exposición radiográfica y generación de imágenes de diagnóstico: imágenes DPR y CBCT.....	44
7.1.6. Evaluación y mediciones radiográficas .....	45
7.1.7. Distribución de especímenes y grupos .....	48
7.1.8. Análisis Estadístico .....	49
<b>7.2 FASE <i>IN VIVO</i>: PREDISPOSICIÓN CLÍNICA Y RADIOGRÁFICA.....</b>	<b>51</b>
7.2.1. Consideraciones ética y protección de datos. ....	51
7.2.2. Muestreo y población de estudio.....	52
7.2.3. Variables clínicas y diagnósticas. ....	54
7.2.4. Generación de imágenes de diagnóstico: Ortopantomografía digital. ....	55
7.2.5. Puntos de referencia radiológicos. ....	58
7.2.6. Análisis Estadístico .....	59
<b>8. RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
<b>8.1 FASE <i>IN VITRO</i>: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DIAGNÓSTICO. ....</b>	<b>62</b>
8.1.1. Precisión del método. ....	62
8.1.2. Diferencia de medias de la longitud dental Real, CBCT y DPR. ....	63
8.1.3. Evaluación de la reabsorción radicular externa mediante CBCT y radiografía periapical. ....	63
8.1.4. Calidad de las pruebas de diagnóstico.....	65
<b>8.2 FASE <i>IN VIVO</i>: PREDISPOSICIÓN CLÍNICA Y RADIOGRÁFICA.....</b>	<b>67</b>
8.2.1. Fiabilidad, precisión y error de método.....	67
8.2.2. Descripción de las variables estudiadas. ....	67
8.2.3. Generación del modelo de regresión con las principales covariables.....	72
8.2.4. Interpretación clínica de la predisposición a sufrir EARR.....	74
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>10. CONCLUSIONES .....</b>	<b>88</b>

<b>11. CONCLUSIONS</b> .....	<b>89</b>
<b>12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>91</b>
<b>13. ANEXOS</b> .....	<b>103</b>
a. Anexo I. Abreviaturas.....	103
b. Anexo III. Aprobación de Comité Ético.....	105
c. Anexo IV. Hoja de consentimiento informado .....	106
d. Anexo V. Hoja de asentimiento informado .....	110
e. Anexo VI. Artículo científico .....	112

# Resumen



## “Factores clínicos-radiográficos asociados a la reabsorción radicular externa post-ortodóncica en dientes vitales y endodonciados.”



Departamento de Especialidades Clínicas Odontológicas (Ortodoncia). Facultad de Odontología. Universidad Complutense de Madrid.

### 1. RESUMEN

#### **Introducción:**

La complejidad de la etiología de la reabsorción radicular externa (ERR) debido a los múltiples factores que se derivan de los tratamientos ortodóncicos, hace que esta patología siga siendo de interés en la investigación. Con esta investigación, se determinará si las percepciones diferenciales de un diagnóstico de ERR, son una fuente potencial de error en la determinación de este tipo de lesiones en dientes vitales comparándolas con dientes endodonciados.

#### **Objetivo:**

El objetivo principal es analizar los factores clínicos y radiográficos asociados a la reabsorción radicular externa (ERR) en dientes vitales y endodonciados después del tratamiento ortodóncico. Este estudio comprende dos fases principales:

Fase 1. Validación *in vitro* del método de diagnóstico: Determinar la sensibilidad y especificidad de varios métodos radiográficos diagnósticos de la ERR. Además de cuantificar el impacto de la presencia del material intra-conducto sobre la magnitud radiográfica de ERR en dientes vitales y tratados endodónticamente.

Fase 2. Determinación *in vivo* de la predisposición a la EARR: Determinar la asociación de los factores clínicos-radiográficos y la presencia de EARR secundaria a la aplicación de fuerzas

ortodónticas. Finalmente, comparar la EARR en dientes endodonciados con sus homólogos vitales.

### **Materiales y métodos:**

Para la primera fase, el tamaño de la muestra se estableció en doce dientes considerando un riesgo alfa de 0.05 y un riesgo beta de 0.1 en una prueba bilateral. Este experimento destaca la preparación y generación de dientes sintéticos estandarizados medidos en registros tridimensionales convertidos al formato de archivo de *Imágenes digitales y comunicación en medicina* (DICOM). Estos dientes se prepararon a partir de una resina sintética radiopaca y se compararon con el tejido dental humano. Se aleatorizaron doce incisivos maxilares repartidos en dos grupos: (G1) seis dientes sin tratamiento endodóntico y (G2) seis dientes tratados con endodoncia. En ambos grupos, se midieron las longitudes reales de los dientes de todas las muestras y se compararon con las medidas obtenidas mediante DPR y CBCT. Luego, la ERR fue realizada por el mismo operador en tres lugares: mesial, distal y palatino. Además, el tamaño del ERR fue de 0,12, 0,18, 0,20 mm y la profundidad fue de 0,5mm. Las imágenes DPR y CBCT se han tomado después de la generación gradual del orden de lesiones creadas. Los datos fueron analizados aplicando el test *Shapiro-Wilk*, ANOVA, *Kruskal-Wallis* y el test de *Wilcoxon* con la corrección de *Bonferroni*. Además, se evaluaron ciento veinte imágenes y se dividieron en dos grupos: dientes endodónticos (n = 60) y dientes no endodónticos (n = 60). Se calculó la sensibilidad, especificidad, área bajo la curva (AUC) y *razón de verosimilitud* (LR+, LR-).

Para la segunda fase, el tamaño muestral del estudio *in vivo* consistió en 156 dientes endodonciados y 141 dientes sin tratamiento de conducto. El riesgo de reabsorción radicular apical externa asociado a factores clínicos y radiográficos, se calculó con el modelo de regresión logística multinomial, utilizando los *odds ratio* (OR) con un *intervalo de confianza* (IC) del 95%, en una muestra de 108 pacientes que culminaron su tratamiento en una clínica privada de Ortodoncia.

## Resultados:

En la primera fase, la concordancia intra e inter-examinador tuvieron excelentes valores de ICC [ $p < 0,001$ ]. La técnica DPR sobreestimó la detección de ERR en comparación con las mediciones reales y CBCT [diferencia de medias = 0,765 y 0,768, respectivamente]. El diagnóstico CBCT de lesiones ERR en especímenes sin tratamiento de conducto radicular fue significativamente más preciso que los diagnósticos DPR en especímenes tratados con endodoncia y sin endodoncia [ $p = 0,044$ ;  $p = 0,037$ , respectivamente]. Hubo una reducción del 18,5 % en la sensibilidad en todos los diagnósticos DPR realizados en dientes endodónticos frente a los realizados en dientes sin tratamiento endodóntico. Para las lesiones de ERR más pequeñas [0.12mm y 0.18mm], esta sensibilidad fue aún más marcada, con un 27,8 % y un 25 % menos sensible, respectivamente. Además, en cuanto a la calidad de las pruebas diagnósticas, el CBCT obtuvo un  $LR-$  0.00 mientras que el DPR de los dientes endodónticos obtuvo un  $LR-$  0.19. Indicándonos que CBCT y DPR son unos excelentes métodos diagnósticos  $LR+$  999.

En la segunda fase, los resultados fueron estadísticamente significativos [ $p < 0,001$ ] para todas las puntuaciones de ICC. Se hicieron comparaciones pareadas con la variable de referencia *Reabsorción Caso: >4mm* en el modelo de regresión multinomial, dándonos como resultado: que las probabilidades de no tener EARR en dientes endodonciados comparación con tener *EARR <1mm* es de 5,24 veces. Finalmente, los dientes endodonciados del sector incisivo maxilar predicen significativamente dos probabilidades: no tener EARR en comparación con tener *EARR <1mm* es de 22,7 veces y no presentar EARR en comparación con tener EARR de 1mm a 3,9mm es de 21,3 veces.

## Conclusiones:

1. La presencia de material de obturación radicular modifica la capacidad de diagnóstico de ERR, haciendo que el uso de DPR sea menos preciso para la detección y el diagnóstico que en los dientes no endodónticos.

2. Tanto la técnica CBCT como el DPR son buenos métodos de diagnóstico para ERR. En cuanto a la calidad de las pruebas diagnósticas, el CBCT obtuvo un *LR*-0.00 mientras que el DPR de los dientes endodónticos obtuvo un *LR*-0.19.
3. La presencia de endodoncia en los tres grupos evaluados, (incisivos, premolares y molares superiores) predicen significativamente la probabilidad de presentar EARR, menor a 1mm, en dientes endodonciados frente a dientes vitales.
4. El movimiento ortodóntico de incisivos superiores endodonciados en comparación con sus homólogos vitales presenta un riesgo aumentado de 21,3 veces de sufrir EARR de 1mm a 3,9mm.

**Palabras Clave:**

Dientes endodonciados, dientes no endodonciados, radiografía periapical digital, reabsorción radicular, tomografía computarizada de haz cónico.



## “Clinical-radiographic factors associated with post-orthodontic external root resorption in vital and endodontic teeth”



Department of Dental Clinic Specialties (Orthodontics). School of Dentistry.  
Complutense University of Madrid

### 2. ABSTRACT

#### **Background:**

The complexity of the etiology of external root resorption (ERR) due to the multiple factors that derive from orthodontic treatments, means that this pathology continues to be of research interest. Through this research, it will be determined if the differential perceptions of an ERR diagnosis is a potential source of error in the determination of this type of lesions in vital teeth, comparing them with endodontic teeth.

#### **Aim:**

The main objective is to analyze the clinical-radiographic factors associated with the external root resorption (ERR) in vital and endodontic teeth after orthodontic treatment. This study is comprised of two main phases:

Phase 1. *In vitro* diagnostic method testing: To determine the sensitivity and specificity of various diagnostic radiographic methods for ERR, and quantify the impact of the presence of intracanal material on the radiographic magnitude of ERR in vital and endodontically treated teeth.

Phase 2. *In vivo* clinical and radiographic predisposition: To determine the association of clinical-radiographic factors and the presence of EARR secondary to the application of

orthodontic forces. Finally, to assess the EARR in teeth with root canal treatment compared to their vital control teeth.

### **Design:**

For the first phase, the sample size was established in twelve teeth considering an alpha risk of 0.05 and a beta risk of 0.1 in a two-sided test. This experiment highlights the preparation and generation of standardized synthetic teeth measured on three-dimensional records converted into *Digital Imaging and Communication on Medicine* (DICOM) file format. These teeth were prepared from a synthetic resin radiopaque, and they were matched with the human dental tissue. Twelve replicate maxillary incisors were randomized into two groups: (G1) six non-endodontically treated teeth, and (G2) six endodontically treated teeth. In both groups, actual tooth lengths of all specimens were measured and compared with measurements obtained using DPR and CBCT. Then, the ERR was performed by the same operator in three places: mesial, distal and palatine. Moreover, the size of the ERR were 0.12, 0.18, 0.20 mm, and the depth was 0.5mm. The DPR and CBCT images have been taken after the gradual generation of the order of lesions created. Data was analyzed using the *Shapiro-Wilk*, ANOVA, *Kruskal-Wallis* and *Wilcoxon* rank post-hoc tests [*Bonferroni* correction in multiple comparison tests ( $p < 0.05$ )]. Moreover, one hundred twenty images were evaluated and divided into two groups: Endodontic teeth ( $n=60$ ) and Non-endodontic teeth ( $n=60$ ). Sensitivity, Specificity, AUC and *likelihood ratio* were calculated.

For the second phase, the sample size consisted of 156 endodontic teeth and 141 teeth without root canal treatment. The risk of external apical root resorption associated with clinical and radiographic factors was calculated with the multinomial logistic regression model, using the *odds ratio* (OR) with a *confidence interval* (CI) of 95%, in a sample of 108 patients who completed their treatment at a private orthodontic clinic.

## Results:

In the first phase, the ICC values for intra and inter-examiner agreement were appropriate [ $p < 0,001$ ]. DPR overestimated ERR detection compared to the actual and CBCT measurements [Mean diff=0.765 and 0.768, respectively]. CBCT diagnosis of ERR lesions in specimens without root canal treatment was significantly more accurate than DPR diagnoses on both non-endodontically and endodontically-treated specimens [ $p=0.044$ ;  $p=0.037$ , respectively]. There was an 18.5% reduction in sensitivity in all DPR diagnoses made on endodontic teeth versus those made on non-endodontically treated teeth. For the smallest ERR lesions [0.12mm y 0.18mm], this sensitivity was even more marked, with 27.8 and 25 % less sensitivity, respectively. In addition, regarding the quality of the diagnostic tests, the CBCT obtained an  $LR-0.00$  while the DPR of the endodontic teeth obtained an  $LR-0.19$ . The CBCT and the DPR technique are good diagnostic methods for ERR  $LR+ 999$ .

In the second phase, the results were statistically significant [ $p < 0.001$ ] for all ICC scores. Paired comparisons were made with the reference variable *resorption case: >4mm* in the multinomial regression model, giving us as a result that the probabilities of not having EARR in endodontic teeth compared to having *EARR <1mm* is 5,24 times. Finally, the endodontic teeth of the maxillary incisor sector significantly predict two probabilities: not having EARR compared to having *EARR <1mm* is 22,7 times and not having EARR compared to having EARR from 1mm to 3,9mm is 21,3 times.

## Conclusions:

1. Root canal filling material influences diagnostic capability in ERR. The presence of intracanal material reduces the detection and diagnosis of ERR by DPR in teeth with root canal treatment.
2. The CBCT and the DPR technique are good diagnostic methods for ERR. Regarding the quality of the diagnostic tests, the CBCT obtained an  $LR-0.00$  while the DPR of the endodontic teeth obtained an  $LR-0.19$ .

3. The presence of endodontics in the three groups evaluated (upper incisors, premolars and molars) significantly predict the probability of presenting EARR, less than 1mm, in endodontic teeth versus vital teeth.
4. Orthodontic movement of endodontically treated maxillary incisors compared to their vital counterparts presents a 21,3-fold increased risk of EARR from 1mm to 3,9mm.

**Key words:**

Cone-beam computed tomography; digital radiography; endodontic teeth; non-endodontic teeth; root resorption.

# Introducción

### 3. INTRODUCCIÓN

#### 3.1. REABSORCIÓN RADICULAR: TIPOS Y CLASIFICACIÓN

Inicialmente se había considerado que la reabsorción radicular superficial no se determinaba radiográficamente sino solo histológicamente (Lin et al. 2022). Luego se difundió una de las primeras clasificaciones que fue diseñada por Andreasen y Hjørting- Hansen (Lin et al. 2022), la cual es determinada según el tipo de reabsorción radicular: interna y externa. Las subclasificaciones adicionales se detallan a continuación:

La reabsorción radicular interna, es caracterizada por una pérdida gradual de sustancia, a partir de la pared interna de la raíz. Esta sub-clasificada en dos: la *reabsorción de intercambio interno*, que radiográficamente se define por un aumento de la cámara pulpar cuando el tejido medular, histológicamente normal, se transforma en hueso esponjoso. Y la *reabsorción inflamatoria interna*, que radiográficamente se identifica con una lesión intra-canal de forma oval, que puede observarse en cualquier parte del canal y progresa gradualmente hacia la periferia del diente (Lin et al. 2022).

En relación con la reabsorción radicular externa, es aquella que puede penetrar desde el exterior del diente hacia la dentina y dañar la pulpa. Puede verse en el cuello cervical, en el tercio medio o en el ápice radicular. Esta dividida en tres: *reabsorción superficial*, cuando es un estado de transición en el que se produce un daño mínimo, restaurado naturalmente por el hueso y el tejido óseo, cuyas células se integran en dicho tejido mineral. La *reabsorción inflamatoria*, es el resultado de una combinación de invasión del ligamento periodontal y la superficie de la raíz. Esto se presenta como consecuencia de la colonización de bacterias que se encuentran en el conducto radicular, estimulando así su actividad osteoclástica. Y finalmente, la *reabsorción de sustitución*, que es el resultado del endurecimiento entre el hueso anquilosado y el diente. Debido a la falta del ligamento periodontal, el hueso que esta en constante regeneración, va eliminando gradualmente el tejido dental y termina reemplazándolo progresivamente (Lin et al. 2022).

Posteriormente, (Feiglin 1986), se enfocó en las reabsorciones externas descritas por Andreasen y las clasificó en: reabsorción fisiológica, reabsorción por presencia de quiste dental y por primera vez mencionó que la reabsorción dental podía ser producida por fuerzas ortodónticas.

El investigador (Tronstad 1988), en su clasificación de las reabsorciones externas, describió sobre la *reabsorción inflamatoria progresiva*, que puede producirse en los ápices radiculares de dientes que no han recibido trauma y que presentan una pulpa necrótica infectada. Las radiografías de su estudio mostraron radiolucidez periapical asociada a ortodoncia con extremos radiculares acortados y con la presencia de los ápices rugosos e irregulares.

Luego (Trope 1998), mencionó sobre la reabsorción radicular basada en posibles etiologías relacionadas con el traumatismo dental provocado como efecto secundario por estímulo inflamatorio de las siguientes disciplinas: Periodoncia, Odontopediatría, Endodoncia y Ortodoncia.

En el estudio de (Ne et al. 1999), mostraron que las piezas dentarias con conductos tratados endodónticamente, pueden haber presentado traumatismo por la aplicación de calor. Esto da lugar a un proceso crónico inflamatorio adyacente a un segmento en la capa odontoblástica y a la predentina. A esto le denominó, *reabsorción de reemplazo interno*. También describió sobre otras variaciones de la reabsorción radicular externa cervical invasiva con ruptura apical transitoria.

Dentro de la clasificación de las reabsorciones propuesta por (Trope 2002), mencionó que el estímulo de cortos períodos de tiempo, hace que la reabsorción externa sea transitoria, a diferencia de los estímulos de larga duración que presiona e infecta el espacio pulpar produciendo una periodontitis apical y lateral.

Luego (Fuss et al. 2003), describió que la reabsorción puede ser causada por un trauma dental junto con la irritación química del peróxido de hidrógeno al 30%, en los procedimientos periodontales, además de los tratamientos de ortodoncia.

El investigador (Heithersay 2007), en su clasificación sobre las reabsorciones radiculares externas después del tratamiento de ortodoncia, hizo hincapié mencionando que con la eliminación del trauma, al no ser una reabsorción del tipo infeccioso, se pueden volver inactivas e incluso que el ápice puede regenerarse sin complicación.

Con el estudio de (Patel and Ford 2007), afianzaron los conceptos de la clasificación de Andreasen de 1966, quedando desglosada la reabsorción radicular externa en 5 subcategorías: reabsorción superficial, reabsorción externa inflamatoria, reabsorción de reemplazo externo, reabsorción externa cervical y finalmente ruptura apical externa. Y dentro de la reabsorción interna, una única subcategoría que es la reabsorción inflamatoria interna.

Posteriormente (Darcey and Qualtrough 2013), hicieron una diferenciación dentro de las reabsorciones radiculares externas. Las subdividieron en 3: superficial, inflamatoria estéril e inflamatoria infecciosa. La superficial suele ser de tipo subclínico. Podría verse radiográficamente como una pequeña cavitación en la capa del cemento, con una alteración de la periferia dental. La del tipo inflamatorio estéril cuyo hallazgo radiográfico suele ser incidental y la inflamación conduce a la movilidad dental. Finalmente, la reabsorción externa de tipo infeccioso cuya inflamación y presentación variará dependiendo de la etiología de la misma.

Luego (Patel and Saberi 2018), describieron que dentro de la clasificación de la reabsorción radicular externa, si la reabsorción se presenta en la superficie externa y no es infecciosa, esta dejará de progresar una vez que se haya eliminado el estímulo de presión tales como: movimientos ortodónticos por los dientes impactados, tumores o quistes. Todo esto dará como resultado favorable para que se produzca la reparación del ápice radicular.

Anteriormente, hemos visto que las reabsorciones radiculares se clasifican de diversas maneras, pero una de las más ilustrativas y sencillas clasificaciones de la reabsorción radicular apical externa (EARR) es la que se muestra en la Figura 1: cuyos estadios se describe a continuación (Marques et al. 2010):

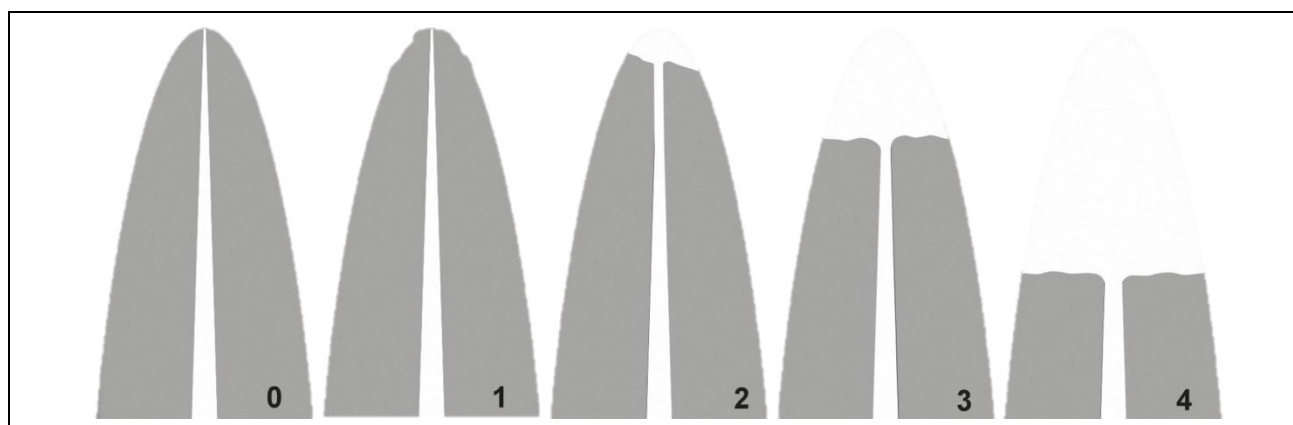
Estadio 0: Ausencia de cambios en el ápice.

Estadio 1: Sin pérdida de longitud y contorno irregular de la raíz.

Estadio 2: Reabsorción radicular de no más de 2mm.

Estadio 3: Reabsorción radicular de 2 mm a un tercio de la longitud de la raíz.

Estadio 4: Reabsorción radicular de más un tercio de la longitud de la raíz.



**Figura 1.** Clasificación según el grado de reabsorción diseñada por Levander y Malmgren .

### 3.2. REABSORCIÓN RADICULAR APICAL EXTERNA (EARR)

Se define como la pérdida permanente de tejido dental que afecta a la dentina y el cemento. En las formas más graves, son las que pueden comprometer el tejido de la pulpa dental (Goller Bulut and Uğur Aydın 2019). En el caso de que las fuerzas ortodónticas sean superadas a la presión capilar periodontal, se desencadenaría una necrosis isquémica en los tejidos circundantes, debido a la pérdida localizada de aporte sanguíneo (Feller et al. 2016). En consecuencia, se activarían los cementoclastos, iniciándose la eliminación del tejido necrótico hialinizado (Alfuriji et al. 2014). Investigadores (Jung and Cho 2011; Motokawa et al. 2012; Yassir et al. 2021), han asociado a la ortodoncia con la formación de áreas hialinizadas, entonces la *reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia* (OIIRR, por sus siglas en inglés), se produce anticipadamente en la mayoría de los pacientes sometidos a este tratamiento.

Desde hace décadas se realizan arduas investigaciones con el fin de conocer el mecanismo etiopatogénico de EARR y sus factores de riesgo (Bayir and Bolat Gumus 2021), pero también enfocados a la posibilidad de disminuir la incidencia de EARR asociadas a fuerzas ortodónticas (Sondeijker et al. 2020b). Sin embargo, las variaciones individuales desde el punto de vista biológico, genético, sistémico, hacen que sea difícil de predecirlo en estadios tempranos (Yassir et al. 2021).

### 3.3. PREVALENCIA DE EARR

La *reabsorción radicular apical externa* normalmente ocurre del 96,21% al 100% (Weltman et al. 2010) de los pacientes que se someten a tratamiento ortodóntico. Muchas veces se observa tan solo el contorno irregular apical sin pérdida de la longitud. Otros estudios muestran que en adolescentes tratados, la incidencia de *reabsorción radicular inflamatoria inducida por ortodoncia* (OIIRR), ocurre en el 93% de los casos aproximadamente (Kurool et al. 1996; Levander and Malmgren 1988). Cuando se excluyen las personas sometidas a tratamiento ortodóntico la frecuencia de reabsorción dentaria varía de 7 a 10% (Harris and Butler 1992), siendo el movimiento dentario la causa principal y más frecuente de reabsorción radicular apical, en la población occidental (Sondeijker et al. 2020b).

Investigadores (Mavridou et al. 2017), realizaron un estudio en 284 pacientes adultos e informaron que la mayoría de los casos presentaron una reabsorción externa cervical en los dientes superiores (72%). Además, observaron que la ortodoncia fue el factor más frecuente con un (45,7 %), seguido del traumatismo (28,5 %), hábitos parafuncionales (23,2 %), salud bucal deteriorada (22,9 %), maloclusión (17,5 %) y extracción de un diente vecino al que ha presentado reabsorción (14 %).

A pesar de la severidad de la *reabsorción radicular apical externa*, es clínicamente insignificante en la mayoría de los casos (<0.9mm). La literatura nos muestra que del 1% al 5% de los dientes tratados ortodónticamente, que presentan reabsorción apical severa, exceden de los 4mm o un tercio de la longitud radicular original (Sameshima and Iglesias-Linares

2021). Esta reabsorción severa puede generar implicaciones clínicas importantes para el periodonto de soporte (Amuk et al. 2021), una vez que existe una disminución de 3mm de la longitud radicular. Esto equivale a una pérdida de 1mm de la cresta ósea alveolar (Bayir and Bolat Gumus 2021).

Varios autores mencionan que la etiología multifactorial de las reabsorciones radiculares es compleja (Bayir and Bolat Gumus 2021; Sondejker et al. 2020b; Yassir et al. 2021). Se considera que las reabsorciones radiculares son el resultado de: la disposición genética, el efecto de los factores mecánicos y la combinación de la variabilidad biológica individual. Sin embargo, no existe una conclusión definitiva, acerca de la influencia de las reabsorciones radiculares en relación con otros factores de riesgo tales como: el sexo, la edad, las extracciones dentales, las endodoncias y la duración del tratamiento activo de ortodoncia (Yassir et al. 2021).

#### 3.4. PREDISPOSICIÓN DE EARR

La morfología dentaria, las variaciones biomecánicas de los tratamientos ortodónticos y las condiciones biológicas individuales predisponen al tercio apical a la EARR en comparación con otras superficies radiculares (Sameshima and Iglesias-Linares 2021).

Además, otros investigadores sugieren que los dientes anteriores superiores son los más susceptibles a la reabsorción radicular en el tercio apical (EARR) secundaria a los estímulos mecánicos generados por las fuerzas de ortodoncia (Artun et al. 2009; Haque and Zakir 2019; Iglesias-Linares and Hartsfield 2017; Iglesias-Linares et al. 2012b; Iglesias-Linares et al. 2012c; Mirabella and Artun 1995; Sondejker et al. 2020a). No obstante, se han asociado una serie de otros factores predisponentes a desencadenar este fenómeno patológico (Iglesias-Linares and Hartsfield 2017).

De manera significativa, existe la influencia de factores biológicos o genéticos específicos, junto con factores que dependen del tratamiento (Ciurla et al. 2021) y que se han asociado a efectos iatrogénicos en el contexto de la ortodoncia (Nowrin et al. 2018). Con respecto a estos

últimos factores, en el estudio de (Castro et al. 2015), realizado en una muestra de 20 dientes endodonciados con su contralateral vital, encontraron que los dientes vitales pueden tener susceptibilidad a presentar EARR post-ortodóntica. Por el contrario, otra evidencia muestra que los dientes endodónticos son los más propensos a ser afectados por la EARR (Spurrier et al. 1990; Wickwire et al. 1974). Además, los investigadores (Castro et al. 2015) concluyeron que se requiere realizar cambios en la planificación de la ortodoncia en dientes endodonciados, cuando se detecta la EARR atribuida a otros factores etiológicos.

Otros estudios, han señalado que los dientes que carecen de tejido pulpar, tienen un efecto protector contra la EARR cuando se someten a movimientos de ortodoncia (Ioannidou-Marathiotou et al. 2013; Lee and Lee 2016; Mirabella and Artun 1995; Mirabella and Årtun 1995). Se han sugerido algunas hipótesis explicativas para dar sustento a estos datos, aunque todavía no hay información concluyente en la literatura (Sondeijker et al. 2020a; Sondeijker et al. 2020b).

### 3.5. FACTORES CLÍNICOS

Desde el punto de vista clínico se puede identificar factores de riesgo tales como el sexo, de lo cual se describe en la literatura que la reabsorción apical es más frecuente en las mujeres y otros autores mencionan que existe una mayor incidencia en los varones (Yassir et al. 2021). En relación con la edad, es directamente proporcional a la probabilidad de presentar reabsorciones radiculares (Bayir and Bolat Gumus 2021).

Según la tipología dentaria, los incisivos superiores son los más susceptibles por su morfología apical redondeada, adicionalmente porque son los que reciben mayor movimiento dentario en el caso de camuflajes de maloclusiones esqueléticas de clase II (Artun et al. 2009; Haque and Zakir 2019; Iglesias-Linares and Hartsfield 2017; Iglesias-Linares et al. 2012b; Iglesias-Linares et al. 2012c; Mirabella and Artun 1995; Sondeijker et al. 2020a). Pero de entre los incisivos maxilares, los más injuriados son los incisivos laterales con una EARR de 1.2mm a 1.6mm (Sameshima and Iglesias-Linares 2021). Uno de los factores que podrían estar influyendo es la frecuencia de la dilaceración de los incisivos laterales respecto a los dientes

adyacentes. Además, otro punto a considerar es que frecuentemente, el tercio apical de los incisivos laterales son contactados por los caninos, según la teoría de la erupción guiada de Ericson y Kurol (Ericson and Kurol 2000; Sameshima and Iglesias-Linares 2021).

En el tratamiento de ortodoncia, las fuerzas continuas causan mayor probabilidad de reabsorción radicular (Sondeijker et al. 2020b). También se debe a la cantidad de movimiento que recibe la pieza dentaria, en especial cuando existe la presencia de caninos impactados (Amuk et al. 2021) y cuando se realiza el cierre de espacios por extracciones terapéuticas de premolares (Marques et al. 2010). Del mismo modo, el uso de elásticos verticales se asocia con la predisposición a presentar la EARR (Brezniak and Wasserstein 2002b). Según el tipo de aparatología ortodóntica, la técnica fija presenta más susceptibilidad a las reabsorciones radiculares en comparación con la técnica invisaling y de autoligado (Yassir et al. 2021).

En relación con la duración del tratamiento ortodóntico, cuanto más se prolongue éste, mayores son los movimientos y las fuerzas que reciben los dientes, lo que eleva la probabilidad de aparición de la EARR (Sondeijker et al. 2020b; Yassir et al. 2021).

Los factores sistémicos y endócrinos tienen influencia en la predisposición de presentar la EARR, cuando repercuten en la activación de mediadores inflamatorios (Brezniak and Wasserstein 2002a; Dos Santos et al. 2021).

### 3.6. FACTORES RADIOGRÁFICOS

Desde el punto de vista radiográfico, se puede identificar factores de riesgo como la estructura dentoalveolar y el contacto del ápice radicular con los tejidos circundantes que podrían ser susceptibles a la EARR (Bayir and Bolat Gumus 2021). Según la morfología y el tamaño dentario, los dientes con el ápice dilacerado y puntiagudo son más propensos a presentar reabsorciones radiculares (Sondeijker et al. 2020b).

Además, se puede observar radiográficamente la dilaceración radicular, la morfología particular de los incisivos laterales superiores (microdoncia, clavija, cilindro) y las variaciones

de forma que hacen que se predisponga mayoritariamente a reabsorciones en el ápice radicular (Cha et al. 2021; Sameshima and Iglesias-Linares 2021).

En cuanto a las reabsorciones radiculares previas, la enfermedad periodontal crónica y traumatismos dentales, éstas en conjunto, reúnen las condiciones que facilitan la aparición de la EARR post-ortodóntica. (Amuk et al. 2021; Bayir and Bolat Gumus 2021; Yassir et al. 2021).

Finalmente, dentro de los factores que se pueden evidenciar radiográficamente tenemos: las piezas dentarias con tratamiento de conducto, la cual es objeto de la presente investigación por la posible predisposición a la EARR (Parrales-Bravo and Iglesias-Linares 2021).

### 3.7. EVALUACIÓN Y SEVERIDAD DE EARR

Entre las herramientas útiles para diagnosticar la EARR inducida por ortodoncia son: las radiografías antes, durante y después del tratamiento ortodóntico. La teleradiografía es ampliamente utilizada ya que nos ofrece un panorama de la condición inicial de nuestro paciente junto con cualquier patología dental que pudiera estar presente (Gegler and Fontanella 2008). En el caso específico que se observe alguna anomalía, se realiza una radiografía periapical para el diagnóstico diferencial. La técnica de la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) no ha desplazado a las técnicas ya mencionadas, por el coste económico que conlleva para el paciente (Saccomanno et al. 2018; Sousa Melo et al. 2017)

El diagnóstico de la reabsorción radicular apical externa (EARR) se la puede realizar mediante los datos anamnésticos y una observación clínica cuidadosa. Sin embargo, en la mayoría de los casos, únicamente los exámenes radiológicos son determinantes. Esto es debido a que, la sintomatología clínica está ausente en su mayor parte y solo se observa una mayor movilidad dental en los casos severos, con la presencia de una pérdida ósea alveolar adicional a través del tiempo (Jonsson et al. 2007).

McKee et al, concluyeron que la evaluación clínica de la angulación dental con radiografía panorámica debe plantearse con extremo cuidado y con una comprensión de las alteraciones inherentes a la imagen (McKee et al. 2002).

La complejidad de la etiología debido a los múltiples factores que se derivan de los tratamientos ortodónticos y el no tener un criterio unificado de cómo medir y evaluar la EARR (Sameshima and Iglesias-Linares 2021), hace que esta patología compleja continúe siendo de interés en la investigación.

# Justificación

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Los exámenes radiológicos son documentos permanentes e imparciales, que en el campo médico-legal pueden ser evaluados por varios examinadores, de manera más independiente que otras evaluaciones clínicas subjetivas (Saccomanno et al. 2018).

El impacto real de la reabsorción de la raíz causado por las limitaciones de imagen es cuestionable, por lo tanto, incluiremos una evaluación de la longitud de la raíz utilizando las 3 dimensiones ofrecidas por el CBCT en la fase *in vitro*.

Los tamaños de vóxel pequeños y una mayor cantidad de iconografías base, generan imágenes de diagnóstico con una mejor resolución y detalles (da Silveira et al. 2014). Sin embargo, la dosis de radiación para el paciente está estrechamente relacionada con estos factores: cuanto menor es el vóxel o mayor es el número de imágenes de base, mayor es la dosis de radiación para el paciente (Farman and Scarfe 2006; Samandara et al. 2018; Yi et al. 2017).

Una de las dificultades más comunes en la detección de la EARR, es la visualización y la precisión de las imágenes radiográficas (Takeshita et al. 2015). Esta patología es difícil de diagnosticar debido a los artefactos de endurecimiento y dispersión del haz causados por las estructuras circundantes de alta densidad, así como al uso de postes metálicos, restauraciones dentales y materiales de obturación radicular (Demiralp et al. 2012). También se debe considerar la alta densidad ósea de la región posterior de la mandíbula, que evita la visualización de los cambios menores en el acortamiento de la raíz (Saidi et al. 2015).

Otros factores que afectan a la detección radiográfica de la EARR son: la densidad y el contraste de las imágenes; la posición dentaria y la forma de la lesión desde una perspectiva tridimensional (Venskutonis et al. 2014). Finalmente, las angulaciones de los dientes, las torsiones radiculares (Tieu et al. 2015), y el ancho junto con la presencia de gutapercha en el conducto radicular, pueden hacer que las lesiones externas de la superficie radicular sean difíciles de detectar radiográficamente (Kapralos et al. 2020).

Investigadores sostienen que, los dientes endodonciados con un buen sellado apical son un factor protector de la EARR (Mirabella and Artun 1995; Spurrier et al. 1990). Sin embargo, en un metanálisis no encontraron diferencias significativas de la EARR entre piezas con presencia y ausencia de endodoncias después de estar sometidos a movimientos ortodónticos (Ioannidou-Marathiotou et al. 2013; Kurnaz and Buyukcavus 2021; Lee and Lee 2016). En el mejor de nuestros conocimientos, todavía no hay evidencia suficiente para determinar si los dientes endodonciados pueden ser un factor de riesgo o protección de presentar la EARR cuando se ejercen fuerzas ortodónticas (Alhadainy et al. 2019; Sameshima and Iglesias-Linares 2021; Sondejker et al. 2020a; Yassir et al. 2021).

También existe controversia, en cuanto a el grupo dentario mayormente afectado por la EARR, ya que, en un estudio realizado a 38 pacientes, investigadores (Llamas-Carreras et al. 2012) encontraron que no hubo diferencia estadísticamente significativa, en cuanto a la severidad de la cuantificación de la EARR, durante el movimiento de ortodoncia entre: los incisivos endodonciados y los dientes contralaterales con pulpas vitales. Sin embargo, 26 pacientes de esa misma investigación mostraron una mayor reabsorción del incisivo tratado endodónticamente que su diente homólogo vital. En cambio, en un estudio transversal realizado a 100 pacientes evaluados a través de radiografías panorámicas y periapicales, se obtuvo como resultado que el diente más comúnmente involucrado con la reabsorción radicular eran los premolares maxilares, seguidos por los incisivos y finalmente por los molares (Khan et al. 2021).

Con esta investigación, se determinará si las percepciones diferenciales del diagnóstico de la EARR, son una fuente potencial de error en la determinación de este tipo de lesiones en dientes vitales comparándolas con dientes endodonciados.

# Hipótesis

## **5. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

### 5.1 FASE *IN VITRO*: Validación del método diagnóstico.

La hipótesis alternativa es que el material intra-conducto, influye en la cuantificación radiográfica de la ERR mediante CBCT y DPR. Esta a su vez, se percibe de manera diferente en dientes vitales y en dientes endodonciados. Las diferencias pueden deberse a la radiopacidad y radiolucidez de los conductos radiculares.

### 5.2 FASE *IN VIVO*: Predisposición clínica y radiográfica.

Como hipótesis alternativa tenemos que los dientes endodonciados, tienen una predisposición diferente a presentar EARR secundaria a las fuerzas de ortodoncia, en comparación con su contralateral vital. Las diferencias pueden deberse a predictores clínicos o radiográficos.

# Objetivos

## 6. OBJETIVOS

Los objetivos primarios de la primera fase *in vitro* de la validación del método diagnóstico:

A.- Determinar la sensibilidad y especificidad de varios métodos radiográficos diagnósticos de la ERR.

B.- Cuantificar el impacto de la presencia del material intra-conducto, sobre la magnitud radiográfica de la ERR en dientes vitales y tratados endodónticamente.

Los objetivos primarios de la segunda fase *in vivo* respecto a la predisposición clínica y radiográfica.

C.- Determinar la asociación de los factores clínicos-radiográficos y la presencia de la EARR secundaria a la aplicación de fuerzas ortodónticas.

D.- Comparar la EARR en dientes endodonciados con sus homólogos vitales.

# Material y métodos

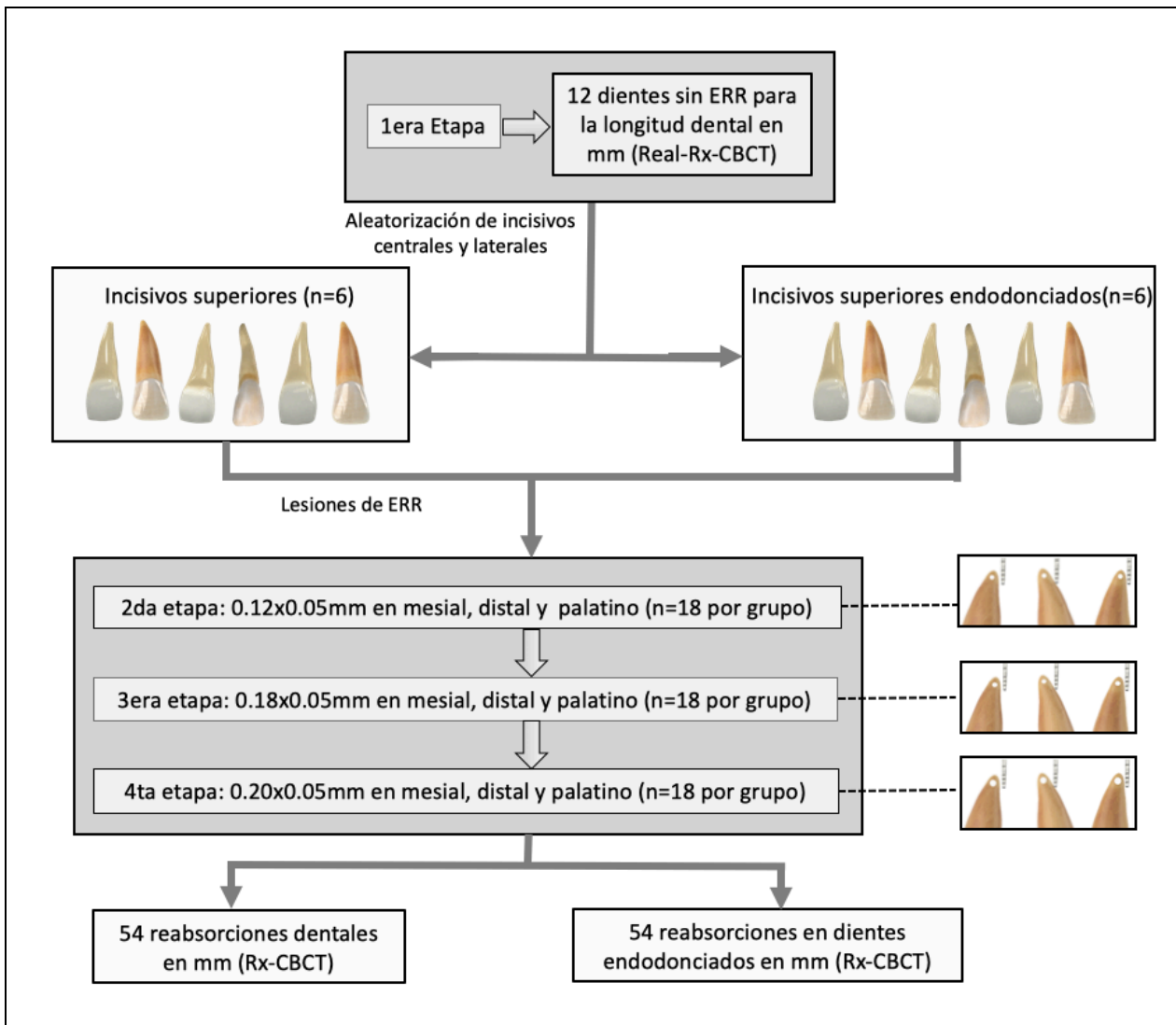
## 7. MATERIAL Y MÉTODOS

### 7.1 FASE *IN VITRO*: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DIAGNÓSTICO

Para someter a contraste la hipótesis planteada en la primera fase de trabajo, se realizó la detección de la ERR mediante dos técnicas de diagnóstico: DPR (Radiografía periapical digital) y CBCT (Tomografía computarizada de haz cónico).

#### 7.1.1. Diseño de estudio y muestras

Se dividieron al azar doce réplicas de incisivos centrales y laterales sintéticos estandarizados en dos grupos: (G1) seis dientes no endodónticos y (G2) seis dientes tratados con endodoncia. Después de la aleatorización, se asignaron cuatro incisivos centrales y dos laterales al grupo 1 y tres incisivos centrales y tres laterales al grupo 2. Esta aleatorización se aplicó para determinar la morfología del conducto radicular de cada grupo. La Figura 2 resume el flujo de trabajo del estudio *in vitro*.



**Figura 2.** Ilustración esquemática del flujo de trabajo de la metodología seleccionada.

### 7.1.2. Generación de réplicas sintéticas estandarizadas

Los dientes se prepararon a partir de la resina sintética en polvo Acry C&B Rx (Ruthinium Group, RO, Italia) radiopaco y un líquido autocurativo, figura 3. El tiempo de mezcla fue de 6 minutos y el tiempo de polimerización fue de 10 minutos. El procedimiento se realizó a partir de dos moldes de silicona Hydrorise de alta precisión (Monophase, Zhermack, RO, Italia). Los moldes se polimerizaron en un recipiente a 2 atm. de presión. Las temperaturas del agua oscilaron entre los 45 ° C - 50 ° C, mientras que los dientes permanecieron dentro de sus correspondientes recipientes. Todas las réplicas sintéticas fueron evaluadas y medidas para cuantificar y garantizar la precisión de las doce réplicas generadas.

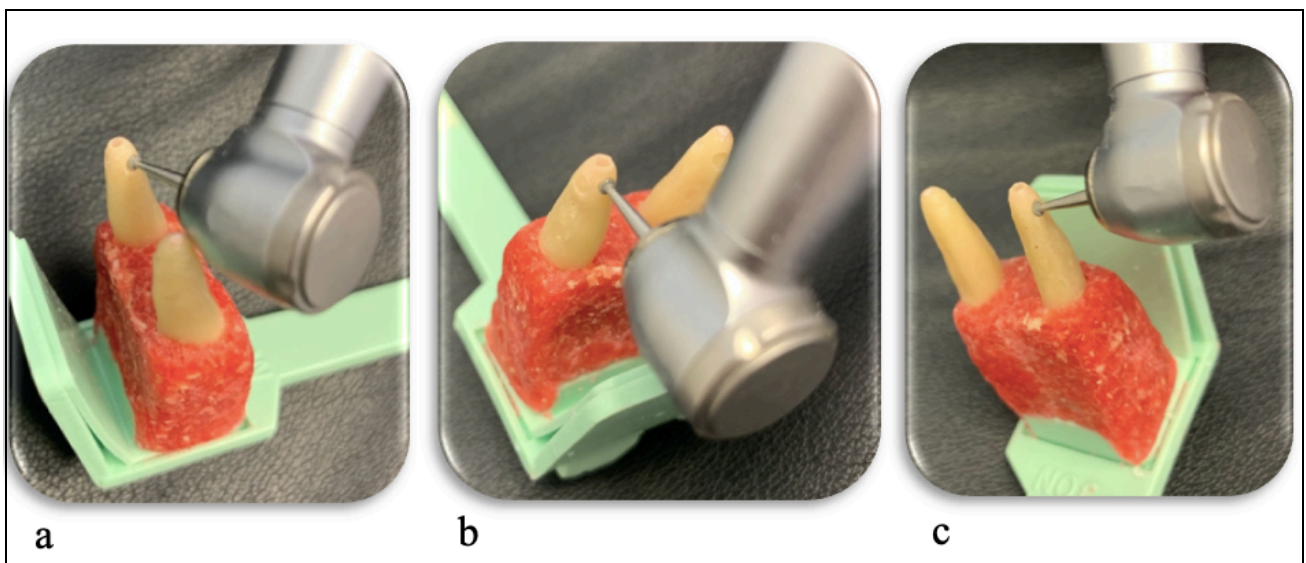
Los conductos radiculares de las seis piezas dentales del grupo 2 fueron luego tratados por un solo operador, utilizando la técnica híbrida corona-apical de Tagger (Monardes et al. 2016). Los procedimientos de llenado se prepararon utilizando conos GP estandarizados (Dentsply, Río de Janeiro, Brasil) con sellador AH Plus (Dentsply, Konstanz, Alemania) (Nhata et al. 2014). La condensación adecuada de los incisivos superiores se verificó mediante la visualización con DPR y CBCT. Se tomaron medidas con el calibrador digital (Gocheer, Shenzhen, China) para cuantificar la longitud precisa de todas las muestras dentales tratadas y no tratadas desde el ápice hasta el borde incisal.



**Figura 3.** Instrumentos y materiales para la generación de réplicas estandarizadas. (a) Olla de presión para la polimerización. (b) Resina sintética Acry C&B Rx (Ruthinium Group, RO, Italia) radiopaco y un líquido autocurativo. (c) Moldes de silicona Hydorise de alta precisión (Monophase, Zhermack, RO, Italia). (d) Piezas dentales que sirvieron de patrón junto con sus réplicas sintéticas.

### 7.1.3. Intervenciones y asignación: simulación de reabsorción radicular externa

Las réplicas se manipularon en el ápice de la raíz para crear un acortamiento de la raíz con diferentes longitudes de dientes. El mismo operador (Spin-Neto et al. 2020) simuló la reabsorción de la raíz externa a 4 mm del ápice, obsérvese en la figura 4. Las lesiones se realizaron perpendiculares a la superficie, con rotación de alta velocidad y enfriamiento constante. Se repitió el mismo procedimiento en la segunda, tercera y cuarta etapa. En cada etapa, se creó la ERR con tres tamaños de lesiones diferentes (0,12 mm, 0,18 mm, 0,20 mm) en las caras mesial, distal y palatina (Bernardes et al. 2012; Takeshita et al. 2015; Westphalen et al. 2004) . Todas las fresas tenían una longitud de pieza activa de 0,05 mm y un grano medio de 100  $\mu\text{m}$ . En cada etapa, se tomaron imágenes DPR y CBCT después de la creación secuencial de las lesiones.



**Figura 4.** Lesiones generadas a alta velocidad con enfriamiento constante. (a) Lesión en la cara mesial con el diámetro 0.12mm. (b) Lesión en la cara palatina con el diámetro 0.12mm. (c) Lesión en la cara distal con el diámetro 0.12mm.

### 7.1.4. Posicionador digital para la captura de imágenes DPR (Apartado afectado por los derechos de confidencialidad y protección de datos industriales)

### 7.1.5. Exposición radiográfica y generación de imágenes de diagnóstico: imágenes DPR y CBCT

Las imágenes radiográficas se realizaron después de colocar cada par de dientes en la estructura de invención con posicionador de película radiográfica universal. El sistema de soporte se colocó paralelo al suelo y se verificó con un nivel de burbuja iHandy (iHandySoft Inc 2017 ©, versión 1.70.3 para iOS 10.3). (Figura 6).



**Figura 6.** Equipos utilizados para la captura de imágenes. (a) Equipo de rayos X de montaje en pared Timex 70E, Gnatus, SP, Brasil. (b) Tomógrafo i-CATTM, Imaging Sciences International LLC, Hatfield, PA, EE. UU.

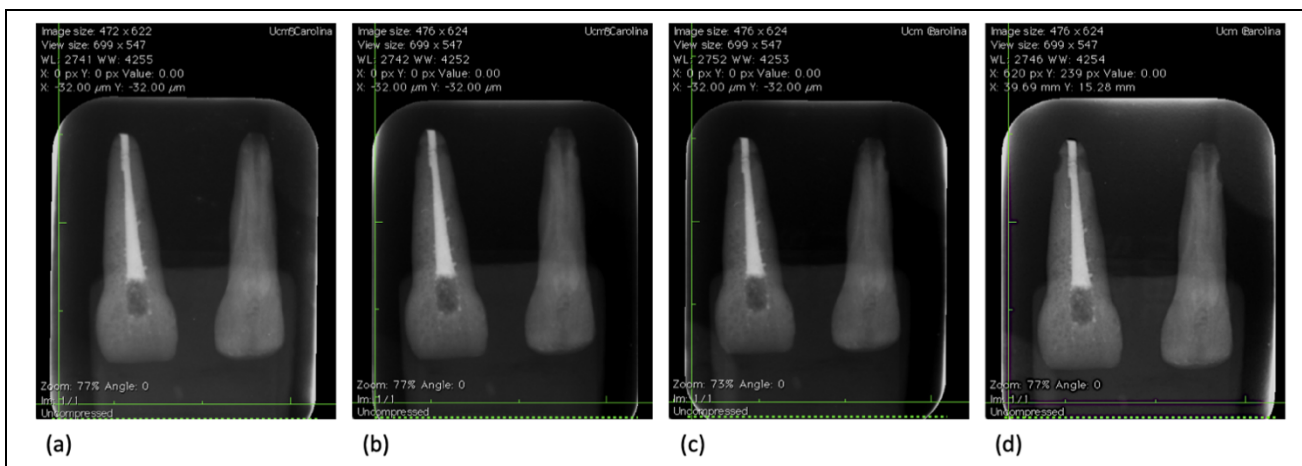
Se obtuvieron radiografías periapicales digitales con el equipo de rayos X de montaje en pared Timex 70E (Gnatus, SP, Brasil), utilizando 0.32 seg. de exposición. A continuación, se leyeron las placas de fósforo utilizando el sistema Digora® Optime (Soredex, Tuusula, Finlandia) y el software Scanora 5.1.2, versión gratuita para Windows.

Las imágenes CBCT se obtuvieron mediante tomografía i-CAT™ (Imaging Sciences International LLC, Hatfield, PA, EE. UU.) Y el software gratuito iCATVision Q, 1.8.1.10 para Windows. Los parámetros de exposición utilizados fueron mAs = 37.07 y 120 KVP, y resolución de 0.20v - 26.9 seg (Deliga Schröder et al. 2019). El tamaño del volumen reconstruido fue de 16 cm de diámetro x 6 cm de profundidad.

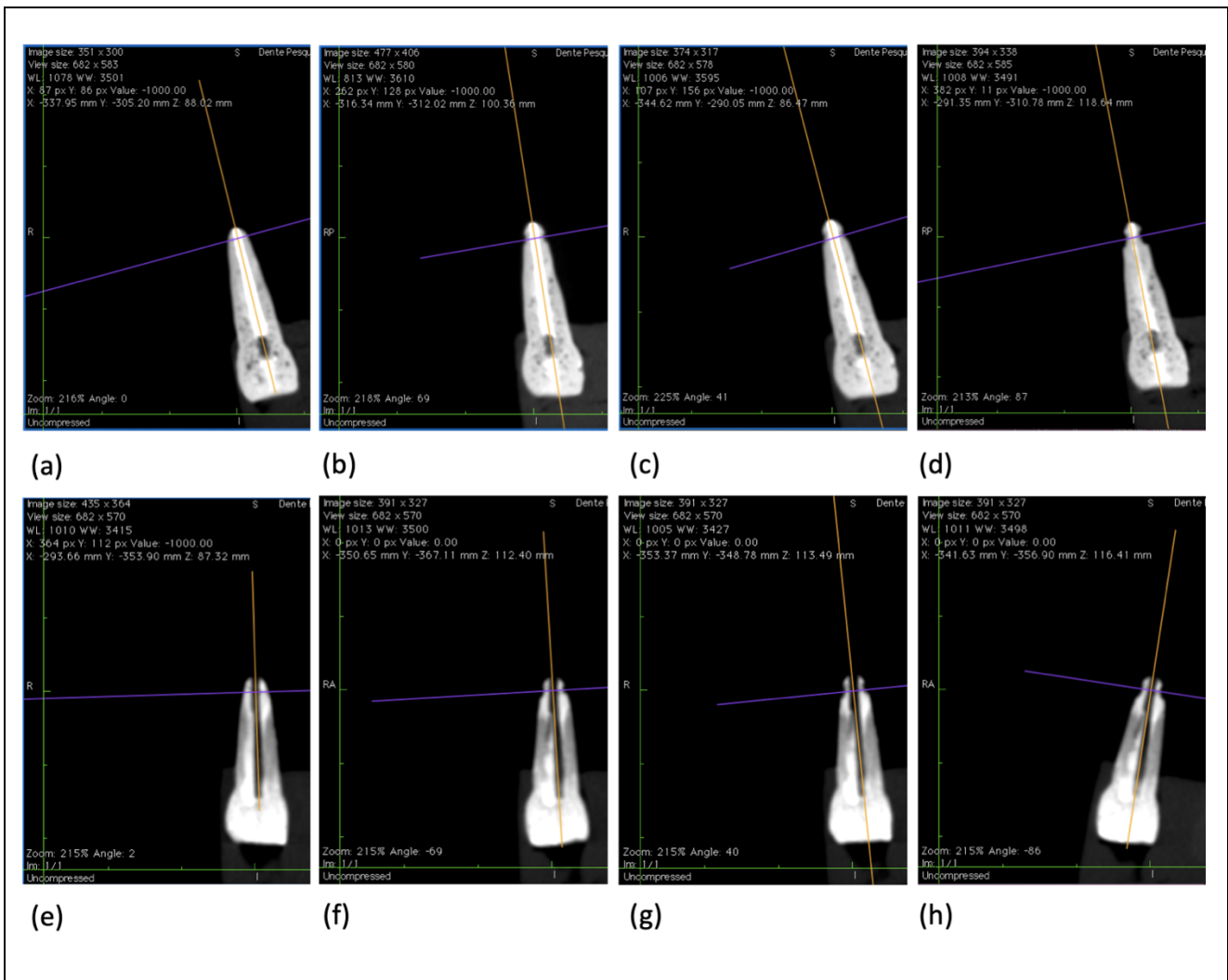
En una situación clínica, la atenuación y dispersión de la radiación natural, es el resultado de la presencia de tejido blando (Tsai et al. 2012). Para simular este efecto, se capturaron escaneos CBCT mientras las secciones de bloque se sumergían en agua dentro de un recipiente de plástico transparente de 13 x 9 x 5 cm (Mol and Balasundaram 2008; Suomalainen et al. 2008; Tsai et al. 2012). Todas las imágenes fueron obtenidas por un radiólogo experto.

#### 7.1.6. Evaluación y mediciones radiográficas

Las imágenes DPR y CBCT fueron evaluadas por ocho investigadores previamente calibrados y cegados (Durack et al. 2011; Patel et al. 2009a; Patel et al. 2009b) que utilizaron el software Horos (GNU, Licencia Pública General) versión 3.3.6 para Mac. (Figura 7, 8).

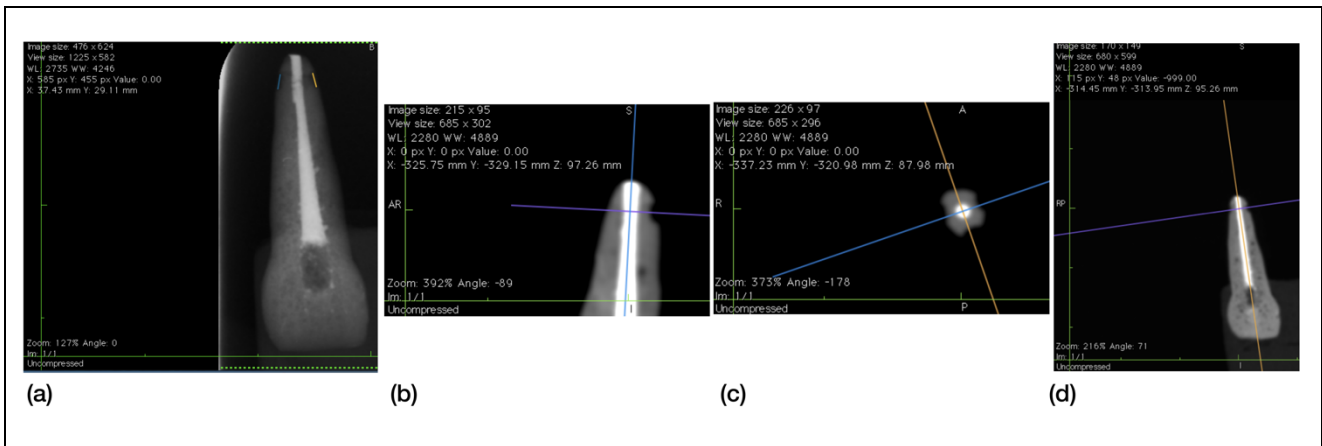


**Figura 7.** Ilustración del diente endodóntico n.º 1 y del diente no endodóntico n.º 2 en imágenes de DPR. (a) Etapa 1, dientes sin reabsorción. (b) Etapa 2, dientes con ERR de 0,12 mm. (c) Etapa 3, dientes con ERR de 0,18 mm. (d) Etapa 4, dientes con ERR de 0,20 mm.



**Figura 8.** Ilustración del diente endodóntico n.º 1 y no endodóntico n.º 5 en el plano coronal en imágenes CBCT. (a) Etapa 1, diente n.º 1 sin reabsorción. (b) Etapa 2, diente n.º 1 con reabsorción de 0.12 mm de diámetro. (c) Etapa 3, diente n.º 1 con reabsorción de 0.18 mm de diámetro. (d) Etapa 4, diente n.º 1 con reabsorción de 0.20 mm de diámetro. (e) Etapa 1, diente n.º 5 sin reabsorción. (f) Etapa 2, diente n.º 5 con reabsorción de 0.12 mm de diámetro. (g) Etapa 3, diente n.º 5 con reabsorción de 0.18 mm de diámetro. (h) Etapa 4, n.º 5 dientes con reabsorción de 0.20 mm de diámetro.

Después de esto, los observadores ajustaron los archivos de imágenes digitales y comunicación en medicina (DICOM por su sigla en inglés), de acuerdo con sus requisitos utilizando las herramientas de: brillo, contraste y zoom. Se utilizó el mismo cuarto oscuro para analizar las imágenes en todos los planos disponibles (Takeshita et al. 2015). El eje longitudinal de los incisivos superiores se ilustra en la Figura 9a. Además, cada evaluador calibrado generó una única medida en el plano sagital del ERR en imágenes CBCT y dos medidas en el plano coronal, como se ilustra en la Figura 9b, c, d.



**Figura 9.** Ilustración de medidas en imágenes DPR y CBCT del diente endodóntico n.º 1. (a) Mediciones de ERR mesial y distal en imágenes DPR. (b) Ubicación de guías para medir el diámetro de ERR palatino en el plano sagital en imágenes CBCT. (c) Vista del plano axial para ayudar a visualizar las fosas de reabsorción mesial, distal y palatina en imágenes CBCT (d) Guías para medir los diámetros de ERR mesial y distal en el plano coronal en imágenes CBCT.

#### 7.1.7. Distribución de especímenes y grupos

En resumen, las medidas se evaluaron en seis sesiones: (i) 12 dientes para medidas de longitud dentaria a través del calibre digital Vernier (Gocheer, Shenzhen, China); (ii) 24 radiografías periapicales digitales a través del software Horos; (iii) 96 escaneos CBCT a través del Software mencionado; (iv) repetir todas las medidas de longitud dentaria; (v) repetir todas las medidas radiográficas; y (vi) repetir todas las medidas de exploración CBCT. En consecuencia, las últimas tres sesiones se llevaron a cabo después de tres semanas para evaluar el acuerdo intra-examinador.

Además, en cuanto a la calidad de la prueba diagnóstica, se evaluaron un total de 120 imágenes de DPR, CBCT y gold standard (ERR real). Luego, estas imágenes se dividieron en seis grupos: (i) 60 DPR de dientes no endodónticos; (ii) 60 dientes no endodónticos DPR; (iii) 60 dientes endodónticos CBCT; (iv) 60 dientes no endodónticos CBCT versus (v) 60 dientes endodónticos con ERR real; y (vi) 60 imágenes dentales no endodónticas con ERR real.

Finalmente, dando una mirada minuciosa, se dividió en seis grupos más de acuerdo con las lesiones de ERR en imágenes de DPR y se comparó con el gold standar. Los grupos adicionales fueron: (vii) 20 dientes endodónticos DPR con 0,12 mm; (viii) 20 dientes no endodónticos DPR con 0,12 mm; (ix) 20 dientes endodónticos DPR con 0,18 mm; (x) 20 dientes no endodónticos DPR con 0,18 mm; (xi) 20 dientes endodónticos DPR con 0,20 mm; (xii) 20 dientes no endodónticos DPR con 0,20mm.

#### 7.1.8. Análisis Estadístico

La consistencia de las mediciones se evaluó mediante el coeficiente de correlación intra-clase (ICC, por sus siglas en inglés), con sus respectivos intervalos de confianza del 95% (Koo and Li 2016).

Para el acuerdo intra-examinador, cada evaluador midió todas las longitudes de los dientes y las reabsorciones radiculares externas dos veces. Se calculó la confiabilidad inter-examinadores y se seleccionó la media de las mediciones de los ocho evaluadores para el análisis de datos posterior (Spin-Neto et al. 2020).

Se calcularon estadísticas descriptivas para cada grupo utilizando medias y desviación estándar. Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, para determinar la bondad de ajuste de los datos a la distribución normal. Se calculó el ANOVA de medidas repetidas. Se aplicó un análisis de varianza univariado, para determinar los efectos de la ubicación y el tamaño de las lesiones en la percepción de ERR.

Posteriormente, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, para determinar si existían diferencias significativas entre los cuatro grupos según el tipo de endodoncia y las técnicas diagnósticas [(i) DPR no endodóntico; (ii) DPR endodóntico; (iii) CBCT no endodóntico; y (iv) CBCT endodóntico]. La prueba post-hoc de rango de Wilcoxon se realizó para todas las comparaciones por pares (McGee 2018). También se realizaron comparaciones múltiples de Bonferroni para evaluar las diferencias en la longitud de los dientes según el método de

diagnóstico. Los valores de significancia se ajustaron al aplicar la corrección de Bonferroni en las pruebas de comparación múltiple (Benjamini and Yekutieli 2001).

Para evaluar la calidad de las pruebas de diagnóstico que se emplearon, se calculó la sensibilidad, la especificidad, el área bajo la curva (AUC) y la razón de verosimilitud (LR) para cada grupo.

## **7.2 FASE *IN VIVO*: PREDISPOSICIÓN CLÍNICA Y RADIOGRÁFICA.**

Los dientes endodonciados tienen una predisposición diferente a presentar EARR secundaria a las fuerzas de ortodoncia, en comparación con su contralateral vital. Las diferencias pueden deberse a predictores clínicos o radiográficos.

### 7.2.1. Consideraciones ética y protección de datos.

Se obtuvo la aprobación del Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos [19/438-E\_Tesis], cumpliendo con los criterios éticos y principios de la declaración de Helsinki para investigación con humanos. Adicionalmente se realizó el registro de investigación en la Facultad de Odontología (URI + i) con el número 5-201119.

De acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, Carolina Elizabeth Parrales-Bravo, como investigadora responsable del trabajo, atestigua que los registros de la recolección de datos están codificados y anonimizados, lo cual es garantía para un mantenimiento confidencial de la misma.

La información se recopiló a través del software Excel for Mac (versión 16.16.9, 2018; Universidad de Guayaquil- Ecuador) y se tabuló para el análisis de las variables de longitud dental con el software estadístico SPSS for Mac, (versión 25, 2018; Universidad Complutense de Madrid- España).

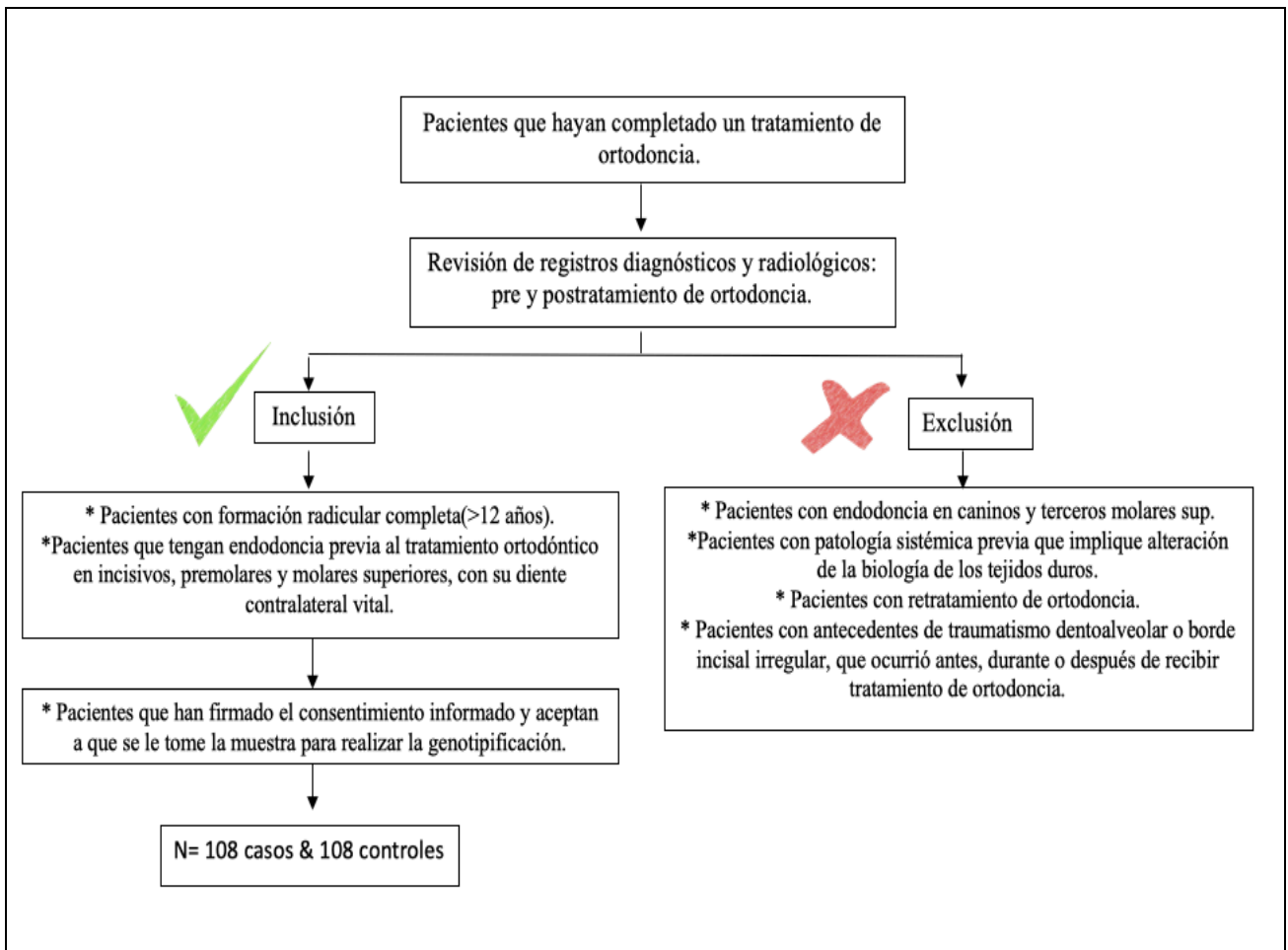
Siguiendo la normativa vigente de la Ley de Investigación Biomédica 14/2007 y el Real Decreto 1716/2011, los registros radiográficos y clínicos fueron numeradas bajo código, de forma que no sea reconocible su identidad. Una vez finalizado este estudio, la información, será almacenada de forma segura bajo codificación para el cruce de datos clínicos, diagnóstico radiográfico a medida que se vaya avanzando en el conocimiento de la patología objeto de estudio.

En la Universidad Complutense de Madrid, se almacenará esta información hasta 5 años después de haber concluido la investigación, en un repositorio cifrado perteneciente al Departamento de Especialidades Clínicas Odontológicas (DECO) de la Facultad de Odontología (UCM- España), cuya finalidad es evitar el acceso a personas ajenas al estudio.

#### 7.2.2. Muestreo y población de estudio.

El tamaño muestral para aplicar el test de  $\chi^2$  con la corrección de continuidad de Yates ( $\chi^2_c$ ) para el estudio de casos y controles de muestras independientes, fue calculado con el *Software Epidat 4.2* (Dirección Xeral de Saúde Pública, Galicia, España), con una potencia estadística del 80%, error alfa del 5% e intervalo de confianza de 95% con una proporción del 49.5% para los casos y del 30% para los controles. *Odds ratio* a detectar fue de 2.287. Se requerirá un mínimo de 108 casos y 108 controles, siendo un total de 216 dientes que cumplan con los criterios de elegibilidad. En la figura 10, podemos observar los criterios de inclusión y exclusión.

La población de estudio partió de los pacientes de una clínica privada exclusiva de Ortodoncia, correspondientes a pacientes que finalizaron su tratamiento Ortodóntico durante el período 2018-2021, con consentimiento informado firmado para la realización de la investigación.



**Figura 10.** Criterios de elegibilidad.

### 7.2.3. Variables clínicas y diagnósticas.

Se recolectaron las siguientes variables clínicas y diagnósticas, a partir de los registros de los pacientes post-ortodónticos de una clínica privada en Madrid-España.

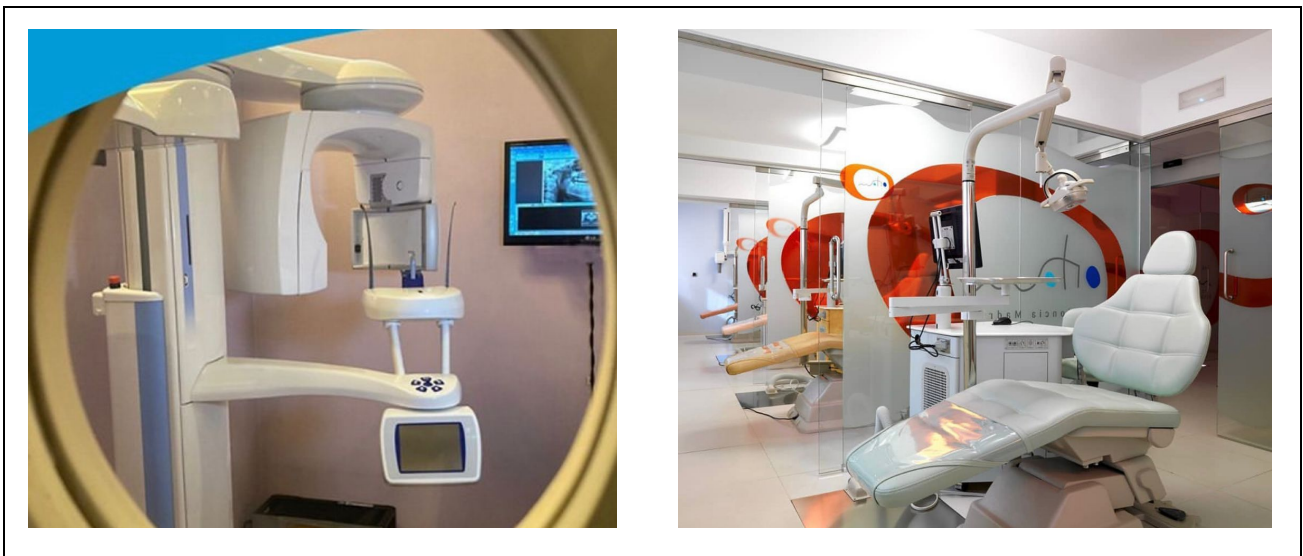
**Tabla 1.** Características clínicas- diagnósticas a evaluar.

<b>VARIABLES</b>	<b>CATEGORÍA</b>
Edad	años y meses
Género	Femenino - Masculino
Duración del Tratamiento Ortodóntico	meses
Clasificación de Angle	Clase I, II, III
Tipo de tratamiento ortodóntico	Extracción – No extracción
Grupo dentario	Incisivo <sup>a</sup> - Premolar <sup>b</sup> - Molar <sup>c</sup>
Presencia de Endodoncia	Si - No
Reabsorción Radicular	Presencia – Ausencia en mm
Morfología radicular	Puntiaguda-Redondeada-Cuadrada-Curveada
Tipo de aparatología ortodóntica	Fija- Invisaling

*a. Incisivos centrales y laterales maxilares; b. Primer y segundo premolar maxilar; c. Primer y segundo molar maxilar.*

#### 7.2.4. Generación de imágenes de diagnóstico: Ortopantomografía digital.

Las ortopantomografías de cada uno de los pacientes de la muestra fueron obtenidas mediante una unidad completa de procesamiento de imágenes maxilofaciales, Planmeca ProMax® 2D S3, (Helsinki, Finlandia). Este equipo posee entre sus características, una función de autoenfoco e imágenes de reconocimiento con una baja dosis de radiación en la línea media del paciente, con el fin de posicionar la capa focal de manera automática. Los parámetros de exposición utilizados fueron ajustados automáticamente mediante la función de *Control de Exposición Dinámica* (DEC) digital integrado en este equipo radiográfico. El DEC mejora la calidad de las imágenes, con un brillo y un contraste más consistentes. Todo esto garantiza la eficacia de la imagen y evita la realización de tomas adicionales al paciente.



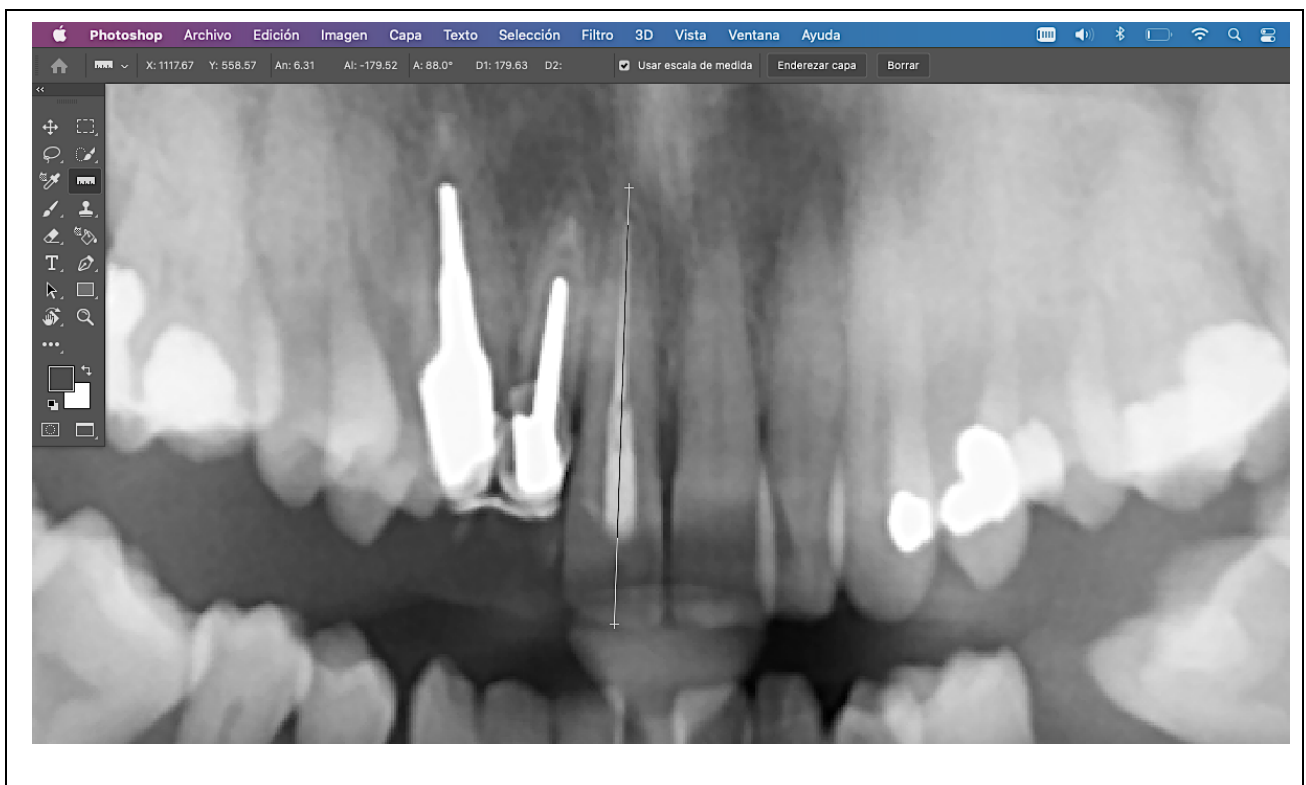
**Figura 11.** Equipo radiográfico Planmeca Planmeca ProMax® 2D S3 e instalaciones de la clínica privada exclusiva de ortodoncia ubicada en Madrid- España.

A continuación, en la figura 12, se detalla las especificaciones técnicas descritas en el manual del equipo de procesamiento de imágenes Planmeca ProMax® 2D S3, (Helsinki, Finlandia). Todas las imágenes fueron obtenidas por un radiólogo experto.

Generador Potencial constante, modo resonante de alta frecuencia 80–150 kHz  
Tubo de rayos X D-054SB-P  
Tamaño de mancha focal 0,5 x 0,5 mm (IEC 336)  
Filtración total mín. 2,5 mm Al equivalente  
Tensión anódica 50-84 kV  
Corriente anódica 0,5–16 mA CC  
Tiempo de exposición Pan 2,7–16 s, Cefalostato 6,4–9,9 s, ProCeph 0,1–0,8 s  
SID Pan 500 mm (19 in.), Cef 170 cm (67 in.)  
Ampliación Pan 6 x 147 mm, Cef 1,08–1,13  
Tamaño de píxel CCD 48 µm  
Tamaño de píxel de imagen 48/96/144 µm seleccionable  
Superficie activa del CCD Pan constante 1,2, Cef 6 x 295 mm  
Resolución (digital) Pan máx. 9 lp/mm, Cef máx. 5,7 lp/mm  
Campo de imagen (digital) Pan 14 x 30 cm (5,5 x 12 in.), Cef 24/27 x 18/30 cm (9/10,6 x 7/11,8 in.)  
Tamaño de archivo, sin comprimir (digital) Pan 4–33 MB, Cef 7–16 MB  
Tensión de línea 100–240 V, 50 o 60 Hz  
Regulación Automática, ±10 %  
Corriente de línea 8–16 A  
Color Blanco (RAL 9016)

**Figura 12.** Datos técnicos del equipo Planmeca ProMax® 2D S3.

A continuación, se visualizaron las imágenes y se procedió a realizar la descarga a través del software Planmeca Romexis 2016 versión 4.4.2. para Windows. Para la realización de las mediciones, se empleó la herramienta regla del software Adobe Photoshop 2020 versión 21.0.3 para Mac. En la figura 13, se observa la imagen calibrada con las herramientas de brillo, contraste y zoom. La resolución de la pantalla del visor del software fue de 72 píxeles/pulgada y el tamaño PostScript de puntos/picas fue de 72 puntos/pulg. Además, se utilizó un cuarto oscuro para que no interfiera en las mediciones que se realizaron.

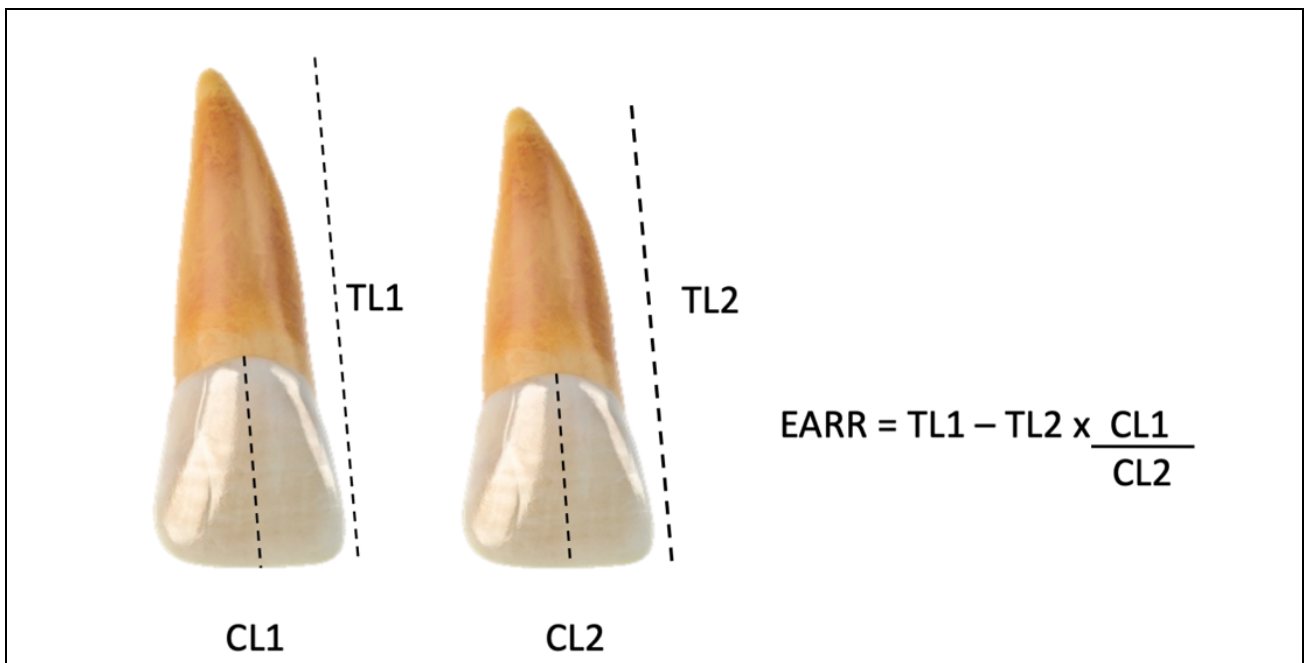


**Figura 13.** Medición del TL1 de la pieza 11 del paciente con codificación C30, utilizando la herramienta regla en mm del software Adobe Photoshop 2020 versión 21.0.3 para Mac.

TL1: Longitud total pretratamiento.

### 7.2.5. Puntos de referencia radiológicos.

Para la determinación de los cambios en la longitud de la corona de los incisivos maxilares al inicio y al final del tratamiento ortodóntico, se utilizó la fórmula descrita por Linge (Linge and Linge 1991) para el análisis de reabsorción radicular apical externa en ortopantomografías.



**Figura 14.** Representación gráfica de la fórmula de Linge. EARR: Reabsorción radicular apical externa; TL1: Longitud total pretratamiento; TL2: Longitud total postratamiento; CL1: Longitud coronal pretratamiento; CL2: Longitud coronal postratamiento.

La reabsorción radicular apical externa, es el producto de la diferencia de las longitudes totales, y el cociente de dividir las longitudes coronales descritas en la figura 14.

También se consideró la morfología apical clasificándolas en: puntiaguda, cuadrada, redondeada y ovalada en cada uno de los dientes que se realizaron las mediciones.

### 7.2.6. Análisis Estadístico

El error del método se calculó siguiendo la ecuación:  $SE = \sqrt{\frac{d^2}{2n}}$ , donde  $d$  es la diferencia entre las mediciones dobles y  $n$  el número de mediciones dobles emparejadas (Iglesias-Linares et al. 2012a). Las medidas se realizaron, por un solo operador calibrado con grado de acuerdo intra-observador de 50 pacientes elegidos al azar realizadas en dos sesiones diferentes, cada una con un intervalo de una semana (Gegler and Fontanella 2008), con el fin de calcular el error del método y la concordancia.

Todos los datos fueron evaluados mediante el análisis descriptivo preliminar. Se consideraron tablas de distribución de frecuencias, medias y desviaciones estándar. Además, se evaluó la bondad de ajuste de Pearson y la desviación para indicarnos si se ajusta bien el modelo, donde el *p-valor* es  $>0.05$ . En este caso debemos aceptar la hipótesis nula, que nos dice que, los valores predictivos del modelo, no difieren significativamente de los valores observados. Esto se traduce en que hay buen ajuste del modelo final.

El Pseudo R cuadrado es donde los valores de Cox-Snell y Nagelkerke deben ser similares. Su interpretación es lo mismo que a una R cuadrada, donde los valores oscilan entre 0 y 1. Esto tuvo como finalidad, conocer si el modelo final posee un valor bastante decente en cuanto a el cambio de la variable dependiente o del resultado de la reabsorción (caso, semicontrol y control).

Para conocer los predictores del modelo de regresión, el estadístico de chi-cuadrado es la diferencia de la log-verosimilitud  $-2$  entre el modelo reducido y el modelo final. Cuando los parámetros de dicho efecto es 0, esta viene a ser la hipótesis nula. El modelo reducido se va formando con la eliminación de los efectos, sin aumentar los grados de libertad. Esto no afecta en manera alguna al modelo final.

Finalmente, en la interpretación clínica de la predisposición a sufrir EARR, se evaluaron los valores de beta (los cuales, indican el valor de la constante en la fórmula), Wald (no debe contener el cero), significancia estadística y *Odds ratio* (el exponente de beta) de cada variable

de forma individual, junto con la intersección de cada variable predictora. Finalmente, se hicieron comparaciones de 2 x 2 con la variable de referencia *Reabsorción Caso: >4mm*.

# Resultados

## 8. RESULTADOS

### 8.1 FASE *IN VITRO*: VALIDACIÓN DEL MÉTODO DIAGNÓSTICO.

#### 8.1.1. Precisión del método.

Los valores de ICC para la concordancia intra e inter-examinador se muestran en la Tabla 2. Los resultados fueron estadísticamente significativos ( $p < 0,001$ ) para todas las puntuaciones de ICC.

Con base en los resultados obtenidos, las mediciones de los ocho evaluadores arrojaron excelentes valores de ICC, por lo que se seleccionaron las medias de las ocho mediciones de los evaluadores para el posterior análisis de los datos.

**Tabla 2.** Concordancia intra e inter-examinador en las medidas de longitud y diámetro dentarios de ERR.

Examinadores	Puntuación <sup>a</sup> ICC Intra-examinador						
	Longitud dental			Diámetro ERR de dientes sin endodoncia		Diámetro ERR de dientes con endodoncia	
	Real	DPR	CBCT	DPR	CBCT	DPR	CBCT
1	0.859	0.984	0.893	0.896	0.979	0.885	0.907
2	0.927	0.855	0.918	0.963	0.902	0.860	0.886
3	0.958	0.810	0.956	0.909	0.824	0.820	0.897
4	0.996	0.968	0.991	0.861	0.997	0.895	0.983
5	0.871	0.803	0.865	0.944	0.931	0.894	0.944
6	0.942	0.846	0.911	0.995	0.924	0.883	0.995
7	0.821	0.893	0.959	0.897	0.976	0.943	0.863
8	0.899	0.922	0.985	0.998	0.903	0.970	0.924
Media [±SD]	0.909 ±0.058	0.885 ±0.069	0.935 ±0.045	0.933 ±0.050	0.929 ±0.056	0.894 ±0.047	0.925 ±0.046
Puntuación <sup>a</sup> ICC Inter-examinador	0.899	0.965	1.00	0.989	0.994	0.989	0.966

a: *p*-valor ( $< 0.05$ ) en todos los datos; ERR: external root resorption; ICC: coeficiente de correlación intraclase; SD: desviación estándar.

### 8.1.2. Diferencia de medias de la longitud dental Real, CBCT y DPR.

Los resultados de las mediciones de las muestras sin lesiones de reabsorción, junto con los ajustes post-hoc, se describen en la Tabla 3. Los datos arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones por DPR versus las longitudes reales ( $p < 0.001$ ), y también versus las mediciones del CBCT ( $p < 0.001$ ). Se puede inferir que las mediciones de DPR se sobrestimaron en comparación con las reales (diferencia media = 0,765) y de manera similar se compararon con las realizadas por CBCT (diferencia media = 0,768). Sin embargo, las longitudes absolutas obtenidas con la técnica CBCT no difirieron de las longitudes reales de los dientes (diferencia media = -0,002;  $p = 0,573$ ).

**Tabla 3.** Medias marginales estimadas y comparaciones por pares diferencia de medias de la longitud dentaria.

	Media [ $\pm$ SD] (mm)	CI 95% (mm)	P valor <sup>a</sup>
<b>Técnicas diagnósticas</b>			
Real	24.819 $\pm$ 0.346	24.059-25.580	N/A
DPR	25.584 $\pm$ 0.319	24.883-26.285	N/A
CBCT	24.817 $\pm$ 0.345	24.057-25.577	N/A
<b>Longitud dental (Diferencias)</b>			
DPR – Real	0.765 $\pm$ 0.116	0.438–1.092	< 0.001
CBCT – Real	-0.002 $\pm$ 0.002	-0.008–0.003	0.573
DPR – CBCT	0.768 $\pm$ 0.116	0.439–1.096	< 0.001

a: *p*-valor con la corrección de Bonferroni; SD: desviación estándar; CI: intervalo de confianza; N/A: no aplica.

### 8.1.3. Evaluación de la reabsorción radicular externa mediante CBCT y radiografía periapical.

Los resultados de la evaluación de las muestras con ERR analizando el efecto de la ubicación y el diámetro de las lesiones ERR se muestran en la Tabla 4. Más particularmente, los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas para las técnicas de diagnóstico DPR ( $p = 0,728$ ) o CBCT ( $p = 0,411$ ). No hubo diferencias estadísticamente

significativas entre: la ubicación o el diámetro de las lesiones ERR y su efecto sobre cualquiera de los métodos analizados, ya sea DPR o CBCT ( $p = 0,527$ ).

**Tabla 4.** Prueba de ANOVA entre los efectos de la localización y el tamaño del diámetro de las lesiones ERR.

Efectos	Diámetro DPR [P valor <sup>a</sup> ]	Diámetro CBCT [P valor <sup>a</sup> ]	Diferencia DPR-CBCT diámetro [P valor <sup>a</sup> ]
Tamaño de reabsorción <sup>b</sup>	0.000	0.000	0.180
Lugar de reabsorción <sup>c</sup>	0.037	0.442	0.088
Resorción tamaño <sup>b</sup> * lugar <sup>c</sup>	0.728	0.411	0.527

a: *p*-valor con la corrección de Bonferroni; b: Tamaño: 0.12mm, 0.18mm, 0.20mm; c: Lugar: mesial, distal y palatino.

En cuanto al análisis entre grupos de las técnicas diagnósticas, se observó que existían diferencias significativas entre: los cuatro grupos según el tipo de endodoncia y las técnicas diagnósticas [(i) DPR no endodóntico; (ii) DPR endodóntico; (iii) CBCT no endodóntico; y (iv) CBCT endodóntico].

Las comparaciones se muestran en la tabla 5. El análisis de lesiones ERR con CBCT en dientes sin tratamiento de conducto radicular fue significativamente más preciso, que los diagnósticos por DPR en dientes no endodónticos ( $p = 0,044$ ) y endodónticos ( $p = 0,037$ ), respectivamente. Sin embargo, estas diferencias no se encontraron al considerar el análisis de ERR en dientes tratados endodónticamente, en comparación con ambos tipos de muestras por DPR ( $p > 0.05$ ; prueba post-hoc con corrección de Bonferroni).

**Tabla 5.** Diferencia entre los grupos según la presencia o ausencia de endodoncia<sup>a</sup>

Métodos diagnósticos	DPR sin endodoncia	DPR con endodoncia	CBCT sin endodoncia
DPR con endodoncia	1.000 <sup>b</sup>	-	-
CBCT sin endodoncia	0.044 <sup>b</sup>	0.037 <sup>b</sup>	-
CBCT con endodoncia	0.097 <sup>b</sup>	0.071 <sup>b</sup>	1.00 <sup>b</sup>

a: Comparaciones por pares utilizando la prueba de suma de rangos de Wilcoxon con datos de corrección de continuidad. b: *p*-valor ( $< 0.05$ ) multiplicado por el número de comparaciones con la corrección de Bonferroni.

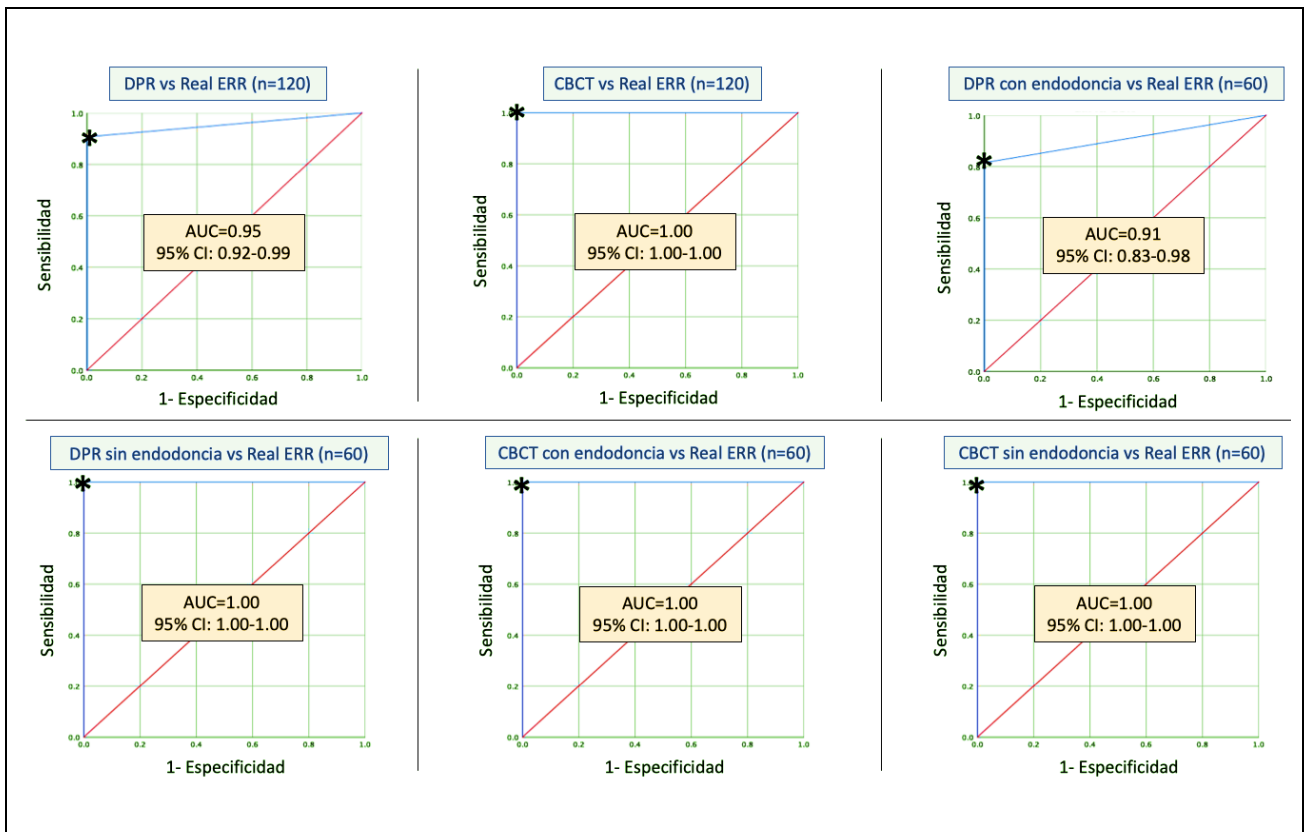
#### 8.1.4. Calidad de las pruebas de diagnóstico.

En la Tabla 6 y la Figura 15, se presenta una comparación de las pruebas de diagnóstico y su calidad. La sensibilidad de DPR para la detección de ERR versus el estándar de referencia (reabsorción verdadera) fue del 90,7%, con un AUC del 95,4%. Sin embargo, cuando se seleccionaron las 60 imágenes de dientes endodónticos solo frente a reabsorción real, la sensibilidad disminuyó al 81,5% con un AUC del 90,7%, frente al 100% de sensibilidad y AUC en dientes sin obturación de conducto radicular. Con respecto a la calidad de las pruebas diagnósticas, CBCT obtuvo un LR- 0.00, mientras que DPR en dientes endodónticos obtuvo un LR- 0.19 (Tabla 6).

**Tabla 6.** Comparación y calidad de las pruebas diagnósticas DPR-CBCT vs Reabsorción real.

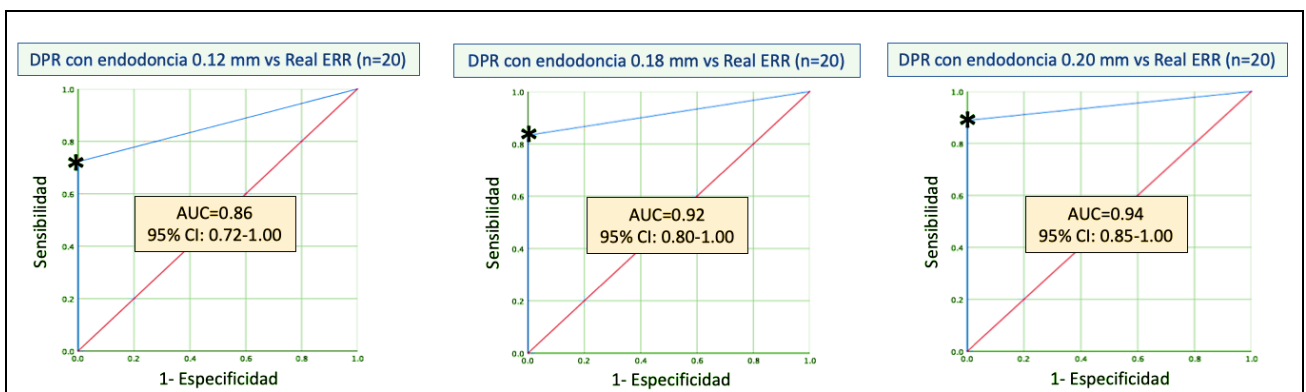
Métodos diagnósticos	N	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	AUC % (CI %)	Razón de verosimilitud	
					LR+	LR-
DPR vs Real	120	90.7	100	95.4 (91-99)	999	0.09
CBCT vs Real	120	100	100	100 (100-100)	999	0.00
DPR sin endodoncia vs Real	60	100	100	100 (100-100)	999	0.00
DPR con endodoncia vs Real	60	81.5	100	90.7 (83-98)	999	0.19
CBCT sin endodoncia vs Real	60	100	100	100 (100-100)	999	0.00
CBCT con endodoncia vs Real	60	100	100	100 (100-100)	999	0.00
DPR con endodoncia 0.12mm vs Real	20	72.2	100	86.1 (72-100)	999	0.28
DPR con endodoncia 0.18mm vs Real	20	75	100	91.7 (80-100)	999	0.17
DPR con endodoncia 0.20mm vs Real	20	88.9	100	94.4 (85-100)	999	0.11

a: *p*-valor (< 0.05) en todos los datos; AUC: área bajo la curva; CI: intervalo de confianza 95%.



**Figura 15.** Curvas de la característica operativa del receptor (ROC) para la capacidad de detectar ERR en dientes endodónticos y no endodónticos usando DPR y CBCT.

Como se muestra en la Figura 16, se puede observar que cuando se utilizó DPR para evaluar las lesiones de la ERR gradual, la sensibilidad aumentó al 88,9% en las lesiones de 0,20mm, en comparación con el 75% y el 72,2% en las lesiones de 0,18 mm y 0,12 mm, respectivamente (tabla 6).



**Figura 16.** Curvas de características operativas del receptor (ROC) para la capacidad de detectar lesiones ERR incrementales (0,12 mm, 0,18 mm, 0,20 mm) en dientes endodónticos utilizando DPR.

## 8.2 FASE *IN VIVO*: PREDISPOSICIÓN CLÍNICA Y RADIOGRÁFICA.

### 8.2.1. Fiabilidad, precisión y error de método.

Los valores de ICC para la concordancia intra-examinador se muestran en la Tabla 7. Los resultados fueron estadísticamente significativos ( $p < 0,001$ ) para todas las puntuaciones de ICC. Con base en los resultados obtenidos, las mediciones arrojaron excelentes valores de ICC.

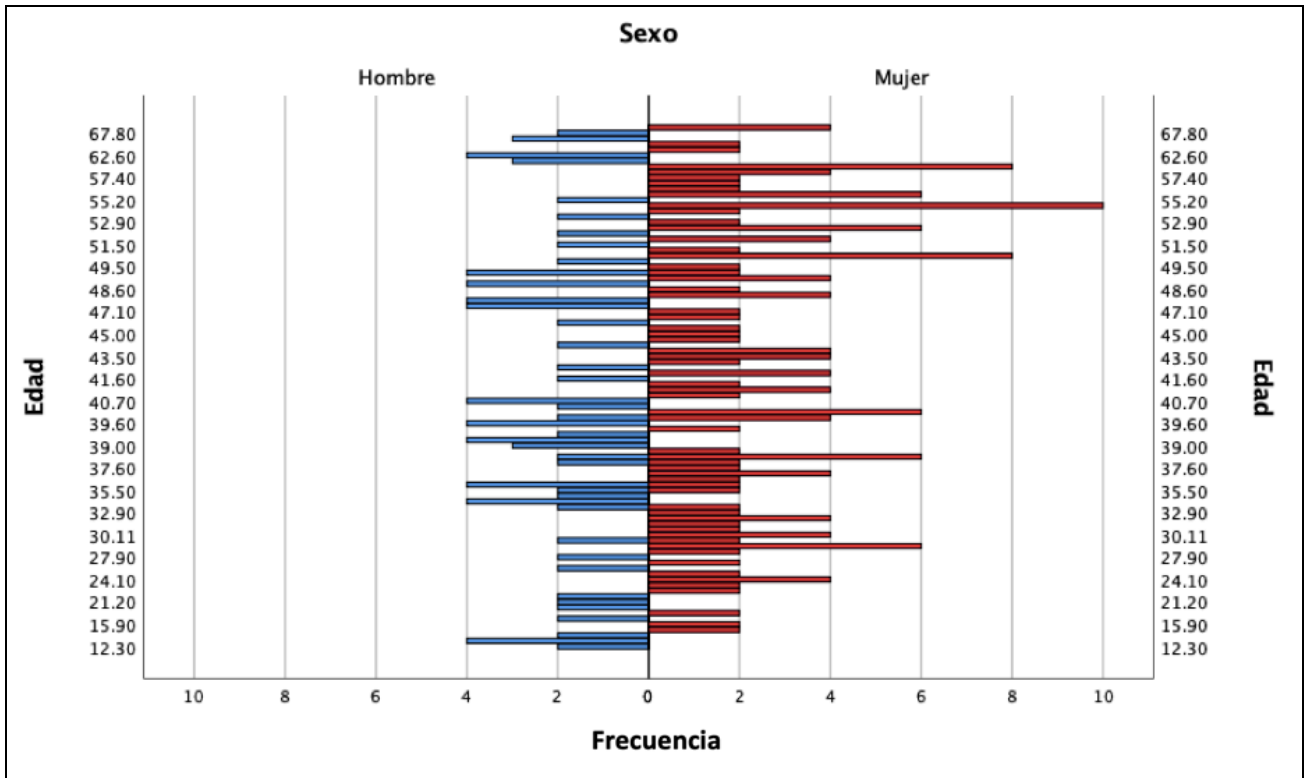
**Tabla 7.** Concordancia intra-examinador con una definición de acuerdo absoluto.

Puntuación <sup>a</sup> ICC Intra-examinador			
TL1 (CI %)	CL1 (CI %)	TL2 (CI %)	CL2 (CI %)
0.998 (0.996-0.999)	0.998 (0.996-0.999)	0.997 (0.991-0.999)	0.997 (0.994-0.999)

a: *p*-valor ( $< 0.05$ ) en todos los datos; ICC: coeficiente de correlación intraclase; CI: intervalo de confianza.

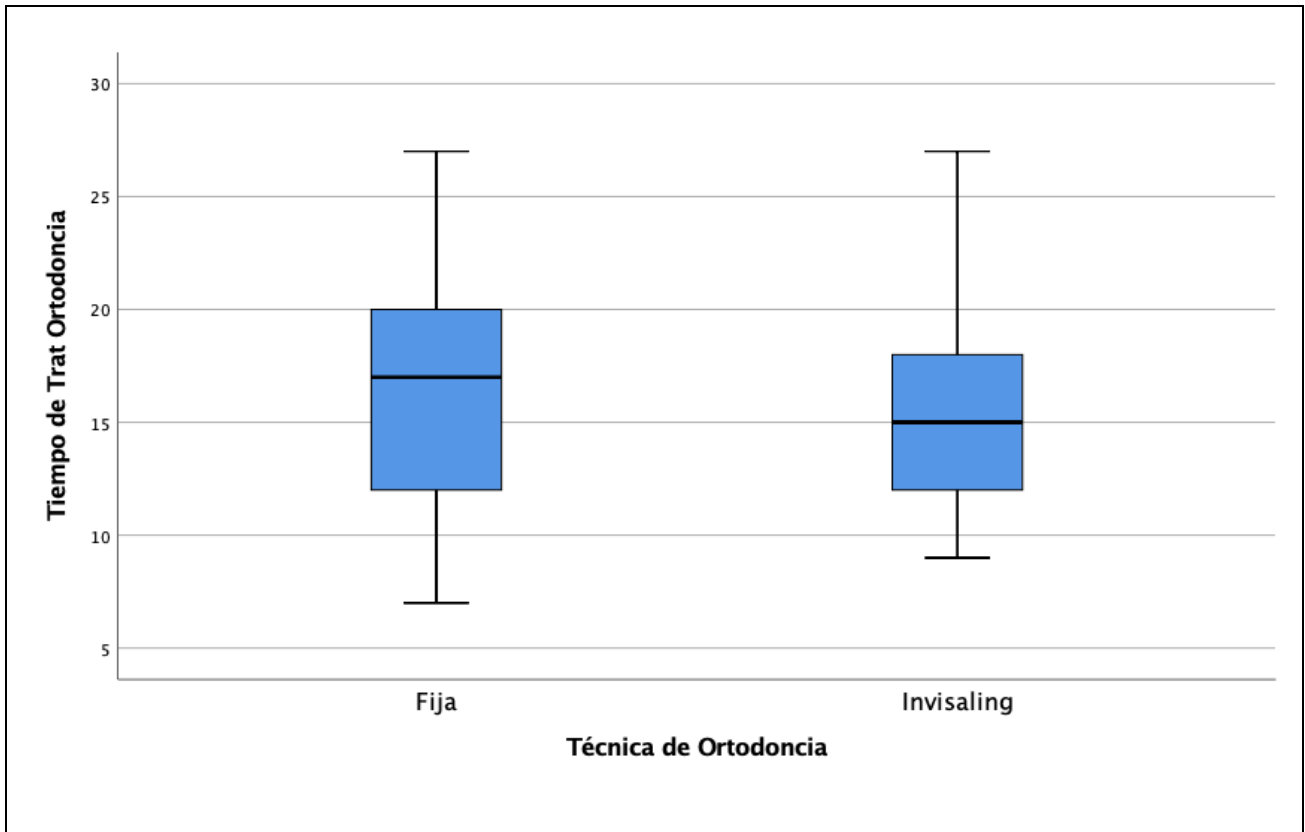
### 8.2.2. Descripción de las variables estudiadas.

En el estudio *in vivo*, la muestra de estudio fue conformada a partir de 297 dientes pertenecientes a 107 hombres y 190 mujeres, constituyendo un 36% y 64% del total, respectivamente. En la figura 17, se observan las edades de los pacientes masculinos que fueron desde los 12,3 hasta 67,8 años. En el caso del sexo femenino, las edades fueron desde los 13,2 hasta 72 años.



**Figura 17.** Distribución de las unidades muestrales (dientes) en función de su origen [sexo y edad].

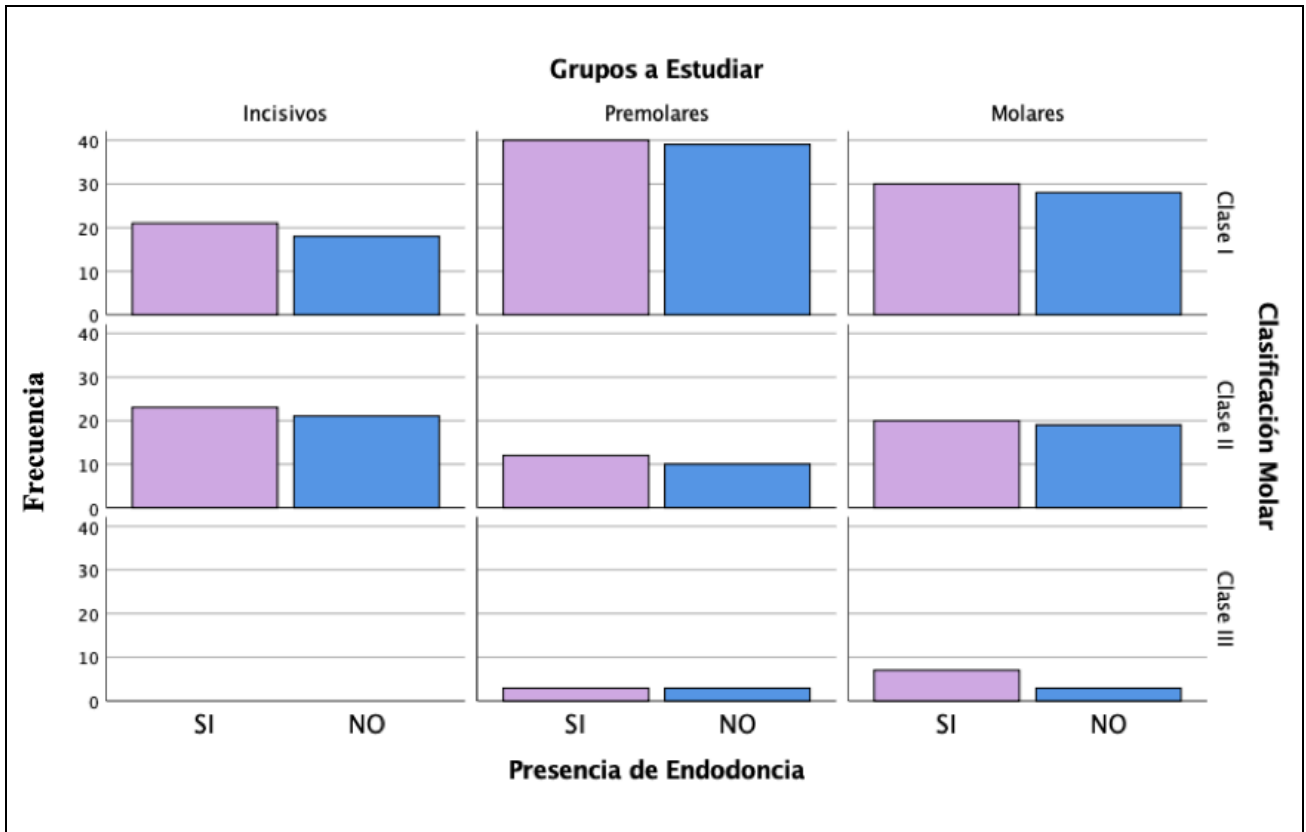
En la figura 18, podemos observar gráficamente la distribución del tiempo de tratamiento según la técnica de ortodoncia empleada. De los 297 dientes, el 24,9 % (74 dientes) fueron realizados con la técnica fija y el 75,1 % (223 dientes) con la técnica *Invisaling*<sup>®</sup>. En cuanto al tiempo de tratamiento fue desde 7 meses hasta los 27 meses en la técnica fija y desde los 9 meses hasta los 27 meses en la técnica *Invisaling*<sup>®</sup>.



**Figura 18.** Diagrama de cajas del tiempo de tratamiento según la técnica ortodóncica.

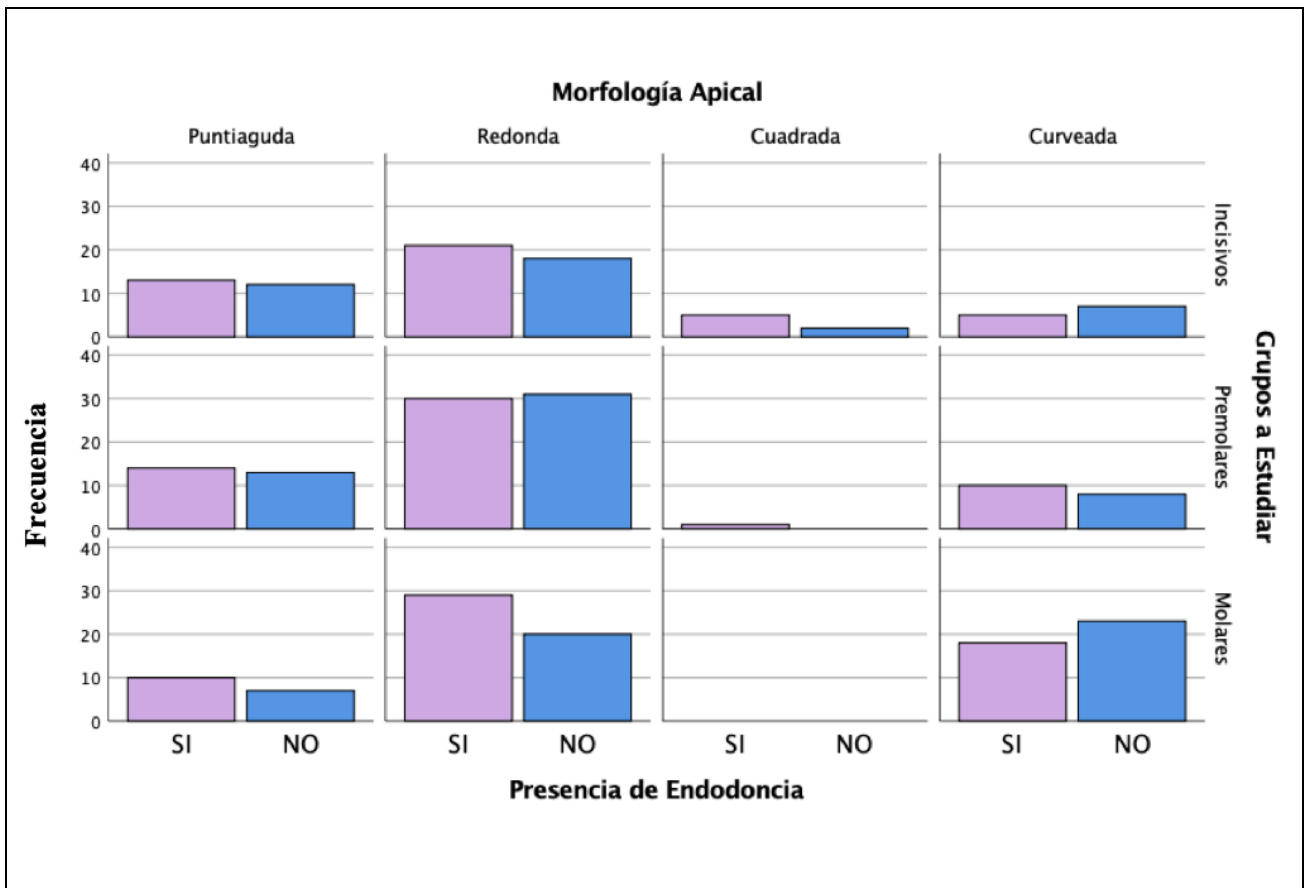
La presencia de tratamiento de endodoncia en los 297 dientes fue del 52,5% (156 dientes) para los endodonciados y 47,5% (141 dientes) los que no presentaron tratamiento de conducto. La frecuencia según los grupos a estudiar fue: 83 incisivos superiores (27,9%), 107 premolares superiores (36%) y 107 primeros - segundos molares superiores correspondiente al 36% de la muestra.

Según la clasificación molar se distribuyeron en: 176 dientes pertenecientes a pacientes con la clasificación I molar (59,3%), 105 dientes pertenecientes a la clase II molar (35,4%), y finalmente 16 dientes de la clase III molar (16%). De manera gráfica está representado en la figura 19.



**Figura 19.** Diagrama de la frecuencia de las variables: presencia de endodoncia, grupos a estudiar y clasificación molar de los pacientes de la muestra.

Adicionalmente a la presencia de endodoncia y a los grupos a estudiar, en la figura 20 podemos observar la frecuencia de la morfología apical cuya distribución fue: 69 dientes de forma puntiaguda (23,2%), 149 dientes con el ápice redondeado (50,2%), 8 dientes de forma cuadrada (2,7%), y finalmente 71 dientes con el ápice de forma curva, correspondiente al 23,9%.



**Figura 20.** Diagrama de la frecuencia de las variables: presencia de endodoncia, grupos a estudiar y morfología apical de los pacientes de la muestra.

### 8.2.3. Generación del modelo de regresión con las principales covariables.

En la tabla 8, podemos observar el porcentaje de cada una de las covariables y los factores que se aplicaron en el modelo multinomial de regresión logística.

**Tabla 8.** Distribución en función de las variables principales.

		N	Porcentaje (%)
Reabsorción	CASO: EARR > 4mm	11	3.7
	CONTROL: EARR <1mm	140	47.1
	SEMICONTROL: EARR 1-3.99mm	146	49.2
Presencia de endodoncia	SI	156	52.5
	NO	141	47.5
Grupos a estudiar	Incisivos	83	27.9
	Premolares	107	36
	Molares	107	36
Morfología apical	Puntiaguda	69	23.2
	Redonda	149	50.2
	Cuadrada	8	2.7
	Curveada	71	23.9
Total		297	100

*EARR: siglas en inglés de reabsorción radicular apical externa.*

Vemos en la tabla 9, que el modelo final se ajusta mejor que solo obteniendo el valor beta, esto lo muestra nuestro índice de Aiken (AIC) y Schwarz (BIC) que fueron menores al hacer la comparación.

**Tabla 9.** Información de ajuste de los modelos

Modelo	Criterios de ajuste de modelo			Pruebas de la razón de verosimilitud		
	AIC	normalizado	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Sólo intersección	494.450	501.838	490.450			
Final	206.923	273.410	170.923	319.527	16	0.00

*AIC: criterio de información de Akaike; gl: grados de libertad.*

La tabla 10, se muestra la bondad de la regresión multinomial con el ajuste de Pearson y la desviación. En este caso se obtuvo 1.000 de resultado que es mayor a 0.05, lo que indica un buen ajuste del modelo.

**Tabla 10.** Bondad de ajuste del modelo de regresión

	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Pearson	118375.821	576	0.000
Desvianza	170.923	576	1.000

*gl: grados de libertad.*

También se observa en la tabla 11 el Pseudo R cuadrado. Así en nuestro estudio, y tomando la corrección de Nagelkerke, vemos que el modelo final explica el 81,5% del cambio de la variable dependiente o del resultado de la reabsorción (caso, semicontrol y control), un valor excelente.

**Tabla 11.** Pseudo R cuadrado

Cox y Snell	0.659
Nagelkerke <sup>a</sup>	0.815
McFadden	0.651

*a: Se considera el valor de corrección de Nagelkerke para explicar el modelo final.*

En la tabla 12 de la razón de verosimilitud, nos indica la importancia de los predictores en el modelo de regresión. En este caso, *Reabsorción con tiempo de tratamiento de ortodoncia* predicen el modelo.

**Tabla 12.** Pruebas de la razón de verosimilitud del modelo reducido de regresión.

Efecto	Criterios de ajuste de modelo			Pruebas de la razón de verosimilitud		
	AIC	BIC	Logaritmo de la verosimilitud -2	Chi-cuadrado	gl	Sig.
Intersección	206.923	273.410	170.923	0.000	0	.
Tiempo de Tratamiento Ortodoncia	9261.570	9320.670	9229.570	9058.647	2	0.00
Presencia de Endodoncia	105.850	164.949	73.850	.	2	.
Grupos a Estudiar	36.867	88.579	8.867	.	4	.
Morfología Apical	37.029	81.354	13.029	.	6	.

*AIC: criterio de información de Akaike; BIC: criterio de información bayesiano; gl: grados de libertad.*

#### 8.2.4. Interpretación clínica de la predisposición a sufrir EARR

En la tabla 13, se muestra los valores de beta, Wald, significancia estadística y *Odds ratio* de cada variable de forma individual junto con la intersección de cada variable predictora. La variable de referencia es *Reabsorción Caso: >4mm*. El predictor, está contribuyendo significativamente a la variable dependiente que es nuestro valor de *Odds ratio*.

*Primer predictor:* La presencia de endodoncia, predice significativamente si la reabsorción es <1mm o no, con valores beta de -1.655 y Wald de 4.88, estadísticamente significativo. El *Odds ratio* es el efecto en la comparación de tener endodoncia y el no tener endodoncia. Esto nos indica que a si se realiza la endodoncia junto con el tratamiento ortodóntico, el paciente tiene 0.191 veces de más probabilidades de obtener una reabsorción <1mm. El *Odds ratio* nos

informa que, a medida que cambia el tener endodoncia o el no tener endodoncia, las probabilidades de tener reabsorción <1mm en comparación con no tener reabsorción es de 0.191. En otras palabras, las probabilidades de no tener reabsorción en comparación con tener reabsorción <1mm es de 1 en 0,19; es decir 5,24 veces.

*Segundo predictor:* Tener endodoncia en el sector incisivo maxilar, predice significativamente si la reabsorción es <1mm o no, con valores beta de -3.123 y Wald 5.849, estadísticamente significativo. Las probabilidades de no tener reabsorción en comparación con tener reabsorción <1mm es de 1 en 0,044; es decir 22,7 veces.

*Tercer predictor:* Tener endodoncia en el sector incisivo maxilar, predice significativamente si la reabsorción es entre 1-3,9mm o no, con valores beta de -3.055 y Wald 5.645, estadísticamente significativo. Las probabilidades de no tener reabsorción en comparación con tener reabsorción de 1-3,9mm es de 1 en 0,047; es decir 21,3 veces.

**Tabla 13. Regresión logística multinomial para EARR en dientes endodonciados y no endodonciados.**

	B(SE)	Wald	p-valor	Odds Ratio	95% IC para OR	
					Mínimo	Máximo
<b>EARR &lt; 1mm vs EARR &gt;4mm</b>						
Intersección de variables	12.187 (2.438)	24.995	0.000			
Meses de trat. de ortodoncia	0.063 (0.104)	0.362	0.548	1.065	0.868	1.306
Dientes con endodoncia <sup>a</sup>	-1.655 (0.749)	4.881	0.027	0.191	0.044	0.830
Dientes sin endodoncia	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.
Incisivos maxilares <sup>a</sup>	-3.123 (1.291)	5.849	0.016	0.044	0.004	0.553
Premolares superiores	-0.641 (1.436)	0.199	0.656	0.527	0.032	8.797
Molares superiores	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.
Morfología apical punteaguda	0.754 (1.330)	0.321	0.571	2.126	0.157	2.884
Morfología apical redondeada	1.419 (1.346)	1.112	0.292	4.134	0.296	5.781
Morfología apical cuadrada	-2.959 (1.921)	2.374	0.123	0.052	0.001	2.237
Morfología apical curva	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.
<b>EARR 1mm-3.9mm vs EARR &gt;4mm</b>						
Intersección de variables	6.639 (2.193)	9.168	0.002			
Meses de trat. de ortodoncia	0.088 (0.097)	0.827	0.363	1.092	0.904	1.319
Dientes con endodoncia	-0.879 (0.747)	1.382	0.240	0.415	0.096	1.797
Dientes sin endodoncia	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.
Incisivos maxilares <sup>a</sup>	-3.055 (1.286)	5.645	0.018	0.047	0.004	0.586
Premolares superiores	-0.367 (1.331)	0.076	0.783	0.693	0.051	9.415
Molares superiores	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.
Morfología apical punteaguda	-0.169 (1.130)	0.022	0.881	0.845	0.092	7.742
Morfología apical redondeada	0.664 (1.210)	0.301	0.583	1.942	0.181	2.079
Morfología apical cuadrada	-1.502 (3.307)	0.144	0.704	1.011	1.613	6.340
Morfología apical curva	0 <sup>b</sup>	.	.	.	.	.

IC: Intervalo de confianza; OR: Odds Ratio; a: p-valor (< 0.05); b: Este parámetro se establece en cero porque es redundante.

# Discusión

## 9. DISCUSIÓN

La complejidad de la etiología de las reabsorciones radiculares, y los efectos secundarios inherentes del tratamiento ortodóntico (Sameshima and Iglesias-Linares 2021), hacen que exista un gran interés en la caracterización de predictores clínicos y radiográficos. El presente trabajo trata de aportar evidencia científica, de que los dientes endodonciados pueden tener una predisposición diferente a presentar ERR secundaria a las fuerzas de ortodoncia, en comparación con su contralateral vital.

En la fase *in vitro*, únicamente se consideró analizar la detección de la *reabsorción radicular externa* (ERR) y no la *reabsorción radicular externa apical* (EARR), ya que ésta, se la contempla en la fase *in vivo*.

Según los resultados obtenidos en la primera fase, el tratamiento de endodoncia influye en la capacidad de distinguir la ERR. El CBCT resultó ser una técnica de mejor diagnóstico y más precisa que la DPR para ambos tipos de medición: estimación de la longitud del diente y evaluación de las lesiones de reabsorción radicular externa. Los resultados mostraron que, la detección de la ERR fue diferente en los dientes no endodónticos, analizados con CBCT, en comparación con los dientes con y sin tratamiento de conducto analizados con DPR.

En relación con el tipo de método radiográfico, algunos investigadores (Lima et al. 2016; Patel et al. 2009b) han concluido que la ERR en dientes con endodoncia se puede detectar con mayor facilidad y precisión mediante CBCT que con DPR. El DPR podría verse afectado en cierta medida por la distorsión, debido al posicionamiento o angulación incorrecta durante la proyección radiográfica. Sin embargo, en nuestra investigación, el diseño e implementación de un posicionador de ángulo digital para capturar imágenes DPR, aseguró que los factores de este tipo no alteren la secuencia de imágenes.

En un estudio clínico prospectivo, (Keerthana et al. 2021) compararon la precisión diagnóstica de la radiografía periapical y CBCT para detectar diferentes tipos de defectos de reabsorción radicular externa entre otras patologías endodónticas, en 74 pacientes con 112 dientes. Los

resultados que obtuvieron fue que no hubo diferencias significativas entre las dos modalidades de imagen para defectos de reabsorción y fracturas radiculares. Sin embargo, con la técnica CBCT no se pudo diagnosticar defectos óseos apico-marginales en el 33% de los dientes. Esto nos lleva a considerar, la realización de mas investigaciones para detectar adecuadamente la reabsorción radicular externa en etapas tempranas.

La metodología utilizada en esta primera fase fue similar a la propuesta por otros investigadores (Durack et al. 2011), quienes simularon la *reabsorción inflamatoria externa* en los incisivos mandibulares no endodonciados. En el nuestro estudio, incluimos dientes tratados endodónticamente para compararlos con dientes no endodónticos. Esta es la primera investigación *in vitro* hasta la fecha, que se comparara la detección de ERR en dientes no endodónticos y endodónticos usando CBCT y DPR. Es importante destacar que, en nuestro estudio, trabajamos con examinadores previamente capacitados y calibrados con experiencia en radiología dental y herramientas de software Horos. Como han argumentado varios autores (D'Addazio et al. 2011; Patel 2009), el factor de experiencia es de vital importancia durante la detección de ERR en ambos tipos de proyección, DPR y CBCT, y DPR en particular.

Al mismo tiempo, en nuestra investigación se empleó un modelo experimental ampliamente utilizado y basado en reabsorciones radiculares producidas por fresas redondas (Bernardes et al. 2012; Takeshita et al. 2015; Westphalen et al. 2004). Se eligieron tres tamaños de reabsorciones radiculares para hacer comparaciones y particularmente poder detectarlas cuando se utilizó la fresa de menor calibre. Según los resultados obtenidos en la primera fase de nuestro estudio, el CBCT fue una mejor técnica de diagnóstico que DPR. Nuestros hallazgos están corroborados por una serie de estudios médicos (Creanga et al. 2015; D'Addazio et al. 2011; Durack et al. 2011; Lima et al. 2016; Tsai et al. 2012), aunque las diferencias que observamos entre la detección de ERR en dientes no endodónticos y endodónticos son, a nuestro leal saber y entender, una novedad en el campo.

En la investigación *in vitro* que desarrollamos, se observó que el diagnóstico de ERR en la técnica DPR fue un 18,5% menos sensible para los dientes tratados con endodoncia, en comparación con los dientes no endodónticos. Mientras que la disminución de la sensibilidad

fue aún mas marcada para las lesiones ERR mas pequeñas, con un 27,8 y un 25% menos de sensibilidad, respectivamente. Especulamos que estos resultados se deben al material intraconducto de los dientes endodónticos, que produce una mayor radiopacidad radicular que en los dientes no endodónticos.

Además, en la técnica DPR se diagnostica en imágenes bidimensionales y por todas las razones mencionadas antes, es especialmente difícil detectar ERR en imágenes DPR (Alhadainy et al. 2019). En todos nuestros experimentos de imágenes 2D, solo se detectaron reabsorciones palatinas en dientes no endodónticos y endodónticos con la fresa de mayor calibre. En general, la detección de ERR en dientes tratados endodónticamente, puede estar infradiagnosticada y se requiere una inspección mas cuidadosa que cuando se detecta ERR en dientes vitales (Keerthana et al. 2021). Por consiguiente, al realizar la técnica DPR en el tratamiento de rutina, recomendamos realizar un CBCT para confirmar el diagnóstico cuando se sospeche una ERR.

Al realizar esta investigación *in vitro*, nos pudimos percatar que existen pocos estudios, que evalúan la influencia del material de obturación radicular en el diagnóstico de ERR mediante imágenes radiológicas. Hubiera sido deseable utilizar dientes incisivos superiores naturales en esta primera fase, pero es el que se lesiona con mayor frecuencia (Durack et al. 2011). Sin embargo, en nuestro estudio se utilizaron incisivos maxilares sintéticos, cuya radiopacidad y radiolucidez coincidían con el tejido dentario. Esto fue verificado, por un experto en radiología al comparar las imágenes DICOM de un diente ex vivo, con un diente aleatorio perteneciente a esta investigación. Este hecho implica que los dientes sintéticos en este estudio fueron satisfactorios.

Una de las principales ventajas del uso de dientes sintéticos, es que no se requiere la autorización del comité de ética, lo que implica una reducción de tiempo para los investigadores en este campo. Hasta donde sabemos, no se ha informado anteriormente sobre el uso de dientes sintéticos. Más en detalle, este es el primer estudio *in vitro* que ha desarrollado incisivos maxilares sintéticos.

En nuestra investigación, la comparación entre los dientes con presencia y ausencia de tratamiento de conducto hizo que la ERR fuera claramente visible en los dientes no endodónticos. Una superficie tan radiopaca como la de un diente endodonciado, hace que la inspección visual de las estructuras adyacentes sea muy difícil. En general, la detección de ERR en dientes tratados con endodoncia, requiere más investigación que la detección de ERR en dientes no endodónticos (Khan et al. 2021). Además, varios de los factores relevantes para la endodoncia, podrían incluirse en la detección de ERR por imágenes. Por tanto, deberían realizarse en el futuro estudios prospectivos más específicos.

Con respecto a los resultados obtenidos en la segunda fase, se observó que la presencia de endodoncia en los tres grupos evaluados, (incisivos, premolares y molares superiores) predicen significativamente la probabilidad de presentar *reabsorciones radiculares apicales externas* (EARR) menor a 1mm y adicionalmente en los incisivos superiores endodonciados presentan una probabilidad de tener EARR de 1mm a 3,9mm.

Dos aspectos principales: físicos y ópticos, ambos pueden afectar la percepción de EARR cuando existe un tratamiento de conducto. Entre los factores *físicos*, algunos autores (Demiralp et al. 2012) han señalado que la observación diferencial de imágenes depende del tiempo de exposición, el tiempo de rayos X y el equipo radiográfico utilizado. La fuente de radiación también puede afectar la radiopacidad en la detección y el diagnóstico de EARR. La densidad de los materiales que generan ruido radiográfico como: rellenos, postes metálicos, implantes y restauraciones, pueden contribuir a la distorsión radiográfica (Demiralp et al. 2012). La alta densidad de gutapercha interfiere con el nodo de radiación más que en los dientes no endodónticos.

Desde una perspectiva *óptica*, la calidad de la imagen radiográfica puede verse gravemente afectada por las angulaciones y torsiones dentales (Venskutonis et al. 2014). También se debe considerar la ubicación y la forma de la EARR. El tipo de hueso compacto en la mandíbula y el hueso esponjoso en el maxilar superior también afecta el diagnóstico potencial de EARR. Investigadores (Saidi et al. 2015; Venskutonis et al. 2014) han afirmado que las lesiones confinadas al hueso esponjoso son más difíciles de detectar de forma precoz. Además, que la

EARR es la pérdida de tejido mineral influenciada por la acción de las células de los osteoclastos. Algunos autores han mencionado (Razi et al. 2012) que los cambios en la densidad solo serán visibles en las radiografías periapicales después de una reabsorción considerable. En un estudio *in vivo* (Saidi et al. 2015), éstos investigadores compararon imágenes de DPR y CBCT de 156 dientes humanos tratados endodónticamente y los resultados mostraron que el proceso cigomático del maxilar podría limitar la identificación de lesiones radiográficas periapicales. Investigadores (Goller Bulut and Uğur Aydın 2019), realizaron un estudio *in vitro* el cual comprendía en analizar la reabsorción radicular de 15 dientes anteriores superiores con una sola raíz y un solo conducto. Los autores argumentaron que del 60 al 70% del hueso trabecular mineralizado tenía que perderse antes de que se pudiera detectar la reabsorción en una radiografía, por lo que las imágenes DPR deben usarse con precaución a los efectos de un diagnóstico de EARR.

En un estudio realizado a 38 pacientes, investigadores (Llamas-Carreras et al. 2012), compararon un incisivo endodonciado con su contralateral vital. Realizaron mediciones en radiografías panorámicas digitales antes y después del tratamiento ortodóntico. El resultado fue que no hubo diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la severidad o cuantificación de la EARR, durante el movimiento de ortodoncia, entre los incisivos endodonciados y los dientes contralaterales con pulpas vitales (Llamas-Carreras et al. 2012). Sin embargo, 26 pacientes de la mencionada investigación mostraron mayor reabsorción del incisivo tratado endodónticamente que su diente vital homólogo. Este resultado coincide con nuestros hallazgos de que los incisivos superiores endodonciados tienen mayor predisposición a presentar EARR post-ortodóntica.

Algunos autores (Demiralp et al. 2012), compararon diferentes métodos radiográficos en dientes tratados con endodoncia en 120 dientes mandibulares extraídos. Incluyeron la radiografía panorámica por su uso frecuente en la práctica clínica, ya que se tiene una amplia cobertura tanto de los maxilares como de los dientes, sin los detalles anatómicos que se pueden percibir en radiografías periapicales intraorales. Efectivamente, en nuestro estudio *in vivo*, consideramos realizar las mediciones en la ortopantomografía, ya que un recurso habitual previo al tratamiento ortodóntico.

En una revisión sistemática (Walker et al. 2013), en el cual se incluían 167 artículos científicos, se compararon radiográficamente el grado de EARR inducida por ortodoncia en dientes endodonciados con su contralateral vital. Según la evidencia disponible, llegaron a la conclusión que los dientes con tratamiento de conducto no parecían ser más susceptibles a la *reabsorción radicular apical externa* inducida por ortodoncia que los dientes vitales análogos. Estos resultados difieren de nuestros hallazgos obtenidos.

Posteriormente, a partir de un estudio *in vivo* (Venskutonis et al. 2014) realizado en 35 dientes tratados endodónticamente, se concluyó que la lesión de reabsorción radicular tenía que constituir casi del 50% al 60% de la pérdida mineral ósea antes de que pudiera detectarse radiográficamente. En esto coincidimos, ya que la obturación del conducto radicular puede ser un factor potencial de error en el diagnóstico de la EARR.

Los autores (Lee and Lee 2016), realizaron una investigación con 35 pacientes que tenían un diente con tratamiento de conducto previo a la realización de la ortodoncia. Evaluaron radiografías antes y después del tratamiento de ortodoncia. Estos autores, concluyeron que los dientes con obturación radicular pueden estar asociados a una EARR significativamente menor que los contralaterales de pulpa vital. También sugieren que el tratamiento de conducto puede considerarse para disminuir o detener la reabsorción radicular cuando detectamos reabsorción severa durante el tratamiento de ortodoncia. Además, esto coincide con los investigadores (Khan et al. 2018) quienes evaluaron la *reabsorción radicular apical externa* en ortopantomografías pre- y postratamiento de ortodoncia en 30 pacientes. Concluyeron que la EARR pareció ser mayor en piezas vitales en comparación con las piezas que presentaban tratamiento de conducto. Asimismo, las mujeres presentaron mayor predisposición a presentar EARR que en los hombres, mediante método de medición propuesto por (Linge and Linge 1991), el cual también fue empleado en nuestro estudio. Sin embargo, en el presente trabajo de investigación observamos que la presencia de tratamiento de conducto en dientes superiores, hace que exista una mayor predisposición a sufrir una reabsorción menor a 1mm con un grado de probabilidad de 22,7 veces. Adicionalmente la predisposición de EARR de 1mm hasta 3,9mm es de 21,3 veces en el sector incisivo superior cuando presenta endodoncia

y que han sido sometidos a fuerzas ortodónticas. También en la literatura hemos encontrado, que puede deberse a los factores posibles de predisposición a EARR, en los incisivos superiores postratamiento de ortodoncia entre los cuales podrían ser: extracción de premolares, aumento del resalte al inicio del tratamiento y raíces dilaceradas (Fernandes et al. 2019). En nuestra investigación no se encontró estos factores mencionados como predicción de EARR, ya que no se realizaron extracciones dentarias como parte del tratamiento ortodóntico y no se desplazaron mucho los ápices radiculares.

En el estudio de (Kolcuoğlu and Oz 2020), 16 pacientes de ortodoncia que requirieron extracciones dentarias fueron incluidos en su investigación. La muestra comprendió en premolares endodonciados y el contralateral vital cuyos premolares fueron extraídos 8 semanas después de la aplicación de fuerzas ortodónticas. Las imágenes fueron realizadas en CBCT, llegando a la conclusión de que los dientes con obturación radicular muestran una reabsorción radicular ortodóntica significativamente menor que los dientes vitales. Además, la literatura nos reporta de un estudio *in vivo* de (Kurnaz and Buyukcavus 2021), quienes compararon la cantidad de reabsorción que se produjo en molares inferiores de 35 pacientes que se les realizó extracción dentaria de premolares y 34 pacientes sin extracción que fueron sometidos a tratamiento ortodóntico. Emplearon ortopantomografías digitales y analizaron los dientes con obturación radicular y sus dientes contralaterales con pulpa vital del mismo paciente antes y después del tratamiento. Concluyeron que la reabsorción radicular externa en piezas endodonciadas puede no ser un asunto importante en la planificación del tratamiento de ortodoncia. Además, encontraron una diferencia estadísticamente significativa en la reabsorción radicular en los dientes con endodonciados y vitales en los pacientes cuyo plan de tratamiento de ortodoncia implicaba extracciones dentarias.

Lo destacable de nuestra investigación es que, el factor cantidad de movimiento de desplazamiento apical no es algo que haya podido influir en esta muestra ya que, a los pacientes no se le realizaron extracciones dentarias dentro de su plan de tratamiento ortodóntico. También consideramos no estudiar la reabsorción radicular apical externa de las piezas mandibulares, ya que, la alta densidad de la región posterior de la mandíbula, repercute en la

dificultad de cambios de densidad menores provocadas por la reabsorción radicular externa (Razi et al. 2012).

En un estudio de cohorte clínico prospectivo (Pustulka et al. 2021), en el que participaron 34 pacientes y se evaluaron 88 incisivos y premolares endodonciados con su contralateral vital. Observaron radiográficamente en periapicales intraorales, que el uso de fuerzas de ortodoncia adicionales aumenta el riesgo de EARR por el ensanchamiento del ligamento periodontal. Concluyeron al igual que nuestro estudio que los dientes anteriores, predominantemente incisivos son mucho más susceptibles a presentar EARR que los premolares.

En un estudio transversal realizado a 100 pacientes evaluados a través de radiografías panorámicas y periapicales, se obtuvo como resultado que el diente más comúnmente involucrado con la reabsorción radicular eran los premolares maxilares, seguidos por los incisivos y finalmente por los molares (Khan et al. 2021). Estos resultados difieren de nuestro estudio, ya que encontramos que de los 3 grupos evaluados (incisivos, premolares y molares superiores), únicamente los incisivos maxilares presentan susceptibilidad a EARR de entre 1 a 3,9mm.

Finalmente, en la presente investigación se evaluó la *reabsorción radicular apical externa*, por medio de radiografías panorámicas, las cuales pueden tener un cierto grado de error debido a la magnificación o minimización de la imagen (McKee et al. 2002). Esto se traduce a las diferencias en el aumento tanto en el eje horizontal, como en el eje vertical de la imagen, descrito por (Ladeira et al. 2010). Sin embargo, algunos autores (Pandis et al. 2008; Sharab et al. 2015) consideran que se puede emplear la teleradiografía y la ortopantomografía para evaluar la reabsorción radicular, ya que el paciente recibe menor cantidad de radiación que con una tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) (Samandara et al. 2018; Yi et al. 2017). Además, si se utilizara la radiografía periapical para medir la reabsorción, esta podría verse influenciada por la variabilidad de la morfología dentaria (Katona 2006). Por otro lado, existen limitaciones inherentes a la toma de las películas radiográficas periapicales, ya que el objeto debe estar dentro del canal focal, y debe hacerse con precaución para evitar distorsiones de la angulación y la ampliación de la raíz (McKee et al. 2002). El grado de distorsión de las

estructuras anatómicas podría variar del 3,4% para la radiografía periapical y más del 14% para la radiografía panorámica (Lazzerini et al. 1996; Lo Giudice et al. 2018). Un aspecto a considerar es la variación genética que influye en el riesgo de EARR en pacientes sometidos al tratamiento ortodóntico. En una revisión sistemática de 201 artículos realizada por (Pinheiro et al. 2021), concluyeron que los análisis narrativos de estudios individuales demostraron una asociación de variedad de genes con heterogeneidad metodológica entre los estudios. Cuando analizaron cuantitativamente a través de un metanálisis, solo pudieron demostrar la participación de P2RX7 (rs208294) en el riesgo de los pacientes de ortodoncia con reabsorción radicular apical externa, pero con una certeza de evidencia muy baja. Esta evidencia nos hace reflexionar en la necesidad de realizar más estudios para determinar el papel de la variación genética en el riesgo de EARR de los pacientes durante el tratamiento de ortodoncia. Por lo tanto, nos queda un largo camino y continuaremos con esta investigación en el cual se contemplará el análisis genético de los pacientes para ver la interacción genética y radiográfica de EARR en piezas endodonciadas sometidas a fuerzas ortodónticas.

# Conclusiones

## 10. CONCLUSIONES

1. La presencia de material de obturación radicular modifica la capacidad de diagnóstico de ERR, haciendo que el uso de DPR sea menos preciso para la detección y el diagnóstico que en los dientes no endodónticos.
2. Tanto la técnica CBCT como el DPR, son buenos métodos de diagnóstico para ERR. En cuanto a la calidad de las pruebas diagnósticas, el CBCT obtuvo un LR-0.00 mientras que el DPR de los dientes endodónticos obtuvo un LR-0.19.
3. La presencia de endodoncia en los tres grupos evaluados, (incisivos, premolares y molares superiores) predice significativamente la probabilidad de presentar EARR (< 1mm) en el diente endodonciado en comparación con el diente vital.
4. El movimiento ortodóntico de incisivos superiores endodonciados en comparación con sus homólogos vitales, presenta un riesgo aumentado de 21,3 veces de sufrir EARR de 1mm a 3,9mm.

## 11. CONCLUSIONS

1. Root canal filling material influences diagnostic capability in ERR. The presence of intracanal material, reduces the detection and diagnosis of ERR by DPR in teeth with root canal treatment.
2. The CBCT and the DPR technique are good diagnostic methods for ERR. Regarding the quality of the diagnostic tests, the CBCT obtained an *LR*-0.00 while the DPR of the endodontic teeth obtained an *LR*-0.19.
3. The presence of endodontics in the three groups evaluated (upper incisors, premolars and molars) significantly predict the probability of presenting EARR (< 1mm) in endodontic teeth versus vital teeth.
4. Orthodontic movement of endodontically treated maxillary incisors compared to their vital counterparts, presents a 21,3-fold increased risk of EARR from 1mm to 3,9mm.

# Referencias bibliográficas

## 12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfuriji S, Alhazmi N, Alhamlan N, Al-Ehaideb A, Alruwaiti M, Alkatheeri N, Geevarghese A. 2014. The effect of orthodontic therapy on periodontal health: A review of the literature. *International journal of dentistry*. 2014.
- Alhadainy HA, Flores-Mir C, Abdel-Karim AH, Crossman J, El-Bialy T. 2019. Orthodontic-induced external root resorption of endodontically treated teeth: A meta-analysis. *Journal of endodontics*. 45(5):483-489.
- Amuk M, Gul Amuk N, Ozturk T. 2021. Effects of root-cortex relationship, root shape, and impaction side on treatment duration and root resorption of impacted canines. *European journal of orthodontics*.
- Artun J, Van 't Hullenaar R, Doppel D, Kuijpers-Jagtman AM. 2009. Identification of orthodontic patients at risk of severe apical root resorption. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 135(4):448-455.
- Bayir F, Bolat Gumus E. 2021. External apical root resorption after orthodontic treatment: Incidence, severity and risk factors. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 15(2):100-105.
- Benjamini Y, Yekutieli D. 2001. The control of the false discovery rate in multiple testing under dependency. *The Annals of Statistics*. 29(4):1165-1188.
- Bernardes RA, de Paulo RS, Pereira LO, Duarte MA, Ordinola-Zapata R, de Azevedo JR. 2012. Comparative study of cone beam computed tomography and intraoral periapical radiographs in diagnosis of lingual-simulated external root resorptions. *Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology*. 28(4):268-272.
- Brezniak N, Wasserstein A. 2002a. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part i: The basic science aspects. *Angle Orthod*. 72(2):175-179.
- Brezniak N, Wasserstein A. 2002b. Orthodontically induced inflammatory root resorption. Part ii: The clinical aspects. *Angle Orthod*. 72(2):180-184.

- Castro I, Valladares-Neto J, Estrela C. 2015. Contribution of cone beam computed tomography to the detection of apical root resorption after orthodontic treatment in root-filled and vital teeth. *Angle Orthod.* 85(5):771-776.
- Cha C, Huang D, Kang Q, Yin M, Yan X. 2021. The effects of dehiscence and fenestration before orthodontic treatment on external apical root resorption in maxillary incisors. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 160(6):814-824.
- Ciurla A, Szymańska J, Płachno BJ, Bogucka-Kocka A. 2021. Polymorphisms of encoding genes *illrn* and *p2rx7* in apical root resorption in patients after orthodontic treatment. *International journal of molecular sciences.* 22(2).
- Creanga AG, Geha H, Sankar V, Teixeira FB, McMahan CA, Noujeim M. 2015. Accuracy of digital periapical radiography and cone-beam computed tomography in detecting external root resorption. *Imaging science in dentistry.* 45(3):153-158.
- D'Addazio PSS, Campos CN, Özcan M, Teixeira HGC, Passoni RM, Carvalho ACP. 2011. A comparative study between cone-beam computed tomography and periapical radiographs in the diagnosis of simulated endodontic complications. *International endodontic journal.* 44(3):218-224.
- da Silveira PF, Vizzotto MB, Montagner F, da Silveira HL, da Silveira HE. 2014. Development of a new in vitro methodology to simulate internal root resorption. *Journal of endodontics.* 40(2):211-216.
- Darcey J, Qualtrough A. 2013. Resorption: Part 1. Pathology, classification and aetiology. *British dental journal.* 214(9):439-451.
- Deliga Schröder AG, Westphalen FH, Schröder JC, Fernandes Â, Ditzel Westphalen VP. 2019. Accuracy of different imaging cbct systems for the detection of natural external radicular resorption cavities: An ex vivo study. *Journal of endodontics.* 45(6):761-767.
- Demiralp KÖ, Kamburoğlu K, Güngör K, Yüksel S, Demiralp G, Uçok O. 2012. Assessment of endodontically treated teeth by using different radiographic methods: An ex vivo comparison between cbct and other radiographic techniques. *Imaging science in dentistry.* 42(3):129-137.
- Dos Santos CCO, Bellini-Pereira SA, Medina MCG, Normando D. 2021. Allergies/asthma and root resorption: A systematic review. *Progress in orthodontics.* 22(1):8-8.

- Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. 2011. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *International endodontic journal*. 44(2):136-147.
- Ericson S, Kurol J. 2000. Resorption of incisors after ectopic eruption of maxillary canines: A ct study. *The Angle orthodontist*. 70(6):415-423.
- Farman AG, Scarfe WC. 2006. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 130(2):257-265.
- Feiglin B. 1986. Root resorption. *Australian dental journal*. 31(1):12-22.
- Feller L, Khammissa RA, Thomadakis G, Fourie J, Lemmer J. 2016. Apical external root resorption and repair in orthodontic tooth movement: Biological events. *BioMed research international*. 2016.
- Fernandes LQP, Figueiredo NC, Montalvany Antonucci CC, Lages EMB, Andrade I, Jr., Capelli Junior J. 2019. Predisposing factors for external apical root resorption associated with orthodontic treatment. *Korean journal of orthodontics*. 49(5):310-318.
- Fuss Z, Tsesis I, Lin S. 2003. Root resorption--diagnosis, classification and treatment choices based on stimulation factors. *Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology*. 19(4):175-182.
- Gegler A, Fontanella V. 2008. In vitro evaluation of a method for obtaining periapical radiographs for diagnosis of external apical root resorption. *European journal of orthodontics*. 30(3):315-319.
- Goller Bulut D, Uğur Aydın Z. 2019. The impact of different voxels and exposure parameters of cbct for the assessment of external root resorptions: A phantom study. *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc*. 45(2):146-153.
- Haque S, Zakir M. 2019. The effects of orthodontic tooth movement in endodontically treated teeth. *Bangladesh Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.12-15.

- Harris EF, Butler ML. 1992. Patterns of incisor root resorption before and after orthodontic correction in cases with anterior open bites. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 101(2):112-119.
- Heithersay GS. 2007. Management of tooth resorption. *Australian dental journal.* 52(1 Suppl):S105-121.
- Iglesias-Linares A, Hartsfield JK, Jr. 2017. Cellular and molecular pathways leading to external root resorption. *Journal of dental research.* 96(2):145-152.
- Iglesias-Linares A, Yanez-Vico RM, Ballesta S, Ortiz-Ariza E, Mendoza-Mendoza A, Perea E, Solano-Reina E. 2012a. Interleukin 1 gene cluster snps (rs1800587, rs1143634) influences post-orthodontic root resorption in endodontic and their contralateral vital control teeth differently. *International endodontic journal.* 45(11):1018-1026.
- Iglesias-Linares A, Yañez-Vico R-M, Ortiz-Ariza E, Ballesta S, Mendoza-Mendoza A, Perea E, Solano-Reina E. 2012b. Postorthodontic external root resorption in root-filled teeth is influenced by interleukin-1 $\beta$  polymorphism. *Journal of endodontics.* 38(3):283-287.
- Iglesias-Linares A, Yañez-Vico RM, Ballesta S, Ortiz-Ariza E, Mendoza-Mendoza A, Perea E, Solano-Reina E. 2012c. Interleukin 1 gene cluster snps (rs1800587, rs1143634) influences post-orthodontic root resorption in endodontic and their contralateral vital control teeth differently. *International endodontic journal.* 45(11):1018-1026.
- Ioannidou-Marathiotou I, Zafeiriadis AA, Papadopoulos MA. 2013. Root resorption of endodontically treated teeth following orthodontic treatment: A meta-analysis. *Clinical oral investigations.* 17(7):1733-1744.
- Jonsson A, Malmgren O, Levander E. 2007. Long-term follow-up of tooth mobility in maxillary incisors with orthodontically induced apical root resorption. *European journal of orthodontics.* 29(5):482-487.
- Jung Y-H, Cho B-H. 2011. External root resorption after orthodontic treatment: A study of contributing factors. *Imaging science in dentistry.* 41(1):17-21.
- Kapralos V, Koutroulis A, Irinakis E, Kouros P, Lyroudia K, Pitas I, Mikrogeorgis G. 2020. Digital subtraction radiography in detection of vertical root fractures: Accuracy

- evaluation for root canal filling, fracture orientation and width variables. An ex-vivo study. *Clinical oral investigations*. 24(10):3671-3681.
- Katona TR. 2006. Flaws in root resorption assessment algorithms: Role of tooth shape. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 130(6):698.e619-698.e627.
- Keerthana G, Singh N, Yadav R, Duhan J, Tewari S, Gupta A, Sangwan P, Mittal S. 2021. Comparative analysis of the accuracy of periapical radiography and cone-beam computed tomography for diagnosing complex endodontic pathoses using a gold standard reference - a prospective clinical study. *International endodontic journal*. 54(9):1448-1461.
- Khan AR, Fida M, Shaikh A. 2018. Evaluation of apical root resorption in endodontically treated and vital teeth in adult orthodontic subjects. *Journal of Ayub Medical College, Abbottabad : JAMC*. 30(4):506-510.
- Khan RA, Kumar S, Hassan N, Anand B, Mazhar S, Anjan R. 2021. Root resorption of endodontically treated teeth following orthodontic treatment: A cross-sectional study. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*. 13(Suppl 2):S1306-s1308.
- Kolcuoğlu K, Oz AZ. 2020. Comparison of orthodontic root resorption of root-filled and vital teeth using micro-computed tomography. *The Angle orthodontist*. 90(1):56-62.
- Koo TK, Li MY. 2016. A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *J Chiropr Med*. 15(2):155-163.
- Kurnaz S, Buyukcavus MH. 2021. External root resorption in root-filled and vital teeth after extraction and non-extraction orthodontic treatments: A split-mouth retrospective study. *Acta odontologica Scandinavica*. 79(4):282-288.
- Kurol J, Owman-Moll P, Lundgren D. 1996. Time-related root resorption after application of a controlled continuous orthodontic force. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 110(3):303-310.
- Ladeira DB, Cruz AD, Almeida SM, Bóscolo FN. 2010. Evaluation of the panoramic image formation in different anatomic positions. *Brazilian dental journal*. 21(5):458-462.

- Lazzerini F, Minorati D, Nessi R, Gagliani M, Uslenghi CM. 1996. The measurement parameters in dental radiography: A comparison between traditional and digital technics. *Radiol Med.* 91(4):364-369.
- Lee YJ, Lee TY. 2016. External root resorption during orthodontic treatment in root-filled teeth and contralateral teeth with vital pulp: A clinical study of contributing factors. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 149(1):84-91.
- Levander E, Malmgren O. 1988. Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: A study of upper incisors. *European journal of orthodontics.* 10(1):30-38.
- Lima TF, Gamba TO, Zaia AA, Soares AJ. 2016. Evaluation of cone beam computed tomography and periapical radiography in the diagnosis of root resorption. *Australian dental journal.* 61(4):425-431.
- Lin S, Moreinos D, Kaufman AY, Abbott PV. 2022. Tooth resorption - part 1: The evolvement, rationales and controversies of tooth resorption. *Dental traumatology : official publication of International Association for Dental Traumatology.*
- Linge L, Linge BO. 1991. Patient characteristics and treatment variables associated with apical root resorption during orthodontic treatment. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics.* 99(1):35-43.
- Llamas-Carreras JM, Amarilla A, Espinar-Escalona E, Castellanos-Cosano L, Martín-González J, Sánchez-Domínguez B, López-Frías FJ. 2012. External apical root resorption in maxillary root-filled incisors after orthodontic treatment: A split-mouth design study. *Medicina oral, patologia oral y cirugía bucal.* 17(3):e523-527.
- Lo Giudice R, Nicita F, Puleio F, Alibrandi A, Cervino G, Lizio AS, Pantaleo G. 2018. Accuracy of periapical radiography and cbct in endodontic evaluation. *International journal of dentistry.* 2018:2514243.
- Marques LS, Ramos-Jorge ML, Rey AC, Armond MC, de Oliveira Ruellas AC. 2010. Severe root resorption in orthodontic patients treated with the edgewise method: Prevalence and predictive factors. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 137(3):384-388.

- Mavridou AM, Bergmans L, Barendregt D, Lambrechts P. 2017. Descriptive analysis of factors associated with external cervical resorption. *Journal of endodontics*. 43(10):1602-1610.
- McGee M. 2018. Case for omitting tied observations in the two-sample t-test and the wilcoxon-mann-whitney test. *PloS one*. 13(7):e0200837.
- McKee IW, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Glover KE, Major PW. 2002. The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 121(2):166-175; quiz 192.
- Mirabella AD, Artun J. 1995. Risk factors for apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 108(1):48-55.
- Mirabella AD, Årtun J. 1995. Prevalence and severity of apical root resorption of maxillary anterior teeth in adult orthodontic patients. *European journal of orthodontics*. 17(2):93-99.
- Mol A, Balasundaram A. 2008. In vitro cone beam computed tomography imaging of periodontal bone. *Dento maxillo facial radiology*. 37(6):319-324.
- Monardes H, Lolas C, Aravena J, González H, Abarca J. 2016. Evaluación del tratamiento endodóntico y su relación con el tipo y la calidad de la restauración definitiva. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*. 9(2):108-113.
- Motokawa M, Sasamoto T, Kaku M, Kawata T, Matsuda Y, Terao A, Tanne K. 2012. Association between root resorption incident to orthodontic treatment and treatment factors. *The European Journal of Orthodontics*. 34(3):350-356.
- Ne RF, Witherspoon DE, Gutmann JL. 1999. Tooth resorption. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*. 30(1):9-25.
- Nhata J, Machado R, Vansan LP, Batista A, Sidney G, Rosa TP, Leal Silva EJ. 2014. Micro-computed tomography and bond strength analysis of different root canal filling techniques. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*. 25(6):698-701.

- Nowrin SA, Jaafar S, Ab Rahman N, Basri R, Alam MK, Shahid F. 2018. Association between genetic polymorphisms and external apical root resorption: A systematic review and meta-analysis. *Korean journal of orthodontics*. 48(6):395-404.
- Pandis N, Nasika M, Polychronopoulou A, Eliades T. 2008. External apical root resorption in patients treated with conventional and self-ligating brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 134(5):646-651.
- Parrales-Bravo C, Iglesias-Linares A. 2021. Simulated external root resorption detection through two diagnostic methods in nonendodontically and endodontically treated teeth: In vitro study. *International Federation of Endodontic Associations (IFEA). WCE*.
- Patel S. 2009. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *International endodontic journal*. 42(6):463-475.
- Patel S, Dawood A, Mannocci F, Wilson R, Pitt Ford T. 2009a. Detection of periapical bone defects in human jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography. *International endodontic journal*. 42(6):507-515.
- Patel S, Dawood A, Wilson R, Horner K, Mannocci F. 2009b. The detection and management of root resorption lesions using intraoral radiography and cone beam computed tomography - an in vivo investigation. *International endodontic journal*. 42(9):831-838.
- Patel S, Ford TP. 2007. Is the resorption external or internal? *Dental update*. 34(4):218-220, 222, 224-216, 229.
- Patel S, Saberi N. 2018. The ins and outs of root resorption. *British dental journal*. 224(9):691-699.
- Pinheiro LHM, Guimarães LS, Antunes LS, Küchler EC, Kirschneck C, Antunes LAA. 2021. Genetic variation involved in the risk to external apical root resorption in orthodontic patients: A systematic review. *Clinical oral investigations*. 25(10):5613-5627.
- Pustulka K, Trzcionka A, Dziedzic A, Skaba D, Tanasiewicz M. 2021. The radiological assessment of root features and periodontal structures in endodontically treated teeth subjected to forces generated by fixed orthodontic appliances. A prospective, clinical cohort study. *J Clin Med*. 10(10).
- Razi T, Mohammadi A, Ghojzadeh M. 2012. Comparison of accuracy of conventional periapical radiography and direct digital subtractions radiography with or without

- image enhancement in the diagnosis of density changes. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 6(2):54-58.
- Sacomanno S, Passarelli PC, Oliva B, Grippaudo C. 2018. Comparison between two radiological methods for assessment of tooth root resorption: An in vitro study. *BioMed research international*. 2018:5152172-5152172.
- Saidi A, Naaman A, Zogheib C. 2015. Accuracy of cone-beam computed tomography and periapical radiography in endodontically treated teeth evaluation: A five-year retrospective study. *Journal of international oral health : JIOH*. 7(3):15-19.
- Samandara A, Ioannidou-Marathiotou I, Kavvadia-Tsatala S, Papadopoulos MA, Papageorgiou SN. 2018. Evaluation of orthodontically induced external root resorption following orthodontic treatment using cone beam computed tomography (cbct): A systematic review and meta-analysis. *European journal of orthodontics*. 41(1):67-79.
- Sameshima GT, Iglesias-Linares A. 2021. Orthodontic root resorption. *Journal of the World Federation of Orthodontists*. 10(4):135-143.
- Sharab LY, Morford LA, Dempsey J, Falcão-Alencar G, Mason A, Jacobson E, Kluemper GT, Macri JV, Hartsfield Jr JK. 2015. Genetic and treatment-related risk factors associated with external apical root resorption (earr) concurrent with orthodontia. *Orthodontics & craniofacial research*. 18(S1):71-82.
- Sondeijker CFW, Lamberts AA, Beckmann SH, Kuitert RB, van Westing K, Persoon S, Kuijpers-Jagtman AM. 2020a. Development of a clinical practice guideline for orthodontically induced external apical root resorption. *European journal of orthodontics*. 42(2):115-124.
- Sondeijker CFW, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. 2020b. Root resorption as a result of orthodontic treatment. *Nederlands tijdschrift voor tandheelkunde*. 127(12):691-698.
- Sousa Melo SL, Vasconcelos KF, Holton N, Allareddy V, Tabchoury CPM, Haiter-Neto F, Ruprecht A. 2017. Impact of cone-beam computed tomography scan mode on the diagnostic yield of chemically simulated external root resorption. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 151(6):1073-1082.

- Spin-Neto R, Kruse C, Hermann L, Kirkevang LL, Wenzel A. 2020. Impact of motion artefacts and motion-artefact correction on diagnostic accuracy of apical periodontitis in cbct images: An ex vivo study in human cadavers. *International endodontic journal*. n/a(n/a).
- Spurrier SW, Hall SH, Joondeph DR, Shapiro PA, Riedel RA. 1990. A comparison of apical root resorption during orthodontic treatment in endodontically treated and vital teeth. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics : official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*. 97(2):130-134.
- Suomalainen A, Vehmas T, Kortnesniemi M, Robinson S, Peltola J. 2008. Accuracy of linear measurements using dental cone beam and conventional multislice computed tomography. *Dento maxillo facial radiology*. 37(1):10-17.
- Takeshita WM, Chicarelli M, Iwaki LC. 2015. Comparison of diagnostic accuracy of root perforation, external resorption and fractures using cone-beam computed tomography, panoramic radiography and conventional & digital periapical radiography. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*. 26(6):619-626.
- Tieu LD, Normando D, Toogood R, Flores-Mir C. 2015. Impact on perceived root resorption based on the amount of incisal inclination as determined from conventional panoramic radiography. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 148(4):685-691.
- Tronstad L. 1988. Root resorption--etiology, terminology and clinical manifestations. *Endodontics & dental traumatology*. 4(6):241-252.
- Trope M. 1998. Root resorption of dental and traumatic origin: Classification based on etiology. *Pract Periodontics Aesthet Dent*. 10(4):515-522.
- Trope M. 2002. Root resorption due to dental trauma. *Endodontic topics*. 1(1):79-100.
- Tsai P, Torabinejad M, Rice D, Azevedo B. 2012. Accuracy of cone-beam computed tomography and periapical radiography in detecting small periapical lesions. *Journal of endodontics*. 38(7):965-970.
- Venskutonis T, Daugela P, Strazdas M, Juodzbaly G. 2014. Accuracy of digital radiography and cone beam computed tomography on periapical radiolucency detection in endodontically treated teeth. *J Oral Maxillofac Res*. 5(2):e1.

- Walker SL, Tieu LD, Flores-Mir C. 2013. Radiographic comparison of the extent of orthodontically induced external apical root resorption in vital and root-filled teeth: A systematic review. *European journal of orthodontics*. 35(6):796-802.
- Weltman B, Vig KW, Fields HW, Shanker S, Kaizar EE. 2010. Root resorption associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 137(4):462-476.
- Westphalen VP, Gomes de Moraes I, Westphalen FH, Martins WD, Souza PH. 2004. Conventional and digital radiographic methods in the detection of simulated external root resorptions: A comparative study. *Dento maxillo facial radiology*. 33(4):233-235.
- Wickwire NA, Mc Neil MH, Norton LA, Duell RC. 1974. The effects of tooth movement upon endodontically treated teeth. *The Angle orthodontist*. 44(3):235-242.
- Yassir YA, McIntyre GT, Bearn DR. 2021. Orthodontic treatment and root resorption: An overview of systematic reviews. *European journal of orthodontics*. 43(4):442-456.
- Yi J, Sun Y, Li Y, Li C, Li X, Zhao Z. 2017. Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *The Angle orthodontist*. 87(2):328-337.

# Anexos

## 13. ANEXOS

### a. Anexo I. Abreviaturas

AIC: Criterio de Información de Akaike.

AUC: Área debajo de la curva.

BIC: Criterio de Información Bayesiano.

CBCT: Tomografía Computarizada de Haz Cónico.

Cef: Cefalométrica.

CL1: Longitud Coronal Pretratamiento.

CL2: Longitud Coronal Postratamiento.

DECO: Departamento de Especialidades Clínicas Odontológicas.

DICOM: Imágenes Digitales y Comunicación en Medicina.

DPR: Radiografía Periapical Digital.

EARR: Reabsorción Radicular Apical Externa.

ERR: Reabsorción Radicular Externa.

G1: Grupo 1.

G2: Grupo 2.

gl: grados de libertad.

IC: Intervalo de Confianza.

ICC: Coeficiente de Correlación Intraclase.

KVP: Kilovoltaje.

mAs: Miliamperio.

mm: milímetro.

OR: Odds Ratio.

p: p- valor.

Pan: Panorámica.

Pulg: Pulgada.

LCD: Pantalla de Cristal Líquido.

LR: Razón de Verosimilitud.

RD: Real Decreto.

ROC: Curva de la Característica Operativa del Receptor.

SD: Desviación Estándar.

SE: Error Estándar de la Media.

SPSS: Paquete estadístico para las Ciencias Sociales.

TL1: Longitud Total Dental Pretratamiento.

TL2: Longitud Total Dental Postratamiento.

UCM: Universidad Complutense de Madrid.

URI: Unidad de Registro de Investigaciones.

v: Voltios.

## b. Anexo III. Aprobación de Comité Ético.



Hospital Clínico San Carlos

Comunidad de Madrid

**Dictamen Protocolo Favorable**

C.I. 19/438-E\_Tesis

06 de noviembre de 2019

### **CEIC Hospital Clínico San Carlos**

Dra. Mar García Arenillas  
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

#### **CERTIFICA**

Que el CEIC Hospital Clínico San Carlos en su reunión del día 09/10/2019, acta 10.1/19 ha evaluado la propuesta del proyecto:

**Título: Factores genéticos y clínico- ortodónticos asociados a la reabsorción radicular en dientes endodonciados.**

**Código Interno:** 19/438-E\_Tesis

**ALUMNA:** Carolina Elizabeth Parrales-Bravo. Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

**TUTOR:** Dr. Alejandro Iglesias-Linares

**Versión Protocolo Evaluada:** Madrid, 2019

**Versión Hoja Información al Paciente Evaluada:**

Que en este estudio:

- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- La capacidad del investigador y los medios disponibles son adecuados para llevar a cabo el estudio.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto de los postulados éticos.
- Se cumplen los preceptos éticos formulados en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica mundial sobre principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos y en sus posteriores revisiones, así como aquellos exigidos por la normativa legal aplicable en función de las características del estudio.

Es por ello que el Comité **informa favorablemente** sobre la realización de dicho proyecto.

Lo que firmo en Madrid, a 06 de noviembre de 2019

Dra. Mar García Arenillas  
Presidenta del CEIC Hospital Clínico San Carlos

## c. Anexo IV. Hoja de consentimiento informado



HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN  
FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN  
RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS



**Investigadora de campo:** Carolina Elizabeth Parrales Bravo

**Investigador principal:** Alejandro Iglesias Linares

**Datos de contacto:**

Email: [cparrale@ucm.es](mailto:cparrale@ucm.es)

Teléf.: 631012645

**Sede donde se realizará el estudio:**

Facultad de Odontología- Universidad Complutense de Madrid.

**Nombre del paciente:** \_\_\_\_\_

Se le esta invitando a usted a participar en un estudio de investigación científica. Antes de tomar una decisión en su participación o no, debe leer atentamente este consentimiento, comprendiendo cada uno de los apartados. Ante cualquier duda, siéntase libre para preguntar al respecto.

Una vez comprendido el estudio y siempre y cuando desee participar, se le pedirá que firme este consentimiento y se le entregará una copia firmada y fechada.

### Justificación del estudio.

La reabsorción de la raíz apical externa (EARR, por sus siglas en inglés) es una complicación clínica frecuente e indeseada del tratamiento de ortodoncia, es un proceso inflamatorio que produce una pérdida permanente de la estructura dental del ápice de la raíz. La reabsorción de la raíz está presente en muchos individuos de origen español, es de difícil diagnóstico, cuyos dientes más afectados son los incisivos, después de haberse realizado tratamiento de endodoncia y tratamiento ortodóncico posterior.

Se sabe que las reabsorciones radiculares están altamente relacionadas con factores genéticos. Las líneas de investigación actuales están enfocadas en conocer los genes específicos que puedan estar relacionados con la reabsorción radicular. Para ello, se identifican biomarcadores genéticos, que son sustancias que indican el lugar del ADN en el que se producen los cambios que dan lugar a la expresión de esta reabsorción. Se ha visto que los genes que pueden influir en la aparición de reabsorciones radiculares. Por lo que es necesario llevar a cabo estudios que identifiquen los genes específicos o sus biomarcadores. Y así, poder desarrollar en un futuro, nuevas estrategias dediagnóstico y tratamiento.



HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN  
FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN  
RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS



---

**Objetivos de estudio**

Este estudio de investigación tiene como objetivo: identificar biomarcadores genéticos asociados con la reabsorción radicular. Es decir, la determinación de los genes implicados en la aparición de esta reabsorción.

La información que utilizaremos para realizar este estudio esta específicamente relacionada con su tratamiento de ortodoncia. Emplearemos la radiografía lateral de cráneo y la ortopantomografía que se le realizó a usted antes y después del tratamiento de ortodoncia, la información de la evolución de su tratamiento clínico y una muestra de saliva, la cual será sometida a un análisis genómico posterior. La información que se obtenga de estas radiografías y muestra salival se utilizará para identificar los genes relacionados con la reabsorción radicular en pacientes de origen español.

**Lugar de realización del estudio**

La información obtenida será almacenada y analizada en la Universidad Complutense de Madrid, que es a quien usted concede el permiso de estudio de su caso clínico y diagnóstico para incentivar la evolución de la ciencia en este campo.

**Procedimientos a los que se debe de someter**

Toma de muestra salival: Se le pedirá a usted que deposite saliva en un kit diseñado para la auto-recolección salival, durante 2 minutos aproximadamente.

Adicionalmente, utilizaremos la radiografía lateral de cráneo y la ortopantomografía que se realizó antes y después del tratamiento de ortodoncia, junto con los datos de la evolución de su tratamiento.

**Riesgos y beneficios del estudio**

Al emplear la radiografía lateral de cráneo y la ortopantomografía que se realizó antes y después del tratamiento de ortodoncia, usted no se verá sometido a ningún riesgo asociado a este estudio.

Usted NO recibirá directamente un beneficio por su participación en este estudio. Sin embargo, los datos proporcionados serán de gran utilidad para la mejora de las estrategias diagnósticas y el tratamiento de esta enfermedad.



HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN  
FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN  
RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS

---



**Manejo de la información personal**

Su información personal será manejada de forma confidencial, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales.

Le solicitaremos información sobre su edad (en el momento de la toma de la radiografía), raza y sexo. Los datos relacionados con nombre, dirección o cualquier información de contacto no serán necesarios para el objetivo de este estudio.

Ningún dato referente a la información personal brindada será publicado. La información de carácter personal será eliminada y los datos pasarán a estar codificados y anonimizados lo cual es garantía para un mantenimiento confidencial de la misma.

Siguiendo la normativa vigente de la Ley de Investigación Biomédica 14/2007 y el Real Decreto 1716/2011, todas las muestras salivales serán numeradas bajo código, de forma que no sea reconocible su identidad.

El análisis genómico de esta muestra será realizado por una persona ajena al proceso de reclutamiento sin acceso a ningún otro tipo de datos que serán facilitados al investigador principal a través de canales seguros codificados.

Tanto la investigadora de campo como los demás miembros de la investigación necesitarán acceder a la información clínica, diagnóstica proporcionada. Una vez finalizado este estudio, la información clínica, diagnóstica y genética y/o la de su hijo(a), será almacenada de forma segura bajo codificación para el cruce de datos clínicos, diagnóstico y genético a medida que se vaya avanzando en el conocimiento de la patología objeto de estudio.

En la Universidad Complutense de Madrid se almacenará esta información hasta 5 años después de haber concluido el estudio, en un repositorio cifrado perteneciente al Departamento de Especialidades Clínicas Odontológicas (DECO) de la Facultad de Odontología (UCM- España). Si existiese un sobrante de muestra salival, se procederá a almacenarla en la Genoteca de los laboratorios de la facultad de Odontología. Dicho almacenamiento, será opcional, pudiendo negarse a este.



HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN  
FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN  
RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS



**Aclaraciones**

- La participación de usted y/o la de su hijo(a) en este estudio es completamente voluntaria.
- Si usted y/o la su hijo(a) decide participar, puede retirarse en el momento que lo desee, pudiendo informar o no de las razones de su decisión. La cual será respetada en su integridad.
- En el transcurso del estudio usted podrá aportar información actualizada sobre sí mismo al investigador responsable.
- Usted y/o su hijo(a) puede dejar el estudio en cualquier momento sin perder los beneficios que a usted/su niño(a) de otra manera corresponden.
- Si usted y/o su hijo(a) elige dejar el estudio en cualquier momento, no perjudicará el cuidado médico futuro suyo/de su niño(a) ni la participación en estudios futuros.
- Si ha comprendido claramente este documento y no presenta dudas ni preguntas acerca de su participación, puede firmar a continuación:

Yo, \_\_\_\_\_ (y si procede, D/Dña \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_ como madre, padre o tutor), he leído y comprendido la información anteriormente expuesta y mis preguntas han sido respondidas mediante un lenguaje claro y sencillo. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en este estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos. Convengo en participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia de este consentimiento.

**Participante o madre/padre/tutor:**

\_\_\_\_\_  
Nombre

\_\_\_\_\_  
Firma

**Investigadora de campo:**

\_\_\_\_\_  
Nombre

\_\_\_\_\_  
Firma

**Fecha:**.....

## d. Anexo V. Hoja de asentimiento informado



### HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS



**Investigadora de campo:** Carolina Elizabeth Parrales Bravo

**Investigador principal:** Alejandro Iglesias Linares

**Datos de contacto:** Email: [cparrale@ucm.es](mailto:cparrale@ucm.es) Teléf.: 631012645

**Sede donde se realizará el estudio:**

Facultad de Odontología- Universidad Complutense de Madrid.

**Nombre del paciente:** \_\_\_\_\_

Se te invita a participar en un estudio de investigación científica acerca de los factores genéticos y reabsorciones radiculares (acortamiento de raíz dental) después de tu tratamiento ortodóntico. Si te surgen dudas puedes realizarme preguntas.

#### **Objetivo del estudio.**

La reabsorción de la raíz es frecuente y queremos identificar biomarcadores genéticos, que son sustancias que indican el lugar del ADN en el que se producen los cambios que dan lugar a que se manifieste esta reabsorción. Si deseas participar nos ayudarás a desarrollar en el futuro, nuevas estrategias de diagnóstico y tratamiento.

#### **Procedimientos a los que se debe de someter**

Toma de muestra salival: Se te pedirá que deposites saliva en un kit diseñado para la auto-recolección salival, durante 2 minutos aproximadamente.

#### **Riesgos y Manejo de Información personal**

No tendrás ningún riesgo ya que utilizaremos la radiografía lateral de cráneo y la ortopantomografía que se te realizó antes y después de tu tratamiento de ortodoncia, junto con los datos de la evolución de su tratamiento de manera anónima tal como lo contemplan la leyes de España. (Ley Orgánica 3/2018 de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales, Ley de Investigación Biomédica 14/2007 y el Real Decreto 1716/2011)

Si existiese un sobrante de muestra salival, puedes decidir si quieres que lo almacenemos en la Genoteca de los laboratorios de la facultad de Odontología de la Universidad Complutense.



HOJA DE INFORMACIÓN PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN  
FACTORES GENÉTICOS Y CLÍNICO-ORTODÓNTICOS ASOCIADOS A LA REABSORCIÓN  
RADICULAR EN DIENTES ENDODONCIADOS



**Importante:**

- Tu participación en este estudio es completamente voluntaria.
- Si decides participar, puedes retirarte en el momento que lo desees, sin perjudicar tu cuidado médico futuro ni la participación de estudios futuros.
- Si has comprendido claramente este documento y no presentas dudas ni preguntas acerca de su participación, puedes firmar a continuación:

Yo, \_\_\_\_\_ con DNI \_\_\_\_\_, he leído y comprendido la información y mis preguntas han sido respondidas mediante un lenguaje claro y sencillo. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en este estudio pueden ser publicados de manera anónima o difundidos con fines científicos. Estoy de acuerdo en participar en esta investigación. Recibiré una copia de este asentimiento (documento que significa que he entendido el estudio y que deseo participar en la investigación).

**Participante de 12 a 17 años:**

\_\_\_\_\_  
Nombre

\_\_\_\_\_  
Firma

**Investigadora de campo:**

\_\_\_\_\_  
Nombre

\_\_\_\_\_  
Firma

**Fecha:**.....

## RESEARCH

## Open Access



# Does endodontics influence radiological detection of external root resorption? an in vitro study

C. Parrales-Bravo<sup>1,2</sup>, S. P. Friedrichsdorf<sup>3</sup>, C. Costa<sup>3</sup>, J. B. Palva<sup>3</sup> and A. Iglesias-Linares<sup>2\*</sup>**Abstract**

**Background** External root resorption (ERR) has a multifactorial etiology and is difficult to diagnose, which means that it continues to be of research interest. This work mainly aims to determine whether external root resorption can be differentially detected in root-filled versus non-endodontically treated teeth using digital periapical radiography (DPR) and cone-beam computed tomography (CBCT).

**Methods** The Checklist for Reporting In-vitro Studies (CRIS) guidelines were followed throughout this study. This experiment highlights the preparation and generation of standardized synthetic teeth measured on three-dimensional records converted into Digital Imaging and Communication on Medicine (DICOM) file format. Twelve replicate maxillary incisors were randomized into two groups: (G1) six non-endodontically treated, and (G2) six endodontically treated teeth. In both groups, actual tooth lengths of all specimens were measured and compared with measurements obtained using DPR and CBCT. Simulated ERR lesions [0.12, 0.18, 0.20 mm × 0.5 mm depth in the mesial, distal and palatal apical regions] were created progressively, radiographic images were recorded, and 24 DPRs and 96 CBCTs were obtained in total. Eight blinded, previously calibrated researchers made a total of 1920 measurements (using Horos Software). Data were analyzed using the Shapiro–Wilk, ANOVA, Kruskal–Wallis and Wilcoxon rank post-hoc tests [Bonferroni correction in multiple comparison tests ( $p < 0.05$ )].

**Results** ICC values for intra- and inter-examiner agreement were appropriate. DPR overestimated ERR detection compared to the actual and CBCT measurements [Mean diff = 0.765 and 0.768, respectively]. CBCT diagnosis of ERR lesions in specimens without root canal treatment was significantly more accurate than DPR diagnoses on both non-endodontically and endodontically-treated specimens [ $p = 0.044$ ;  $p = 0.037$ , respectively]. There was an 18.5% reduction in sensitivity in all DPR diagnoses made on endodontic teeth versus those made on non-endodontically treated teeth. For the smallest ERR lesions, this sensitivity was even more marked, with 27.8 and 25% less sensitivity, respectively.

**Conclusions** The results of this study highlight that both CBCT and DPR are good diagnostic methods for ERR. Nevertheless, root canal filling material influences diagnostic capability in ERR. The clinical significance was that the presence of intracanal material reduces the detection and diagnosis of ERR by DPR in teeth with root canal treatment.

**Keywords** Cone-beam computed tomography, Digital radiography, Endodontic teeth, Non-endodontic teeth, Root resorption

\*Correspondence:

A. Iglesias-Linares  
a.ig101@ucm.es

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2023. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.