



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y
CONFIABILIDAD ENTRE UN
SOFTWARE GRATUITO Y UN
SOFTWARE LICENCIADO PARA LA
MEDICIÓN DE LA DISTANCIA DEL
FORAMEN MENTONIANO A PIEZA
DENTARIA CERCANA EN IMÁGENES
TOMOGRÁFICAS COMPUTARIZADAS
DE HAZ CÓNICO

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAESTRO EN ENDODONCIA

LUIS HERNAN FLORES VENTURA

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

CD. ESP. MG. CARMEN ROSA GARCIA RUPAYA

CO-ASESOR

CD. ESP. MG. MILUSHKA MIROSLAVA QUEZADA MARQUEZ

DEDICATORIA

A Venus.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis autofinanciada.

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	18	SETIEMBRE	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	FLORES VENTURA, LUIS HERNAN		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN ENDODONCIA		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2024		
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD ENTRE UN SOFTWARE GRATUITO Y UN SOFTWARE LICENCIADO PARA LA MEDICIÓN DE LA DISTANCIA DEL FORAMEN MENTONIANO A PIEZA DENTARIA CERCANA EN IMÁGENES TOMÓGRAFICAS COMPUTARIZADAS DE HAZ CÓNICO		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	TESIS		
Declaración del Autor El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	977331118		
E-mail	luis.flores.v@upch.pe		



Firma del Egresado
DNI 98986545

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	9
III.	MARCO TEÓRICO	10
IV.	METODOLOGÍA	39
	A. TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO	39
	B. POBLACIÓN	39
	C. MUESTRA	40
	D. CRITERIOS DE SELECCIÓN	41
	E. VARIABLES	42
	F. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS	43
	G. ASPECTOS ÉTICOS DEL ESTUDIO	52
	H. ANÁLISIS DE DATOS	52
V.	RESULTADOS	54

VI. DISCUSIÓN	57
VII. CONCLUSIONES	73
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
IX. ANEXOS	

Resumen

La identificación precisa del foramen mentoniano (FM) es crítica en la planificación endodóntica para prevenir lesiones del paquete neurovascular mandibular. En este contexto, la disponibilidad de software licenciado con herramientas de medición tridimensional continúa siendo limitada por barreras económicas y técnicas, especialmente en regiones con menor acceso tecnológico. Este estudio tuvo como objetivo comparar la precisión y confiabilidad de las mediciones lineales entre el FM y la pieza dentaria más cercana utilizando dos softwares de análisis tomográfico: un software gratuito (Sidexis Viewer 4) y un software licenciado (Xelis). Se realizaron 50 mediciones por cada software sobre imágenes tomográficas computarizadas de haz cónico (TCHC). Todos los archivos fueron anonimizados, aleatorizados y codificados para minimizar sesgos en el evaluador. El software licenciado empleó medición tridimensional automatizada, mientras que el software gratuito utilizó un protocolo bidimensional estandarizado. El análisis de Bland-Altman reveló un sesgo mínimo de 0.034 mm entre ambos métodos. La confiabilidad intraevaluador fue CCI = 0.996 y el error de Dahlberg fue 0.059 mm. Además, el segundo premolar mandibular fue consistentemente identificado como la pieza más cercana al FM. En el presente estudio se compararon mediciones lineales de la distancia del foramen mentoniano a la pieza dentaria más cercana con dos softwares de análisis tomográfico, encontrándose un alto grado de concordancia entre ambos métodos.

Palabras clave:

Foramen mental, Mandíbula, Variación anatómica, Tomografía computarizada de haz cónico, Apicectomía.

Abstract

The precise identification of the mental foramen (MF) is critical in endodontic planning to prevent injury to the mandibular neurovascular bundle. In this context, access to licensed software with three-dimensional measurement tools remains limited by economic and technical barriers, especially in settings with restricted technological resources. The aim of this study was to compare the precision and reliability of linear measurements between the MF and the nearest tooth using two tomographic analysis software platforms: a free software (Sidexis XG) and a licensed software (Xelis). A total of 50 independent measurements were obtained with each software on cone-beam computed tomography (CBCT) images. All files were anonymized, randomized, and coded to minimize evaluator bias. The licensed software employed automated three-dimensional measurements, whereas the free software followed a standardized two-dimensional measurement protocol. Bland–Altman analysis revealed a minimal mean bias of 0.034 mm between both methods. Intra-rater reliability was $ICC = 0.996$, and the Dahlberg error was 0.059 mm. Additionally, the mandibular second premolar was consistently identified as the tooth closest to the MF. In this study, linear measurements of the distance from the mental foramen to the nearest tooth were compared using two tomographic analysis software platforms, demonstrating a high level of agreement between both methods.

Keywords: Mental foramen, Jaw, Anatomic variation, Cone-Beam computed tomography, Apicoectomy

I. Introducción

La salud no se define únicamente como la ausencia de enfermedad, sino como un estado integral de completo bienestar físico, mental y social. En este contexto, la salud oral desempeña un papel fundamental, ya que influye directamente en cada uno de estos componentes del bienestar general. Entre las afecciones más prevalentes, la caries dental destaca por su elevada incidencia: afecta aproximadamente a casi la mitad de la población mundial (1) y ha sido identificada como la enfermedad más común entre las 291 condiciones evaluadas en el estudio Global Burden of Disease 2021(2). En este escenario, la odontología adquiere una relevancia particular dentro del campo de las ciencias de la salud, al ser la única disciplina con profesionales capacitados específicamente para diagnosticar, prevenir y tratar esta patología de alta prevalencia. Sin embargo, las limitaciones económicas y estructurales que enfrentan numerosos sistemas sanitarios en todo el mundo han dificultado la detección temprana y el abordaje oportuno de la caries dental. Como consecuencia, esta condición tiende a avanzar hacia estadios más complejos, con implicancias clínicas y sociales cada vez más significativas. Ante estos desafíos, la incorporación de innovaciones tecnológicas en el ejercicio odontológico ha surgido como una respuesta clave para optimizar la detección, el diagnóstico y el tratamiento de estas patologías.

En las últimas décadas, la odontología moderna ha experimentado avances significativos que han reemplazado progresivamente métodos convencionales como las impresiones con alginato, la planificación con modelos de yeso y la

dependencia exclusiva de técnicas de imagen bidimensional, como las radiografías intraorales y panorámicas (3). Si bien estos enfoques tradicionales fueron durante años herramientas eficaces, presentaban limitaciones sustanciales en cuanto a precisión diagnóstica y capacidad de análisis. El impulso generado por el desarrollo acelerado de tecnologías digitales ha transformado la planificación clínica en el área odontológica, permitiendo que los procedimientos restauradores y quirúrgicos se lleven a cabo con mayores niveles de seguridad, eficacia y previsibilidad (4). Entre los avances más relevantes destaca la integración de imágenes tridimensionales en la evaluación preoperatoria, lo cual ha redefinido los estándares de toma de decisiones clínicas (5). Gracias a estas herramientas, el profesional odontológico puede visualizar con mayor claridad las estructuras anatómicas involucradas, anticipar eventuales complicaciones, reducir los márgenes de error y optimizar tanto los resultados funcionales como los estéticos de sus intervenciones. Este cambio de paradigma no solo ha elevado la calidad del diagnóstico, sino que también ha ampliado las posibilidades terapéuticas en beneficio del paciente (6,7).

Dentro de este conjunto de herramientas diagnósticas, la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (TCHC), también conocida como Cone Beam Computed Tomography (CBCT), se ha consolidado como una de las tecnologías más relevantes y transformadoras en la práctica odontológica contemporánea. Su capacidad para generar reconstrucciones volumétricas detalladas a partir de una dosis de radiación relativamente baja ha revolucionado la forma en que se diagnostican, planifican y ejecutan diversos tratamientos clínicos (8,9). Esta tecnología ha demostrado ser especialmente útil en áreas como la endodoncia, ortodoncia, periodoncia, cirugía oral y maxilofacial, e implantología, permitiendo

incluso al clínico combinar estas imágenes tridimensionales con herramientas digitales para lograr nuevas técnicas y procedimientos (6). En comparación con las radiografías panorámicas convencionales, la TCHC ofrece información más detallada y relevante sobre los tejidos duros y blandos, lo que resulta determinante en zonas de alta complejidad anatómica (10,11). En estas regiones, el odontólogo frecuentemente debe intervenir en áreas de la cara y maxilares que no pueden observarse directamente antes del procedimiento, incrementando el riesgo de dañar estructuras críticas como nervios y vasos sanguíneos. El análisis tridimensional de la anatomía de cabeza y cuello por lo tanto es necesario durante la planificación quirúrgica, ya que otorga al profesional mayor seguridad operativa al abordar procedimientos quirúrgicos en estas zonas con anatomía compleja (12).

Un caso representativo de esta complejidad lo constituye la región mentoniana de la mandíbula, donde se ubica el foramen mentoniano (FM), una apertura bilateral situada en la cara anterior de la mandíbula. Esta estructura anatómica alberga el paquete neurovascular mentoniano, compuesto por el nervio mentoniano y vasos sanguíneos asociados, cuya función es fundamental para la innervación sensitiva y la vascularización del labio inferior, el mentón y las encías vestibulares del sector anteroinferior. Por su relevancia anatómica, el FM constituye un punto de referencia clave no solo en endodoncia, sino también en otras disciplinas odontológicas. Dada su proximidad a las raíces dentarias, una localización imprecisa del FM durante procedimientos invasivos puede ocasionar lesiones al nervio mentoniano, lo que podría derivar en parestesias, hipoestesias u otros trastornos neurosensoriales de remisión retardada o incluso permanentes (13,14). Por esta razón, la identificación exacta del FM, así como de la trayectoria del paquete neurovascular que lo

acompaña, se ha convertido en un requisito indispensable en la planificación de intervenciones clínicas que involucren el tercio anterior mandibular (15). Entre estas se incluyen procedimientos como la microcirugía endodóntica (16), la incisión vertical para la liberación de colgajos mucoperiósticos (17), la infiltración de anestesia local (18), la reconstrucción por fracturas parasinfisarias (19), la osteotomía sagital dividida (20), la colocación de implantes dentales (21), el tratamiento de traumatismos en labio y mentón, la cirugía ortognática y la cirugía reconstructiva facial. Proceso de análisis e identificación prequirúrgico solo logrado gracias a la ayuda de herramientas de imagenología como la TCHC.

A pesar de los beneficios ampliamente reconocidos de la TCHC en la práctica odontológica contemporánea, su aprovechamiento pleno depende en gran medida de la disponibilidad de herramientas digitales que permitan procesar, analizar y medir con precisión las imágenes generadas. En este contexto, los softwares especializados que ofrecen funcionalidades para realizar mediciones tridimensionales sobre cortes tomográficos se han convertido en componentes indispensables para una planificación clínica precisa, segura y basada en datos objetivos (22). Estas plataformas permiten cuantificar distancias anatómicas con un alto nivel de exactitud, visualizar relaciones espaciales complejas y establecer puntos de referencia consistentes, lo que contribuye directamente a una toma de decisiones terapéuticas más fundamentada y predecible (23). No obstante, la precisión de las imágenes reformateadas mediante TCHC puede verse afectada por múltiples factores. Entre estos se encuentran las características propias del equipo tomográfico utilizado, como la resolución nominal y la calidad de imagen, los parámetros de exposición a la radiación (por ejemplo, kilovoltios, miliamperios y

número de imágenes base), la estabilidad del paciente durante la adquisición de las imágenes (artefactos por movimiento), así como las limitaciones del profesional al momento de interpretar los datos obtenidos. Además, el software empleado para la reconstrucción de imágenes y la realización de mediciones tridimensionales juega un rol crítico en la fidelidad de los resultados. A estos factores se suma una limitación adicional de orden práctico: el acceso a estos softwares licenciados suele estar restringido por múltiples barreras, incluyendo los altos costos de adquisición, la necesidad de licencias renovables para su uso continuo, los requerimientos técnicos específicos para su instalación y funcionamiento, y, en muchos casos, la falta de compatibilidad con archivos DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). Este estándar internacional, utilizado para la transmisión de imágenes radiológicas e información médica entre dispositivos y plataformas de distintos fabricantes, puede presentar dificultades cuando se manejan estudios voluminosos como aquellos en los que se utiliza TCHC, debido a la lentitud en la recuperación y visualización de archivos, especialmente si se desea transmitir información entre consultorios odontológicos ubicados en diferentes localizaciones (24). Estas condiciones limitan significativamente la implementación de estos softwares en diversos escenarios clínicos y académicos, particularmente en aquellos con recursos financieros o tecnológicos restringidos, donde el acceso a tecnologías avanzadas no está garantizado.

Otra limitación clave que se ha observado en gran parte de la literatura existente es que la mayoría de los estudios que han empleado TCHC para la evaluación de estructuras anatómicas críticas como el FM, el conducto mandibular o las raíces dentarias lo han hecho utilizando exclusivamente softwares licenciado (25–31). Sin

embargo, el acceso a estos softwares continúa siendo limitado en diversos entornos debido a barreras económicas y restricciones institucionales, lo cual representa un obstáculo importante para numerosos profesionales de la salud e instituciones educativas que buscan integrar protocolos de evaluación morfoanatómica en condiciones de recursos restringidos. En este escenario, el uso de softwares gratuitos surge como una alternativa potencialmente transformadora, al ofrecer una solución tecnológica accesible y sin los costos asociados a licencias comerciales. No obstante, su aplicación en la práctica clínica ha sido hasta ahora reducida, principalmente debido a la escasa evidencia disponible sobre su desempeño bajo condiciones metodológicamente controladas. En particular, existe una carencia de estudios que validen su precisión y confiabilidad utilizando protocolos estandarizados capaces de replicar las mediciones realizadas con software licenciado. Esta ausencia de respaldo científico ha dificultado su incorporación sistemática tanto en el ejercicio clínico diario como en la enseñanza universitaria, perpetuando así la dependencia exclusiva de plataformas comerciales, incluso en escenarios donde soluciones de código abierto bien diseñadas podrían ofrecer resultados equivalentes y clínicamente relevantes.

Además, cuando se comparan métodos de medición, no se espera que las herramientas entreguen el mismo valor numérico en cada caso. Existe siempre una diferencia entre mediciones, debido tanto a factores técnicos (resolución del tomógrafo, tamaño de vóxel, parámetros de adquisición, posicionamiento del paciente, etc.) como a factores humanos (experiencia del evaluador, fatiga, calibración, etc.). Por esa razón, es irreal esperar una coincidencia absoluta en los resultados de las mediciones, por ello es importante establecer un margen de

tolerancia clínica; es decir, un rango dentro del cual dos mediciones distintas pueden considerarse prácticamente equivalentes para la planificación. Se ha sugerido que diferencias que se mantengan en un rango de medio milímetro (≈ 0.5 mm) representan una discrepancia aceptable y clínicamente manejable al cuantificar distancias anatómicas (32); otros plantean umbrales algo más amplios, cercanos a 2 mm, especialmente considerando las limitaciones inherentes al hardware y al operador (33). Umbrales más estrictos (por ejemplo, 0.2–0.3 mm) se consideran poco realistas en la práctica clínica, mientras que márgenes mayores a 1 mm podrían comprometer la toma de decisiones en zonas anatómicamente sensibles.

En consecuencia, se vuelve indispensable determinar si un software gratuito, por su naturaleza libre de restricciones económicas vinculadas a licencias comerciales, puede ofrecer niveles de precisión y confiabilidad comparables a los de un software licenciado, particularmente en la medición de la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana. Esta interrogante es el eje central de la presente investigación y adquiere relevancia tanto desde una perspectiva metodológica (al implicar la evaluación de un software gratuito como herramienta alternativa en comparación a un software licenciado) como desde una necesidad clínica, al ofrecer una solución potencial para contextos donde el acceso a software licenciado es limitado abriendo la posibilidad de incorporar nuevos recursos al entorno clínico sin comprometer la calidad del análisis morfoanatómico ni la rigurosidad de la planificación diagnóstica. Además, cobra especial importancia al considerar la creciente necesidad de optimizar recursos sin comprometer la calidad de atención. Tal integración tendría un impacto significativo en contextos donde la disponibilidad

de recursos es limitada, como en centros universitarios de formación profesional, clínicas comunitarias o unidades de atención primaria, en los cuales el acceso a tecnologías de vanguardia no siempre está garantizado. Asimismo, permitiría reducir la brecha tecnológica existente entre instituciones con distinto nivel de infraestructura tecnológica, promoviendo el acceso a herramientas diagnósticas.

¿Cuál es la precisión y confiabilidad de un software gratuito para determinar la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana, en comparación con las mediciones realizadas con un software licenciado, en imágenes tomográficas computarizadas de haz cónico del Servicio de Radiología Oral y Maxilofacial de la Universidad Peruana Cayetano Heredia?

II. Objetivos

Objetivo general

Comparar la precisión y confiabilidad de un software gratuito con un software licenciado para determinar la distancia entre el Foramen Mentoniano y la pieza dentaria más cercana en imágenes tomográficas computarizadas de haz cónico del servicio de Radiología Oral y Maxilofacial de la Clínica Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Objetivos específicos

1. Comparar la precisión del software gratuito con el software licenciado en imágenes tomográficas computarizadas de haz cónico del servicio de Radiología Oral y Maxilofacial.
2. Determinar la confiabilidad intra-evaluador de la medición tomográfica en software gratuito.

III. Marco Teórico

En el ámbito de la investigación en ciencias de la salud, dos características métricas resultan esenciales para la evaluación de los métodos de medición: precisión y confiabilidad. La precisión se define como el grado en que mediciones repetidas bajo condiciones no variables muestran los mismos resultados. En otras palabras, corresponde a la cercanía o concordancia entre dos o más mediciones de un mismo objeto (34–36). Esta característica resulta especialmente relevante en procedimientos quirúrgicos de alta sensibilidad anatómica, como los realizados en la región mentoniana, donde ciertas diferencias podrían significar la preservación o lesión de estructuras vitales. Por ello, validar la precisión de un método en relación con un estándar de referencia, mediante análisis comparativos, es un paso fundamental en su incorporación clínica. Por otro lado, la confiabilidad se refiere a la estabilidad y consistencia de las mediciones cuando se repiten bajo condiciones similares, y constituye otro pilar esencial de cualquier herramienta diagnóstica (37). Desde una perspectiva estadística, se evalúa frecuentemente mediante coeficientes como el ICC (Intraclass Correlation Coefficient), que permiten medir la concordancia por ejemplo por el mismo evaluador (intraevaluador), cuando un mismo observador repite la medición en diferentes momentos. Una herramienta confiable no solo debe ofrecer resultados correctos, sino hacerlo de manera constante y repetible, independientemente del momento en que se aplique (38). Esta repetibilidad es indispensable para asegurar que las decisiones clínicas se fundamenten en datos objetivos, reduciendo la influencia de la variabilidad humana y de otros factores externos. En este contexto, la incorporación de innovaciones

tecnológicas en odontología ha desempeñado un papel crucial, siempre buscando potenciar la precisión diagnóstica y la confiabilidad de los procedimientos clínicos.

Es así como, a lo largo de las últimas décadas, los procedimientos clínicos odontológicos han experimentado una notable transformación, impulsada por el desarrollo y la incorporación progresiva de tecnologías de vanguardia en la práctica diaria. Históricamente la odontología ha siempre liderado el desarrollo en el área de la salud con innovaciones que han repercutido positivamente en la atención en salud a gran escala. Ejemplos notables de este liderazgo incluyen la introducción de nuevos métodos y aparatos anestésicos para procedimientos en general (39), el desarrollo de nuevos biomateriales para la reconstrucción de piezas dentales con daño estructural, las cada vez mejores capacidades de biocompatibilidad y osteointegración de los implantes dentales (40) y la implementación de estrategias de salud pública modernas o tratamientos no restaurativos para la prevención y manejo de la caries (41). Actualmente, este enfoque innovador continúa expandiéndose hacia otras áreas médicas y tecnológicas, como los biosensores, la salud digital (e-health), los sistemas de aprendizaje sanitario y las ciencias de datos (42–45). Esta evolución ha redefinido no solo el abordaje diagnóstico y terapéutico de las patologías dentales, sino también los estándares de seguridad, precisión y previsibilidad en los tratamientos clínicos (4).

Los procedimientos modernos han sido potenciados por avances en técnicas y tecnología que han ampliado de manera considerable las capacidades diagnósticas y terapéuticas del profesional odontológico y especialistas en general. Entre estas herramientas destacan la inteligencia artificial, el flujo digital, los escáneres

intraorales, la tecnología CAD/CAM, las impresoras 3D, el ultrasonido, los dispositivos piezoeléctricos, el microscopio quirúrgico, y de forma muy especial, la tomografía computarizada de haz cónico (TCHC) (46–48). Esta última ha tenido un impacto trascendental en la odontología contemporánea, consolidándose como un recurso esencial para la planificación, ejecución y seguimiento de procedimientos tanto convencionales como quirúrgicos. Gracias a su capacidad para ofrecer imágenes tridimensionales de alta resolución con menor dosis de radiación en comparación con otras modalidades, la TCHC ha optimizado la evaluación de estructuras anatómicas complejas, mejorando la precisión diagnóstica y facilitando intervenciones más seguras y predecibles en diversas especialidades.

El uso sistemático de estas tecnologías ha contribuido de manera directa y significativa al aumento en la tasa de éxito de múltiples tratamientos odontológicos. En el ámbito de la endodoncia, las imágenes obtenidas mediante TCHC han sido ampliamente empleadas para la identificación precisa de la anatomía del sistema de conductos radiculares, el diagnóstico de periodontitis apical y la detección de fracturas o reabsorciones radiculares, superando en capacidad diagnóstica a las técnicas bidimensionales tradicionales (49). Por ejemplo, en un estudio prospectivo realizado por Zhang M, et al. (50) destinado a evaluar los resultados y factores de riesgo en retratamientos endodónticos no quirúrgicos, se utilizó la TCHC para realizar una medición volumétrica tridimensional de las radiolucideces apicales a lo largo de un seguimiento clínico de hasta cuatro años. Los hallazgos revelaron que las radiolucideces apicales habían desaparecido en 44 piezas (75.9 %), se redujeron en 10 (17.2 %), permanecieron sin cambios en una (1.7 %) y aumentaron en tres (5.2 %). En conjunto el 93.1 % de los casos tratados las piezas se mantenían

funcionales, completamente asintomáticas, restauradas y con signos tomográficos de reparación completa o en proceso avanzado de curación, lo que pone en evidencia una elevada tasa de conservación de piezas dentales previamente comprometidas.

Asimismo, un estudio de cohorte retrospectivo realizado por Huang S, et al. (16) orientado a evaluar las tasas de curación y supervivencia a largo plazo, entre cinco y nueve años, de microcirugías endodónticas (EMS), encontró que estas intervenciones ofrecían tasas de curación del 78.3 % y de supervivencia del 95.2 %. Además, los dientes considerados curados en el corto plazo (1 a 2 años) se mantenían estables en el largo plazo (siendo evaluados con TCHC), consolidando la eficacia de este tipo de procedimientos cuando son adecuadamente planificados y ejecutados. La combinación de técnicas modernas, microinstrumentos, y una planificación quirúrgica más precisa basada en la evaluación tridimensional mediante TCHC ha permitido intervenciones más conservadoras, que respetan los tejidos periapicales y reducen los riesgos intraoperatorios (51–53). Estos resultados refuerzan el papel esencial de la tomografía en la odontología contemporánea, orientada a preservar la integridad estructural y funcional de las piezas dentarias incluso en casos clínicos complejos. Gracias a ello, ha sido posible mantener en boca dientes que en otras circunstancias hubiesen sido considerados no viables y, por tanto, extraídos.

Si bien los avances tecnológicos han transformado profundamente la práctica odontológica y han elevado significativamente los estándares de calidad en numerosos procedimientos clínicos, es fundamental reconocer que estos no están

exentos de riesgos inherentes. La ejecución segura y efectiva de intervenciones complejas continúa dependiendo, en gran medida, de una planificación preoperatoria rigurosa. Dicha planificación debe contemplar no solo un diagnóstico clínico certero y un análisis radiográfico exhaustivo, sino también la elaboración de un protocolo quirúrgico estructurado, acompañado de una comprensión precisa de las particularidades anatómicas de cada paciente (17,54). En este sentido, la cercanía entre estructuras anatómicas críticas y las zonas de intervención representa un factor de riesgo relevante. Las alteraciones neurosensoriales, como la parestesia o hipoestesia del nervio alveolar inferior o del nervio lingual, no solo pueden comprometer gravemente la calidad de vida del paciente, sino también generar conflictos legales significativos entre profesional y paciente. Numerosos reportes han señalado que estas consecuencias adversas, potencialmente devastadoras, pueden derivarse de una evaluación radiológica deficiente o inadecuada del trayecto del nervio alveolar inferior (NAI) o del nervio mentoniano. Esta deficiencia no solo compromete la seguridad del procedimiento, sino que puede también evidenciar una falta de cumplimiento de las guías clínicas y una evaluación incompleta de los riesgos (55). Ante esta realidad, y considerando la creciente evidencia acumulada, la incorporación de imágenes tridimensionales en el campo de la cirugía oral y maxilofacial se vuelve indispensable, especialmente cuando se opera en zonas de alta complejidad anatómica. Este enfoque permite una localización más precisa de las estructuras críticas, favoreciendo la selección de la estrategia quirúrgica más adecuada, y contribuyendo a minimizar los eventos adversos. Así, el uso de tecnología 3D no solo optimiza la planificación, sino que refuerza el compromiso con una práctica clínica más segura, predecible y centrada en el paciente (56).

La etapa preparatoria cobra especial relevancia en regiones anatómicamente complejas, como es el caso del sector premolar mandibular, donde la proximidad entre las raíces dentarias y estructuras neurovasculares críticas impone una serie de desafíos clínicos que requieren una planificación sumamente precisa (57,58). Esta exigencia se ve acentuada por la morfología altamente variable y, en muchos casos, impredecible de la región bucomaxilofacial, lo que constituye una fuente constante de incertidumbre para el profesional. Diversos estudios han documentado cómo estas variaciones anatómicas, a menudo no evidentes en métodos diagnósticos convencionales, pueden comprometer la seguridad y el éxito del procedimiento si no se abordan con un enfoque diagnóstico tridimensional detallado. En esta línea, se ha observado que los daños neurosensoriales asociados a tratamientos endodónticos o a resecciones apicales son significativamente menos frecuentes en comparación con otros procedimientos quirúrgicos de mayor complejidad. No obstante, aunque estos resultados pueden aliviar al clínico interesado en realizar microcirugía endodóntica el estudio también expone que los datos disponibles sugieren que estas cifras podrían estar subestimadas debido a la renuencia o falta de sistematización en la notificación de errores y complicaciones por parte de los clínicos (59). Estudios recientes han reportado que la incidencia de algún déficit neurosensorial después de una cirugía periapical tiende a ser mayor en comparación a tratamientos endodónticos convencionales, lo que refuerza la necesidad de una evaluación radiológica minuciosa previa a la intervención (60,61).

De manera reveladora, encuestas aplicadas a especialistas en endodoncia han mostrado que entre un 25 % y un 30 % de los profesionales evita realizar cirugías endodónticas en la región premolar mandibular, mientras que aproximadamente un

38 % adicional refiere niveles bajos o moderados de confianza al considerar procedimientos quirúrgicos en esta zona. Estos hallazgos reflejan tanto la complejidad anatómica del área como la percepción de riesgo clínico asociada, lo que justifica la necesidad de herramientas diagnósticas más accesibles y precisas (62).

La división mandibular del nervio trigémino es, con diferencia, la más propensa a sufrir lesiones durante procedimientos quirúrgicos orales y maxilofaciales, en comparación con las divisiones oftálmica y maxilar. Dentro de sus ramificaciones, los nervios más frecuentemente afectados son el nervio alveolar inferior (NAI) y el nervio lingual (NL), cuya función sensorial se ve comprometida en intervenciones como la extracción de terceros molares, la colocación de implantes dentales, las cirugías ortognáticas y procedimientos quirúrgicos endodónticos (63,64). Si bien también se han documentado lesiones nerviosas en contextos menos frecuentes (como inyecciones anestésicas locales, cirugías tumorales extensas, osteomielitis o traumatismos maxilofaciales), la prevalencia de daño neurosensorial varía considerablemente según el tipo de procedimiento, oscilando entre el 0.54 % y el 39 % según distintos reportes (65). En particular, estudios recientes han mostrado que la aparición de alteraciones sensoriales posteriores a cirugías periapicales en molares mandibulares es relativamente baja (8 %), mientras que, en la región premolar mandibular, esta cifra puede elevarse hasta un 38 % (61). Esta diferencia sustancial refleja no solo una percepción ampliamente compartida respecto a la complejidad anatómica del área, sino también una necesidad concreta de mejorar los recursos diagnósticos y de planificación quirúrgica con los que cuentan los profesionales al enfrentar estos escenarios. Entre los factores de mayor

preocupación citados por los clínicos se incluyen la dificultad de acceso quirúrgico, las limitaciones inherentes a la visualización directa del campo operatorio y, especialmente, la presencia de lo que comúnmente se denomina “anatomía compleja”. Esta última está relacionada estrechamente con el trayecto y disposición del paquete neurovascular mandibular, siendo el foramen mentoniano (FM) una de sus estructuras más relevantes. La localización altamente variable del FM y su cercanía a estructuras críticas convierten a esta región en un punto de especial atención durante cualquier maniobra quirúrgica o terapéutica en el tercio anterior de la mandíbula, requiriendo una planificación meticulosa (17,29).

El FM constituye una estructura anatómica de suma relevancia en el contexto de la odontología clínica y quirúrgica, debido a su estrecha relación con elementos vasculonerviosos críticos. La división mandibular del nervio trigémino (V3) ingresa a la mandíbula a través del foramen mandibular y, conforme el nervio alveolar inferior avanza en dirección anterior por el conducto mandibular, atraviesa la estructura ósea desde la cortical lingual hacia la bucal, situándose aproximadamente a la mitad entre ambas corticales a nivel de la región molar (66–68). En esta zona, el nervio alveolar inferior se divide en sus ramas terminales: el nervio mentoniano y el nervio incisivo. El primero continúa su trayecto por el canal mentoniano, emergiendo finalmente por el foramen mentoniano junto con vasos sanguíneos del mismo nombre. Se ha descrito que, en condiciones anatómicas normales, tres ramas nerviosas emergen desde este orificio, encargadas de la inervación sensitiva del mentón, el labio inferior y la mucosa vestibular adyacente. Ubicado generalmente en la cara lateral de la mandíbula, el FM se convierte en un punto anatómico crítico durante procedimientos quirúrgicos en el tercio anterior mandibular. Su integridad

resulta fundamental no solo para preservar la función sensitiva orofacial, sino también para evitar complicaciones estéticas y funcionales (26,31,69–71). Sin embargo, esta estructura puede verse comprometida durante cirugías periapicales, especialmente cuando existen errores en la planificación quirúrgica o en la interpretación radiológica. Las lesiones del nervio mentoniano suelen deberse al estiramiento excesivo o compresión del paquete neurovascular por el uso inadecuado de retractores, así como a la presión ejercida por hematomas intraalveolares o edemas posoperatorios (72,73). Diversas estrategias han sido propuestas para reducir el riesgo de daño neurosensorial en esta zona: la identificación temprana y precisa del foramen mediante radiografías panorámicas o TCHC, la creación de canales para alojar los retractores sin comprometer el paquete vasculonervioso, la realización de osteotomías conservadoras, y la administración precoz de fármacos antiinflamatorios, en particular corticosteroides (74,75). Estas medidas permiten mitigar las probabilidades de parestesias persistentes, dolor neuropático o disestesias, que comprometerían seriamente la calidad de vida del paciente.

Uno de los aspectos que ha generado un creciente interés en la literatura científica es la ubicación precisa del FM en relación con las piezas dentarias adyacentes. La determinación exacta de su localización clínica representa un desafío considerable, dada su notable variabilidad anatómica entre individuos y su estrecha asociación con estructuras neurovasculares de alta sensibilidad. Confirmar su posición con precisión es de una importancia crucial para evitar lesiones durante diversos procedimientos endodónticos, tanto quirúrgicos como no quirúrgicos (72); la realización de incisiones para drenaje, las incisiones verticales que facilitan el

levantamiento de colgajos mucoperiósticos de espesor total, la infiltración anestésica local en la región vestibular baja, las osteotomías, e incluso durante la instalación de implantes dentales (20,76). Durante décadas, la posición del FM ha sido objeto de debate en el ámbito académico y clínico. Clásicamente se ha descrito su localización habitual a nivel del eje longitudinal del segundo premolar (48,77–80). No obstante, investigaciones más recientes empleando TCHC han evidenciado que su ubicación más frecuente no es estrictamente en esta posición, sino que suele encontrarse entre el primer y el segundo premolar (27–30,54).

Además de su localización relativa, la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana constituye una variable anatómica crítica que debe ser considerada cuidadosamente durante la planificación de intervenciones en la región mentoniana. Estudios basados en tomografía computarizada han reportado que, en más del 50 % de los casos analizados, esta distancia supera los 5mm (28,31), un hallazgo de particular relevancia clínica, ya que permite establecer márgenes de seguridad quirúrgica que reducen significativamente el riesgo de daño al paquete neurovascular mentoniano. No obstante, esta distancia presenta una alta variabilidad individual y no puede ser asumida como constante ni predecible. Por esta razón, su determinación precisa en cada caso adquiere un papel protagónico en la toma de decisiones terapéuticas, especialmente en procedimientos que implican manipulación en zonas de riesgo.

Los métodos propuestos para la evaluación precisa del FM han sido objeto de múltiples publicaciones que han buscado perfeccionar la localización de esta estructura neurovascular crítica. Entre los métodos diagnóstico más comunes que

se han propuesto se encuentra la palpación de referencias anatómicas externas, utilizando la ubicación del músculo mentoniano y la cresta alveolar para estimar la posible salida del paquete vasculonervioso (81). También se ha intentado localizarlo palpando los tejidos mucosos en busca de un área “elevada e irregular” en zonas adyacentes a los ápices de piezas premolares (82), sin embargo, estos métodos carecen de exactitud, ya que delimitan zonas aproximadas más que identificar el FM de manera específica. En contextos quirúrgicos, la visualización directa mediante disección ha permitido una localización más confiable (77,83,84). Hazani. et al (81), por ejemplo, realizaron disecciones en 14 cadáveres utilizando magnificación con lupas, y establecieron distancias verticales desde el borde mandibular al origen del músculo mentoniano y al borde inferior del FM para definir una zona segura de disección. Sus hallazgos coincidieron con estudios anatómicos previos que ubicaban al FM, con mayor frecuencia, entre los primeros y segundos premolares mandibulares. Asimismo, otro estudio anatómico como es de Kqiku, Et al. (85), en cadáveres humanos reportaron resultados similares, identificando que la posición más frecuente del FM es entre el primer y el segundo premolar mandibular. En lo que respecta al uso de radiografías, las periapicales han sido empleadas en múltiples proyecciones y angulaciones (78). Moiseiwitch JR, et al. (72) sugieren que una radiografía bitewing y radiografía panorámica deberían ser tomadas junto a las radiografías periapicales horizontales para asegurar la precisión de la ubicación. Phillips, et al. (71,86,87), indicaron que la posición más común del FM fue entre los ápices de los premolares, ubicándose en promedio a 3.8 mm mesial al ápice del segundo premolar. A pesar de ello, las radiografías periapicales presentan limitaciones inherentes como el factor de magnificación

debido al ángulo de proyección en la que se ubica la placa radiográfica, esto puede impedir visualizar completamente la región apical. Otra tecnología propuesta fue la radiografía panorámica, esta ha sido ampliamente utilizada para detectar el FM, aunque con resultados variables (79,88). Jacobs, et al. (89) lograron identificar el FM en el 94 % de sus muestras (N = 545), aunque solo fue claramente visible en el 49 % de los casos. También se han utilizado con y sin radiografías periapicales en un intento de mejorar la precisión de la ubicación (90,91). Yosue y Brooks (88) concluyeron que las películas panorámicas y periapicales reflejaban con precisión la posición real del FM en menos del 50 % de los casos. Por otro lado, Chkoura y El Wady (90), en un estudio in vivo de 794 radiografías panorámicas, observaron que el FM se ubicaba justo por debajo del ápice del segundo premolar en el 62.7 % de los pacientes, y entre el primer y segundo premolar en el 30 %, con una localización simétrica entre ambos lados en el 79 % de las muestras. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres. Otros estudios, se evaluaron radiografías panorámicas digitales con el objetivo de determinar la posición más frecuente del FM, diversos autores reportaron que esta se encontraba comúnmente entre el primer y segundo premolar, lo cual coincide con hallazgos previos obtenidos mediante otros métodos imagenológicos (91–95). En otra investigación Ngeow, Et al. (96), se evaluaron los efectos del envejecimiento sobre la visibilidad del FM en una población malaya, encontrándose que la mayoría de los forámenes estaban ubicados por debajo del ápice del segundo premolar, y que la visibilidad del foramen disminuía significativamente en pacientes mayores de 50 años, incrementándose la no visibilidad con la edad. En otro estudio panorámico de gran escala que incluyó 860 casos (1720 hemiarcadas),

se identificó la presencia de forámenes mentonianos accesorios en el 10 % de los casos, lo que subraya aún más la variabilidad anatómica de esta región (93). Un hallazgo metodológico importante derivado de estos estudios es el reconocimiento de un factor de magnificación rutinario de entre 20 % y 36 % inherente al uso de radiografías panorámicas. Este fenómeno constituye un factor de confusión significativo, ya que podría altera de forma sustancial la correlación entre la imagen radiográfica y la localización clínica real del FM (87,97–101).

También se ha utilizado la resonancia magnética (RM). Esta ha sido evaluada como una alternativa diagnóstica para la localización del FM, en comparación con técnicas más convencionales como la Tomografía computarizada. En un estudio comparativo Chau, et al. (80) reclutaron doce estudiantes de posgrado en odontología, provenientes de cinco especialidades diferentes, quienes evaluaron dos conjuntos de imágenes oblicuas reformateadas (TC y RM) correspondientes a 11 pacientes. Cada evaluador identificó el FM en 278 imágenes TCHC y 298 imágenes de RM, respectivamente. Los resultados mostraron que las imágenes de resonancia magnética presentaron menores variaciones en las evaluaciones y mayores puntuaciones de satisfacción por parte de los evaluadores en comparación con las imágenes obtenidas por TCHC, lo que sugiere una mayor consistencia diagnóstica al utilizar RM en la identificación de estructuras anatómicas críticas como el FM. En otro estudio Imamura, et al. (102) se comparó la resonancia magnética con imágenes de tomografía computarizada (CT) en 11 pacientes japoneses, con el objetivo de detectar el canal mandibular. Los autores concluyeron que la detectabilidad del canal mandibular fue superior al utilizar RM, en

comparación con CT. Estudios adicionales han confirmado una alta fiabilidad en la identificación del canal mandibular mediante resonancia magnética, lo que respalda su valor potencial como herramienta diagnóstica no invasiva y precisa (103). No obstante, la principal limitación de esta tecnología radica en su alto costo y en la limitada accesibilidad del equipamiento de RM en centros dentales convencionales restringiendo su uso rutinario, a pesar de los beneficios potenciales en términos de precisión diagnóstica y ausencia de radiación ionizante (104)

La ultrasonografía ha emergido como una tecnología prometedora para la detección cuantitativa de defectos óseos que gracias a esta capacidad podría ser de ayuda en la localización precisa de estructuras anatómicas como el FM (48). A diferencia de las técnicas radiográficas tradicionales, como la radiografía periapical, panorámica o la tomografía computarizada, la ultrasonografía no utiliza radiación ionizante, lo que la convierte en una modalidad diagnóstica segura y especialmente atractiva en contextos clínicos que requieren minimizar la exposición del paciente a radiación. En un estudio in vitro realizado por Mahmoud, et al. (48) se utilizó tecnología de ultrasonido tridimensional (3D) de alta resolución para el diagnóstico de defectos óseos periodontales. Los investigadores lograron identificar con precisión estructuras anatómicas mayores en especímenes mandibulares humanos. Según los autores, este sistema es capaz de reconstruir imágenes tridimensionales en tiempo real de la superficie ósea, con una resolución espacial de hasta 24 micrómetros, lo que representa una ventaja significativa al eliminar la incertidumbre diagnóstica y permitir una planificación quirúrgica más precisa. Sin embargo, pese a sus beneficios potenciales, este tipo de equipamiento aún no está disponible para uso clínico dental rutinario, principalmente debido a la falta de transductores

específicos adaptados a la morfología bucal y maxilofacial. Por lo tanto, se requieren estudios adicionales in vivo que validen su efectividad diagnóstica en entornos clínicos reales y que impulsen el desarrollo de tecnología ultrasónica especializada para odontología. Desde su aparición, la TCHC se ha consolidado como la herramienta de elección en la evaluación tridimensional de estructuras anatómicas complejas en la región maxilofacial, incluyendo el FM (30,31,54). Esta tecnología utiliza un haz cónico de rayos X que emana desde el generador y abarca un gran volumen en una sola rotación alrededor del paciente, lo que permite capturar un conjunto completo de datos en un solo barrido. Posteriormente, las imágenes son reconstruidas mediante algoritmos computacionales, generando representaciones tridimensionales de alta resolución espacial (105,106). La TCHC ha demostrado un alto grado de sensibilidad y especificidad en la identificación del FM, superando ampliamente las limitaciones inherentes a las técnicas bidimensionales tradicionales, como la superposición de estructuras anatómicas, el agrandamiento por angulación y la distorsión geométrica (13,26,33). Gracias a sus capacidades de reconstrucción tridimensional, esta modalidad permite delimitar con precisión los márgenes, la forma y la posición exacta del FM, así como realizar un análisis volumétrico detallado de su relación con las piezas dentarias vecinas y estructuras críticas del paquete vasculonervioso mandibular. Diversos estudios han considerado que la precisión diagnóstica obtenida mediante TCHC es comparable a la observada en métodos de visualización directa y en consecuencia posicionándola como la mejor tecnología actualmente disponible para el estudio morfológico del foramen mentoniano (13,107).

No obstante, a pesar de las ventajas evidentes que ofrece la TCHC, su implementación clínica generalizada continúa enfrentando diversas barreras operativas y económicas, especialmente en contextos con infraestructura limitada o recursos restringidos. Uno de los principales obstáculos radica en que la realización de mediciones tridimensionales sobre los volúmenes generados por la TCHC requiere el uso de software tomográfico con licencia comercial. En contraste, los visores de software gratuito actualmente disponibles permiten la visualización de archivos DICOM y la navegación a través de cortes axiales, coronales y sagitales, pero carecen de herramientas integradas que permitan realizar mediciones tridimensionales automatizadas. Esta limitación funcional restringe su aplicación en estudios que exigen un alto grado de exactitud espacial, como es el caso de la determinación de la distancia entre el FM y las piezas dentarias adyacentes, medida que requiere evaluar simultáneamente las tres dimensiones del espacio anatómico.

Como consecuencia una proporción considerable de la evidencia científica disponible sobre el FM ha sido generada en países con acceso amplio a infraestructura avanzada y software licenciado, lo que condiciona tanto la calidad como la aplicabilidad global de los hallazgos. Entre los estudios más relevantes destaca el trabajo de Shet, et al. (25) desarrollado en colaboración entre la India, Estados Unidos y Corea del Sur, que empleó TCHC para analizar la morfología y relaciones anatómicas del FM en una muestra de población india. Por su parte, Wang, et al. (69) evaluaron la relación entre la región del FM y la línea de acceso quirúrgico en población china, también mediante TCHC, aportando información clave para la planificación operatoria segura. Chau, et al. (80) en un estudio realizado en Hong Kong, utilizó TCHC para identificar el trayecto del nervio

mandibular y comparar sus resultados con imágenes obtenidas por resonancia magnética. En Brasil, RDS Oliveira, et al. (108) realizaron un análisis morfométrico del FM, estudiando los efectos de variables como edad y sexo sobre su configuración, mientras que, en Suiza, T. von Arx, et al. (28) llevaron a cabo una evaluación detallada de la ubicación y dimensiones del FM, así como de su distancia respecto a estructuras vecinas, también con tecnología TCHC. En Estados Unidos, Carruth y col, et al. (54) centraron su estudio en el tamaño y forma del FM, confirmando patrones consistentes mediante análisis tridimensionales. Asimismo, en Turquía, Goyushov, et al. (109) analizaron mediante TCHC la forma, posición, altura vertical, características óseas circundantes y ángulo de apertura del FM, en un esfuerzo por estandarizar parámetros anatómicos relevantes. Desde España, Muínelo-Lorenzo, et al. (110) evaluaron las características anatómicas del FM y la presencia de forámenes mentonianos accesorios (AMF), comparando además la capacidad diagnóstica de la TCHC versus la radiografía panorámica (PAN) en cuanto a su localización y visualización (104). En un estudio binacional entre India y Australia, Krishnan, et al. (30) utilizaron imágenes TCHC para analizar no solo el FM y el AMF, sino también otras estructuras como el anterior loop (AL), lateral lingual foramen (LLF) y lateral lingual canal (LLC), con el objetivo de explorar posibles asociaciones morfológicas. De forma similar, Bosykh, et al. (111) en un trabajo conjunto entre Rusia y Brasil, investigaron la posición del FM en relación con las raíces dentarias mandibulares, además de cuantificar la prevalencia del anterior loop y de forámenes secundarios en estudios tomográficos. Finalmente, en población yemení, Algabri, et al. (112) en colaboración con centros en Australia y Egipto, analizaron la posición y simetría del FM utilizando TCHC, lo cual permitió

establecer referencias anatómicas específicas para esta región geográfica poco representada en la literatura. Este conjunto de investigaciones refuerza el valor clínico de la TCHC en el estudio anatómico del FM; sin embargo, la concentración geográfica de estos estudios en países con acceso tecnológico perpetúa una brecha diagnóstica y limita la posibilidad de aplicar estándares similares en contextos de menor disponibilidad de recursos.

Un obstáculo adicional que ha condicionado de manera significativa la adopción amplia, sostenida y eficaz de tecnologías tomográficas es la naturaleza cerrada, propietaria y restrictiva que caracteriza a la mayoría de los softwares licenciados disponibles en el mercado. Aunque estas plataformas suelen ofrecer interfaces robustas, herramientas de análisis avanzadas y entornos de visualización optimizados, suelen estar diseñados bajo esquemas de uso exclusivo que limitan su operatividad a otros sistemas y softwares. En la práctica, esto significa que muchos de estos softwares están programados para reconocer únicamente archivos DICOM generados por los equipos tomográficos del mismo proveedor, lo cual establece una dependencia directa y limitante entre el hardware y la plataforma de visualización.

Esta condición de interoperabilidad restringida no solo supone un problema técnico, sino también una barrera económica, académica y logística considerable, sobre todo en instituciones que carecen de los recursos para adquirir sistemas integrados o costear licencias múltiples y sin la posibilidad de emplear herramientas alternativas más accesibles o adaptables.

Al no permitir el uso libre de imágenes generadas por tomógrafos de terceros, estos softwares obstaculizan el intercambio de imágenes entre centros, la implementación

de protocolos de investigación multiinstitucionales y el desarrollo de soluciones pedagógicas abiertas, dificultando así la estandarización de procesos formativos en odontología. Por ejemplo, plataformas reconocidas como Romexis (Planmeca) únicamente habilitan el acceso completo a sus herramientas de medición y reconstrucción tridimensional cuando se utilizan archivos generados exclusivamente por sus propios dispositivos. Esta limitación excluye automáticamente el uso de imágenes provenientes de tomógrafos alternativos, aun cuando dichos archivos cumplan con el estándar DICOM, que fue creado justamente para facilitar la interoperabilidad en imagenología médica. Si bien existen métodos no oficiales para lograr la apertura y manipulación de imágenes DICOM externas en softwares licenciados, su aplicación requiere conocimientos especializados en informática, acceso a configuraciones internas, y en muchos casos, el uso de programas intermediarios. Además de su complejidad técnica, estas soluciones no autorizadas se sitúan en una zona gris desde el punto de vista legal y ético, ya que pueden contravenir los términos de uso y licencias impuestas por los fabricantes. Por ello, aunque factibles en teoría, tales estrategias resultan inseguras, poco intuitivas y generalmente inviables para su aplicación sistemática en entornos clínicos de rutina o instituciones educativas

La consecuencia directa de estas restricciones técnicas es una dificultad significativa para estandarizar los protocolos de planificación quirúrgica basados en TCHC, lo cual limita la posibilidad de desarrollar procedimientos que puedan ser aplicados de manera uniforme entre diferentes centros de atención. La ausencia de protocolos estandarizados no solo puede generar variabilidad en los criterios diagnósticos y en las decisiones clínicas, sino que también podría afectar

negativamente la seguridad del paciente, al restringir la capacidad del profesional para identificar con precisión estructuras anatómicas críticas y anticipar riesgos quirúrgicos (26). Esta situación representa un problema particularmente delicado en intervenciones de alta complejidad, como la cirugía periapical, donde el conocimiento exacto de la relación del ápice radicular con estructuras vecinas es fundamental. La brecha tecnológica generada por las restricciones del software licenciado y los altos costos asociados ha constituido un impedimento importante para la adopción global de protocolos validados, dificultando además la implementación uniforme de guías clínicas reconocidas internacionalmente. Tal es el caso de la declaración de posición conjunta de la American Association of Endodontists (AAE) y la American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology (AAOMR) (113), donde se establece en su *Recomendación 9* que:

“CBCT should be considered as the imaging modality of choice for presurgical treatment planning to localize root apex/apices and to evaluate the proximity to adjacent anatomical structures.”

Además, se resalta que:

“The use of CBCT has been recommended for treatment planning of endodontic surgery. CBCT visualization of the true extent of periapical lesions and their proximity to important vital structures and anatomical landmarks is superior to that of periapical radiographs.”

Del mismo modo, la European Society of Endodontology (ESE) (114) ha emitido recomendaciones claras en favor del uso de TCHC para la evaluación prequirúrgica

en casos complejos, señalando su utilidad específica en la planificación de procedimientos perirradiculares en dientes posteriores con lesiones periapicales extensas, especialmente cuando se requiere evaluar la proximidad con estructuras anatómicas relevantes. Estas guías subrayan la superioridad diagnóstica de la TCHC frente a métodos bidimensionales tradicionales, y su potencial para mejorar la toma de decisiones clínicas.

Las limitaciones previamente descritas no constituyen únicamente un obstáculo de carácter técnico, operativo o logístico, sino que además han generado consecuencias significativas que afectan de manera directa y profunda el desarrollo cotidiano de la práctica clínica. La falta de acceso a herramientas confiables para la medición tridimensional ya sea por restricciones impuestas por los sistemas propietarios o por la imposibilidad económica de adquirir software licenciado, restringe la capacidad de muchos profesionales para obtener información anatómica precisa y detallada durante la etapa de planificación prequirúrgica. Esta carencia informativa impacta negativamente la calidad del análisis clínico, comprometiendo la toma de decisiones fundamentadas y aumentando la posibilidad de errores diagnósticos o quirúrgicos. En este contexto, tanto el profesional como el paciente se ven expuestos a riesgos potenciales evitables, particularmente en intervenciones de alta sensibilidad anatómica. En procedimientos quirúrgicos que involucran la región mentoniana, donde convergen estructuras críticas como el nervio y la arteria mentoniana, la localización precisa del FM adquiere un valor determinante, no solo para evitar lesiones neurovasculares, sino también para garantizar la efectividad y seguridad del procedimiento.

En consecuencia, la falta de un protocolo estandarizado y uniformemente aplicado para la localización anatómica precisa puede dar lugar a errores sustanciales tanto en el diagnóstico como en la planificación preoperatoria. Estas imprecisiones, lejos de ser meros detalles técnicos, pueden manifestarse al momento de la intervención clínica en forma de complicaciones quirúrgicas relevantes, muchas de las cuales pueden alcanzar niveles de severidad considerable y comprometer tanto la seguridad del procedimiento como la recuperación del paciente. Entre las complicaciones más frecuentes y clínicamente relevantes se encuentran las ya mencionadas lesiones del paquete neurovascular mandibular, cuya proximidad al foramen mentoniano convierte a esta estructura en una zona de alto riesgo quirúrgico. La afectación de este conjunto anatómico puede desencadenar parestesias persistentes, neuralgias postoperatorias, o incluso alteraciones funcionales de la masticación y del habla, situaciones que impactan de manera directa y sostenida en la calidad de vida del paciente (15,17). En efecto, más allá del dolor físico o la disfunción resultante, estas secuelas suelen tener una dimensión psicoemocional significativa para el paciente, generando angustia, frustración o disminución de la autoestima y que también conllevan un incremento sustancial en la carga que debe asumir el profesional tratante, en el ámbito legal, conllevan el riesgo de enfrentarse a demandas por mala praxis u omisión diagnóstica; en el plano emocional, generan frustración, ansiedad y cuestionamientos éticos sobre el proceder clínico; y en el terreno profesional, pueden deteriorar la reputación, la confianza del entorno laboral y la relación terapéutica con el paciente.

Frente a este panorama complejo, se vuelve imperativo impulsar la investigación de nuevos métodos de medición que puedan ser implementados en plataformas

tomográficas más accesibles, como los visualizadores gratuitos de archivos DICOM. Sin embargo, estos métodos no deben limitarse a ser operativos o funcionales, sino que deben cumplir con estándares metodológicos rigurosos en términos de precisión y confiabilidad, atributos fundamentales en entornos clínicos donde la exactitud milimétrica es crítica para el éxito terapéutico.

Contar con una metodología que garantice tanto la precisión como la confiabilidad en la medición de la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana representaría no solo un avance relevante en el ámbito clínico odontológico, sino también una contribución significativa al rigor metodológico en el campo de la investigación anatómica y radiológica. Tal herramienta permitiría establecer un marco de referencia estandarizado, crucial para la medición objetiva de estructuras anatómicas críticas, particularmente en estudios enfocados en la región mentoniana, donde pequeñas variaciones pueden tener consecuencias clínicas importantes (115,116). La estandarización metodológica fomentaría la comparabilidad entre estudios (la ausencia de esta genera sesgo), facilitando el desarrollo de metaanálisis, revisiones sistemáticas y protocolos multicéntricos con datos homogéneos y replicables, tanto en contextos diagnósticos como quirúrgicos (117,118). Esta estandarización podría también facilitar la obtención de datos homogéneos y replicables en evaluaciones diagnósticas, en la planificación quirúrgica y en la validación de intervenciones clínicas, reduciendo la variabilidad entre operadores y contextos. Además, dicha metodología adquiriría un valor aún mayor en entornos con restricciones tecnológicas y presupuestales, donde el acceso a herramientas licenciadas suele ser limitado y donde la necesidad de protocolos eficientes, simples y reproducibles se vuelve aún más apremiante (119,120). En consecuencia,

disponer de instrumentos accesibles en distintos niveles del ejercicio profesional (ya sea clínico o académico) podría contribuir de manera sustancial a fortalecer la seguridad del paciente durante procedimientos dentales. Esto se debe a que decisiones mejor informadas y planificadas disminuyen los riesgos inherentes a intervenciones invasivas (114). A su vez, la incorporación de estos recursos en la práctica diaria promovería una planificación clínica más sólida y coherente con los principios de la odontología basada en evidencia, mejorando no solo la calidad de atención, sino también los resultados funcionales y la confianza del profesional tratante en cada fase del procedimiento clínico (121).

Elegir el método y tecnología de medición adecuados es importante, queda claro que la aplicación de tecnología tomográfica, en particular la TCHC, se ha consolidado como una herramienta diagnóstica altamente versátil y en constante desarrollo dentro del campo odontológico. A diferencia de las técnicas convencionales de imagen bidimensional, como la radiografía periapical o panorámica, la TCHC permite superar múltiples limitaciones inherentes a estas modalidades, tales como el ruido anatómico (122), la bidimensionalidad de las imágenes y los diversos grados de distorsión geométrica, factores que pueden dificultar la detección precisa de lesiones periapicales confinadas al hueso esponjoso (*cancellous bone*) (123). Esta tecnología ha demostrado una notable utilidad en situaciones donde la radiografía convencional resulta inconclusa, como en la detección de signos radiográficos de patología periapical cuando los síntomas son inespecíficos, en la evaluación de traumatismos dentoalveolares no claramente evidenciables con técnicas tradicionales, y en la visualización de anatomías complejas del sistema de conductos radiculares, como en casos de *dens invaginatus*

(124). Asimismo, su uso es altamente valorado en el retratamiento no quirúrgico de casos con posibles conductos no tratados o con complicaciones de tratamientos previos, como perforaciones (125). La TCHC también resulta fundamental en la evaluación y manejo de reabsorciones radiculares, especialmente aquellas que clínicamente se consideran tratables, así como en la planificación previa a cirugías perirradiculares complejas, como lesiones periapicales extensas en molares posteriores, permitiendo valorar la proximidad a estructuras anatómicas relevantes (por ejemplo, el conducto mandibular o el foramen mentoniano) (126,127). Su capacidad para identificar la localización tridimensional de conductos obliterados y detectar cambios óseos perirradiculares indicativos de fracturas radiculares (128) (cuando la exploración clínica y las imágenes convencionales no son concluyentes) la convierte en un recurso indispensable para la toma de decisiones clínicas fundamentadas (114). Y también ha sido incorporada en el diseño y validación de procedimientos clínicos innovadores que permiten una planificación más precisa y una ejecución más controlada (6–9,12,22,33,129).

En el año 2023 se llevó a cabo un estudio en el que se comparó un protocolo simplificado basado exclusivamente en escaneos preoperatorios mediante TCHC para lograr un acceso guiado a los conductos radiculares de molares mandibulares extraídos con un flujo de trabajo más complejo que incorporaba TCHC en combinación con escaneo oral. Los hallazgos demostraron que en ambos grupos se logró acceder exitosamente a todos los conductos radiculares, destacándose las ventajas de un enfoque basado únicamente en TCHC simplificando el flujo de trabajo clínico. En particular, se evidenció que esta metodología permite trazar trayectorias de acceso altamente precisas, reduciendo significativamente la pérdida

de estructura dentaria sana, gracias a la posibilidad de diseñar accesos endodónticos guiados mediante reconstrucciones tridimensionales detalladas del diente comprometido (130). De manera similar, en 2021 se desarrollaron protocolos de navegación dinámica asistida por TCHC para la remoción de postes de fibra intrarradiculares, procedimiento que representa un desafío clínico debido al riesgo elevado de perforaciones radiculares y fracturas iatrogénicas. En el estudio comparativo, esta técnica fue enfrentada a una técnica convencional a mano alzada (*freehand technique, FH*). Los resultados evidenciaron que la navegación dinámica (Dynamic Navigation System, DNS) generó desviaciones coronales y apicales globales, así como deflexiones angulares significativamente menores que el grupo de mano alzada. Además, la técnica DNS requirió menor tiempo operatorio y produjo una pérdida volumétrica significativamente menor de estructura dentaria. Esta investigación resalta el hecho de que las imágenes de TCHC fueron parte integral de cada fase del protocolo con DNS incluso pudiendo visualizar en tiempo real la trayectoria de los instrumentos clínicos dentro del canal radicular gracias a las imágenes de la reconstrucción volumétrica, lo cual aumentó la precisión, seguridad y eficacia del procedimiento (131).

Más recientemente, Mohammad-Rahimi H, et al. (132) en 2024, la TCHC fue utilizada como referencia anatómica estándar (*ground truth*) en investigaciones pioneras que aplicaron técnicas avanzadas de inteligencia artificial (IA), específicamente a través de enfoques de aprendizaje auto-supervisado (*self-supervised learning, SSL*). Esta estrategia emergente permitió el entrenamiento de algoritmos capaces de detectar y clasificar con alta precisión reabsorciones radiculares internas y externas, diferenciándolas de lesiones cariosas, incluso en sus

estadios iniciales. Debido a la riqueza de información volumétrica ofrecida por las reconstrucciones tomográficas, fue posible generar modelos de predicción altamente confiables, con aplicaciones potenciales en entornos clínicos y académicos. La sinergia entre la TCHC y la inteligencia artificial no solo reafirma el rol de esta tecnología como herramienta diagnóstica de alta resolución, sino que también la posiciona como una plataforma integral para el diseño, simulación y validación de nuevas estrategias clínicas. Adicionalmente, la capacidad de la TCHC para reconstruir estructuras anatómicas en tres dimensiones con elevadísimos niveles de resolución y exactitud espacial ha permitido superar ampliamente las limitaciones de la exploración radiográfica convencional. Esta característica transforma a la TCHC en una herramienta de valor estratégico para la planificación clínica, brindando al profesional de la salud una herramienta poderosa para la comprensión profunda de la anatomía individual del paciente y para la toma de decisiones basadas en evidencia (107).

Considerando los desafíos previamente expuestos (tanto de índole económica como tecnológica), se hace cada vez más evidente la necesidad de reducir las barreras estructurales que actualmente limitan el uso generalizado y sistemático de la TCHC en la práctica clínica odontológica. Entre estas barreras destacan el alto costo asociado al licenciamiento de software especializado, la complejidad en la integración con otros sistemas digitales clínicos y la limitada interoperabilidad entre plataformas de diferentes proveedores, factores que, en conjunto, han contribuido a perpetuar una brecha significativa en el acceso a tecnologías de imagen avanzada. Esta problemática se acentúa en escenarios con recursos limitados (como servicios públicos, zonas rurales o centros de atención primaria), donde la infraestructura

tecnológica y la inversión en soluciones digitales suelen ser restringidas. Frente a esta realidad, se vuelve una prioridad estratégica impulsar el desarrollo y estandarización de protocolos prequirúrgicos que puedan ser implementados mediante software tomográfico gratuito. Esta alternativa no solo representa una solución técnicamente viable y económicamente accesible, sino que además constituye una vía sostenible y escalable para reducir la dependencia de plataformas comerciales de alto costo. La incorporación de estos protocolos en contextos clínicos reales permitiría integrar evaluaciones tomográficas tridimensionales precisas y reproducibles dentro del flujo de trabajo habitual sin comprometer la calidad ni la precisión del análisis morfoanatómico.

Esta apertura tecnológica, centrada en la incorporación de soluciones accesibles como el software gratuito, no solo beneficiaría a clínicas con recursos limitados o a profesionales independientes que no cuentan con licencias comerciales, sino que también tendría un impacto directo y transformador en la formación académica de los estudiantes de odontología. La posibilidad de utilizar herramientas tomográficas gratuitas desde etapas tempranas de la carrera permitiría fortalecer competencias diagnósticas fundamentales, promoviendo un aprendizaje basado en la exploración tridimensional del complejo entorno anatómico maxilofacial y en la interpretación crítica de imágenes tomográficas. La integración de estos recursos digitales contribuiría a la construcción de una cultura formativa más sólida, crítica y alineada con los principios de la odontología basada en evidencia, permitiendo que los futuros profesionales se familiaricen no solo con la tecnología, sino también con los criterios clínicos que fundamentan su uso. Tal como lo destacan diversas experiencias académicas internacionales, el impacto de las nuevas tecnologías en el

ámbito educativo va más allá del diagnóstico y tratamiento. Además, del impacto en el diagnóstico y tratamiento, las nuevas tecnologías asociadas a los cuidados dentales están teniendo un impacto significativo en la educación y entrenamientos de los estudiantes de odontología (133). Las escuelas de odontología están incorporando progresivamente estas innovaciones en sus planes de estudio, permitiendo que los estudiantes adquieran experiencia práctica directa desde el pregrado. Este enfoque pedagógico brinda una comprensión más integral del campo odontológico contemporáneo y prepara a los estudiantes para brindar atención de alta calidad a sus futuros pacientes.

Además, la estandarización de protocolos de análisis mediante plataformas abiertas permitiría diseñar metodologías reproducibles y adaptables a distintos entornos clínicos, sin depender de especificaciones propietarias o limitaciones de compatibilidad entre tomógrafos y visores. Este avance contribuiría directamente a mejorar la trazabilidad de las mediciones, la precisión diagnóstica y la seguridad de los procedimientos quirúrgicos. En particular, la posibilidad de medir con exactitud estructuras anatómicas críticas, como la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más próxima, sin depender de software licenciado.

IV. Metodología

A. Tipo y diseño del estudio

Observacional

Transversal

B. Población

La población del estudio comprende la totalidad de TCHC almacenadas en la base de datos del Servicio de Radiología Oral y Maxilofacial de la Clínica Dental Docente de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. El periodo de adquisición de las imágenes que se incluyeron en la investigación será de agosto de 2023 a agosto de 2024. Este intervalo fue seleccionado debido a la disponibilidad continua de imágenes y al uso exclusivo de un único sistema tomográfico (AXEOS – Sirona, Bernheim, Alemania), lo cual garantiza la estandarización de los archivos tomográficos mediante un tamaño de voxel y una calidad de resolución uniforme tras el procesado.

Cabe precisar que la unidad de análisis del presente estudio fue cada medición de la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana. En este sentido, las TCHC permitieron obtener más de una medición válida por imagen, ya que al tratarse de tomografías bimaxilares fue posible identificar y analizar ambos forámenes mentonianos (izquierdo y derecho) en una misma adquisición, duplicando así la cantidad de datos útiles para el estudio.

C. Muestra

La muestra es no probabilística y estuvo compuesta por las TCHC de la base de datos del servicio de Radiología Oral y Maxilofacial de la UPCH, que cumplieron con los criterios de selección establecidos.

El tamaño muestral fue determinado tras la ejecución de la prueba piloto, utilizando la prueba de equivalencia bilateral (*Two One-Sided Test*, TOST), dado que el objetivo del estudio es comparar la precisión entre dos métodos de medición y establecer si son equivalentes dentro de un margen clínicamente aceptable (± 0.5 mm). Asumiendo una desviación estándar esperada de 1 mm, un nivel de significancia de 0.05 y una potencia estadística del 90%, se obtuvo como resultado un tamaño muestral requerido de al menos 42 mediciones por método.

Dado que la unidad de análisis en este estudio corresponde a cada medición específica y considerando que cada imagen tomográfica bimaxilar permite obtener dos mediciones independientes (una por cada hemiarcada mandibular), se incluyeron 25 tomografías, resultando en un total de 50 mediciones. Esta cantidad excede el mínimo necesario (42 mediciones) y asegura la robustez estadística del análisis.

D. Criterios de selección

Criterios de Inclusión:

- Presencia de canino, primer premolar, segundo premolar y primer molar inferior.
- Dentición permanente

Criterios de Exclusión:

- Anomalías de posición: definida como una rotación mayor de 45° desde la forma del arco o superposición de dientes mayor de 2 mm.
- Presencia de imágenes con densidades compatibles a patologías óseas
- Artefactos mayores en las imágenes TCHC: Se excluirán las imágenes que presenten artefactos significativos que impidan una evaluación adecuada.

E. Variables (Anexo 1)

1. **DISTANCIA DEL FORAMEN MENTONIANO A PIEZA DENTARIA CERCANA:** Es una variable cuantitativa y es el resultado de la medición tomográfica entre el Foramen mentoniano y la pieza dental más cercana. Los indicadores serán las TCHC desde los planos axial, coronal y sagital y se le asignarán valores en milímetros.

2. **TIPO DE SOFTWARE:** Variable cualitativa dicotómica que distingue entre el software gratuito (Sidexis 4 Viewer) y el software licenciado (Xelis), utilizados para la medición de la distancia.

F. Técnicas y procedimientos para la recolección y registro de datos

Las TCHC (AXEOS, Dentsply Sirona, Bernsheim, Alemania) fueron seleccionadas de la base de datos de la Clínica Dental Docente Sede San Martín (CDD-SM), asegurando que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Este proceso fue realizado con la autorización del director de la CDD-SM y el Ingeniero de Sistemas a cargo del área quien autorizo la entrega de los archivos DICOM (Anexo 2).

Procedimiento de cegamiento, anonimización y aleatorización

Con el objetivo de minimizar el sesgo en la recolección y análisis de los datos se implementó un protocolo estructurado de cegamiento, anonimización y aleatorización, aplicado a cada una de las dos fases del estudio: prueba piloto y recolección definitiva.

El procedimiento fue ejecutado por una profesional externa e independiente al equipo de investigación. Inicialmente, los archivos DICOM

seleccionados fueron anonimizados mediante la herramienta “Wrap and Go” del software Sidexis 4 Viewer (Dentsply Sirona, Alemania), suprimiendo completamente cualquier información relacionada a fechas, nombres u otros identificadores. Posteriormente, se utilizó el software ExifTool (Phil Harvey, Canadá) para verificar la eliminación total de metadatos, garantizando que no persistieran etiquetas digitales ni datos residuales que pudieran comprometer la confidencialidad de los archivos (Anexo 3). Confirmada la anonimización, se procedió a asignar un código alfanumérico único a cada imagen (por ejemplo, “CALa001”).

A continuación, se procedió a la aleatorización de los archivos para la evaluación inicial con el software gratuito, evaluación con el software licenciado y para la reevaluación intraevaluador a una semana. Para ello, se empleó la herramienta de generación de listas aleatorias PineTools (EE. UU.), lo que permitió reorganizar las imágenes en un orden distinto e irreconocible para el evaluador en cada fase. Cada lista aleatorizada fue registrada con un código alfanumérico diferente. Toda esta información fue registrada en una hoja maestra elaborada en Microsoft Excel (Microsoft 365, EE. UU.). Esta hoja maestra fue gestionada exclusivamente por la persona encargada del cegamiento, constituyendo el único vínculo entre las imágenes anonimizadas y su correspondencia original, asegurando así el mantenimiento del cegamiento durante todas las fases del estudio (Anexo 4).

Los archivos anonimizados y aleatorizados fueron entregados a cada evaluador en dispositivos USB, junto con las fichas de recolección diseñadas para este estudio. Durante todas las fases (calibración, prueba piloto y recolección definitiva), los datos recibieron el mismo tratamiento, lo que permitió reducir el riesgo de sesgo asociado al reconocimiento de las imágenes durante el proceso de medición. En ningún momento se tuvo acceso a datos de identidad, información clínica, secuencia original de los archivos ni a su correspondencia con otras fases del estudio.

Una vez concluida la etapa de recolección de datos por parte del evaluador las fichas fueron devueltas a la persona responsable del cegamiento, quien fue la única con acceso a la hoja maestra que vinculaba los códigos alfanuméricos con los archivos tomográficos anonimizados. Esta persona consolidó y organizó la base de datos definitiva en Microsoft Excel (Microsoft 365, EE. UU.) para su posterior análisis estadístico.

Calibración del investigador

Esta fase incluyó tres sesiones estructuradas de capacitación teórica y práctica, dirigidas por una especialista en radiología oral y maxilofacial con más de 10 años de experiencia. Durante estas sesiones, el investigador fue instruido en el uso específico de los softwares a emplear en el estudio: Xelis (Infinit Dental, Corea del Sur) y Sidexis 4 Viewer (Dentsply Sirona, Alemania). Se brindó entrenamiento intensivo sobre el manejo de la

herramienta de medición tridimensional en el software licenciado y el protocolo adaptado de medición bidimensional en el software gratuito, garantizando el dominio operativo en ambos entornos.

Asimismo, se actualizaron y mejoraron las fichas de recolección de datos diseñadas específicamente para el estudio. Las fichas incluyeron apartados destinados a registrar la distancia en milímetros entre el FM, la pieza dentaria más cercana y el código anonimizado correspondiente a cada medición, asegurando uniformidad en el registro durante todas las fases del estudio.

La calibración inter-evaluador consistió en la evaluación comparativa de 10 mediciones tanto por el investigador como por la calibradora, utilizando ambos softwares. Los resultados fueron comparados mediante el cálculo del coeficiente de correlación intraclase (CCI), obteniéndose valores de 0.996 en el software gratuito y 0.970 en el software licenciado, reflejando una concordancia excelente.

Asimismo, se realizó la calibración intra-evaluador, donde el investigador realizó las mismas mediciones en dos tiempos distintos, con una semana de diferencia, tanto en el software gratuito como en el software licenciado. Los valores de ICC obtenidos fueron de 0.998 y 0.997, respectivamente, confirmando la alta consistencia de las mediciones realizadas por el investigador.

Prueba piloto

Posteriormente, se realizó la prueba piloto con el fin de validar la operatividad del protocolo de recolección de datos, la adecuación de las fichas de recolección, la logística de cegamiento y aleatorización, así como la pertinencia de las pruebas estadísticas planificadas.

Una vez completado el proceso de cegamiento, aleatorización y anonimización, los archivos fueron entregados al evaluador, quien realizó un total de 20 mediciones determinando la distancia desde el FM hasta la pieza dentaria más cercana utilizando tanto el software gratuito (Sidexis 4 Viewer) como el software licenciado (Xelis). Las mediciones se distribuyeron en cuatro sesiones consecutivas: dos sesiones para el software gratuito y dos para el software licenciado, realizando 10 mediciones por día, con pausas de 30 minutos cada cinco mediciones para evitar la fatiga del evaluador. Cada medición tuvo una duración aproximada de 4 minutos. Para la evaluación de confiabilidad intraevaluador, se repitieron 20 mediciones con el software gratuito una semana después, también distribuidas en dos sesiones consecutivas de 10 mediciones por día, bajo las mismas condiciones logísticas y operativas. Todas las mediciones fueron realizadas por el investigador principal, previamente calibrado.

Todas las mediciones realizadas durante la prueba piloto fueron registradas electrónicamente en fichas de recolección diseñadas para este estudio

(Anexo 5). Una vez completado el registro, dichas fichas fueron entregadas al encargado del cegamiento, quien consolidó los datos en una base electrónica utilizando la tabla maestra como referencia, asegurando la correcta asignación y preservación del anonimato previo al análisis. Esta fase permitió confirmar la factibilidad operativa del protocolo, incluyendo la funcionalidad del proceso de cegamiento, la adecuación de los instrumentos de registro y la aplicabilidad de los métodos estadísticos previstos.

Recolección de datos

En total, se realizaron 50 mediciones utilizando el software gratuito y 50 mediciones con el software licenciado, siguiendo condiciones operativas previamente establecidas. Los archivos anonimizados fueron entregados al investigador en dispositivos USB por el responsable del cegamiento, organizados en lotes independientes para cada software y codificados individualmente con identificadores alfanuméricos que no permitían reconocer a qué caso específico pertenecía cada imagen ni vincular los archivo entre sí.

La evaluación se desarrolló en tres jornadas consecutivas. Con Sidexis 4 Viewer (software gratuito), se realizaron 15 mediciones el primer día (10 seguidas de una pausa de 30 minutos y luego 5 más), 15 mediciones el segundo día bajo el mismo esquema, y 20 mediciones el tercer día (10, pausa

de 30 minutos, 10 adicionales). El mismo cronograma se siguió posteriormente con Xelis (software licenciado). Cada medición tuvo una duración aproximada de 4 minutos, permitiendo mantener un ritmo constante. Esta distribución buscó minimizar la fatiga del evaluador, preservar su concentración y reducir el riesgo de errores sistemáticos. Además, permitió establecer un procedimiento estandarizado y replicable.

Evaluación de precisión

Posteriormente, el investigador realizó las mediciones en los dos softwares:

- **Mediciones en software gratuito:** Utilizando el software Sidexis 4 Viewer (Dentsply Sirona, Bernsheim, Alemania), las mediciones se realizaron aplicando un protocolo estructurado de alineamiento que permitió obtener una visualización bidimensional óptima para la medición.

Durante el proceso de medición se navegó a través del plano axial hasta ubicar visualmente la región del foramen mentoniano (Anexo 6). Se definió el eje longitudinal de la pieza dentaria que iba a ser evaluada, realizando ajustes tanto en el plano sagital como en el plano coronal, de modo que estos se alinearan con precisión respecto al eje largo de dicha pieza (Anexo 7). Luego, observando el plano axial, se rotó el plano coronal hasta obtener un corte que incluyera simultáneamente el vértice tomográfico de la pieza dentaria más cercana y la porción externa del foramen mentoniano. Sobre este único corte coronal, modificado a partir de los pasos previos, se empleó

la herramienta de medición bidimensional integrada en el software para registrar la distancia lineal entre ambos puntos anatómicos (Anexo 8). Este método, aunque no tridimensional, permitió obtener mediciones consistentes a partir de una alineación estratégica de planos y una visualización optimizada en un solo corte coronal.

- **Mediciones en software licenciado:** Con el software licenciado Xelis (Infinit Healthcare, Corea del Sur), las mediciones se realizaron utilizando la herramienta de “medición tridimensional”, que permite trazar una distancia continua entre dos puntos anatómicos a lo largo de los diferentes planos ortogonales, con actualización dinámica y automática en tiempo real durante la navegación.

El procedimiento se inició localizando en el plano axial la región del foramen mentoniano y, dentro de esta, identificando visualmente su porción externa (Anexo 9). Posteriormente, se ajustó el plano sagital siguiendo el eje longitudinal de las piezas dentarias vecinas, de modo que permitiera observar con claridad sus vértices anatómicos (Anexo 10). A continuación, se navegó a través del plano sagital hasta identificar el vértice tomográfico de la raíz más próxima al foramen mentoniano, donde se colocó el punto inicial de medición tridimensional (punto 1). Luego, desplazándose libremente por el mismo plano sagital y con apoyo visual simultáneo del plano axial, se localizó la porción externa del foramen mentoniano, en la cual se ubicó el punto final (punto 2) (Anexo 11). Durante todo este recorrido, la herramienta mantuvo activa una línea de medición

tridimensional visible y en constante actualización, permitiendo un control preciso del vector de medición en tiempo real. La distancia final fue confirmada visualmente en la reconstrucción volumétrica (ver Anexo 12).

Evaluación de confiabilidad

Una semana después, se repitieron las 50 mediciones con el software gratuito, siguiendo el mismo protocolo de análisis descrito anteriormente. Esta segunda evaluación se llevó a cabo también en tres días consecutivos, replicando la secuencia de pausas y distribución diaria de mediciones. Las imágenes fueron nuevamente aleatorizadas y entregadas con códigos diferenciados, evitando cualquier reconocimiento de las imágenes entre ambos momentos.

Cada medición realizada, tanto en software gratuito como en software licenciado, fue registrada de manera electrónica en fichas de recolección de datos diseñadas específicamente para el estudio. Estas fichas incluían campos destinados a consignar la distancia medida en milímetros entre el FM y la pieza dentaria más cercana, la identificación de dicha pieza según nomenclatura estandarizada, y el código alfanumérico correspondiente a cada imagen evaluada.

Una vez finalizado el proceso de recolección, las fichas de recolección fueron entregadas a la encargada del cegamiento, quien consolidó y organizó la base de datos definitiva utilizando la tabla maestra. La

información obtenida fue registrada en una base de datos electrónica (Microsoft Excel, Microsoft 365, Albuquerque, EE. UU.), destinada al posterior análisis estadístico.

G. Aspectos éticos del estudio

Este estudio fue realizado con la aprobación del Comité Institucional de Ética en Investigación (CIEI) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia con el código CIEI-551-43-24. (Anexo 13).

Se obtuvo la autorización formal para el ingreso y uso de los equipos del área de Radiología Oral y Maxilofacial de la Clínica Dental Docente, así como para la entrega controlada de los archivos DICOM correspondientes a las imágenes TCHC seleccionadas de la base de datos institucional (Anexo 14 y 15).

El manejo de los datos siguió estrictamente las directrices establecidas por el CIEI, garantizando la protección de los derechos de los sujetos de estudio y asegurando la confidencialidad mediante un proceso riguroso de anonimización y aleatorización de los archivos (descrito previamente), ejecutado por una persona externa e independiente al equipo de investigación. Adicionalmente, el acceso a las bases de datos fue restringido únicamente al equipo investigador autorizado, conforme a las políticas de seguridad institucional vigentes.

H. Análisis de datos

El análisis de los datos se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la precisión y confiabilidad de las mediciones realizadas con un software gratuito en comparación con un software licenciado. Los datos recolectados fueron procesados y analizados estadísticamente para determinar la validez de las mediciones, la consistencia intra e interevaluador, y las diferencias entre ambos métodos. El análisis se organizó en varias etapas para garantizar un enfoque robusto y sistemático.

En primer lugar, se evaluó el grado de acuerdo de las mediciones mediante el análisis de Bland-Altman. Este método permitió identificar el sesgo y los límites de acuerdo (95%) entre las mediciones realizadas con el software gratuito y el software licenciado. Este análisis fue realizado utilizando la herramienta estadística Jamovi (Jamovi, ver. 2.3. Sydney, Australia, R Studio), y los resultados fueron representados visualmente a través del gráfico de Bland-Altman.

La confiabilidad intra e interevaluador para calibración, prueba piloto y recolección principal fue analizada mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación Intraclass (CCI), que cuantifica la consistencia de las mediciones. La confiabilidad intraevaluador (calibración, prueba piloto y recolección principal) se determinó comparando las mediciones realizadas por el mismo evaluador en dos momentos diferentes, mientras que la confiabilidad interevaluador (calibración) evaluó el acuerdo entre el investigador y una especialista en radiología con 10 años de experiencia analizando el mismo conjunto de datos. Este análisis también fue realizado en Jamovi (Jamovi, ver. 2.3. Sydney, Australia, R Studio).

Adicionalmente, se calculó el error de Dahlberg para evaluar la repetibilidad de las mediciones realizadas con el mismo software. Este cálculo, realizado en (Python Python Software Foundation. Python (Ver. 3.10). Wilmington, DE) representó las diferencias entre mediciones repetidas y el número total de pares de mediciones, buscando confirmar la precisión intraevaluador y la repetibilidad de las mediciones realizadas con el software gratuito.

De manera complementaria, se realizó un análisis descriptivo de las características anatómicas evaluadas, incluyendo la distancia del FM a la pieza dentaria más cercana, clasificada según la escala propuesta por Von Arx (28), la cual establece cuatro grupos: I (<1 mm), II (1–3 mm), III (3.1–5 mm) y IV (>5 mm), y la identificación de la pieza dentaria más próxima. Para ambas variables se calcularon frecuencias absolutas y porcentajes, diferenciando los resultados obtenidos con el software gratuito y el software licenciado.

Los resultados obtenidos fueron representados mediante tablas descriptivas y gráficos para facilitar su interpretación.

V. Resultados

Se realizaron 50 mediciones con cada software (gratuito y licenciado), así como 50 mediciones repetidas con el software gratuito una semana después. El análisis de Bland-Altman utilizado para evaluar el grado de acuerdo entre ambos softwares, determinó un sesgo promedio de 0.034 mm (IC 95%: -0.00562 a 0.0736 mm) con límites de acuerdo situados entre -0.2392 mm y 0.3072 mm (Tabla 1). El gráfico de Bland-Altman evidencio la ausencia de patrones sistemáticos en la distribución de diferencias a lo largo del rango de valores; es decir, las discrepancias entre ambos softwares se distribuyeron de manera uniforme alrededor de la línea de sesgo (homocedasticidad), sin depender de la magnitud de la distancia medida (Figura 1).

El análisis de confiabilidad intraevaluador para las mediciones en software gratuito, determinada mediante mediciones realizadas en dos momentos con una semana de intervalo, mostró un coeficiente de correlación intraclase (CCI) de 0.996 (Tabla 2). Para evaluar las diferencias en las mediciones repetidas, se calculó el error de Dahlberg, obteniéndose un valor de 0.059 mm.

En cuanto al análisis descriptivo, la distancia promedio entre el FM y la pieza dentaria más cercana fue de 5.79 mm con el software gratuito y 5.76 mm con el software licenciado. De acuerdo con la clasificación propuesta por Von Arx y col. (28), la mayoría de las mediciones correspondieron al grupo IV (>5 mm), 72% en el software gratuito y 70% en el software licenciado. El grupo III (3,1 – 5 mm) representó el 26% y 28% respectivamente, mientras que el grupo II (1 – 3 mm) fue identificado únicamente en un caso (2%) en ambos softwares. No se registraron mediciones dentro del grupo I (<1 mm) (Tabla 3).

En relación con la pieza dentaria más cercana al foramen mentoniano, la segunda premolar mandibular (2PM) fue la más frecuente en las mediciones realizadas tanto con el software gratuito como con el software licenciado, observándose en el 90% de los casos (45 de 50 mediciones en cada caso). En menor proporción se identificó la primera premolar mandibular (1PM) en el 6% de los casos (3/50) y la primera molar mandibular (1M) en el 4% (2/50). Estos valores se presentan como una descripción de la distribución anatómica observada en la muestra. (Tabla 4).

La distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana presentó valores promedio muy similares entre ambos softwares: el software gratuito registró una media de 5.79 mm con una desviación estándar de 1.32 mm, mientras que el software licenciado registró una media de 5.76 mm con una desviación estándar de 1.36 mm (Tabla 5).

VI. Discusión

El objetivo central del presente estudio fue evaluar y comparar la precisión y la confiabilidad de las mediciones lineales utilizadas para determinar la distancia entre el foramen mentoniano (FM) y la pieza dentaria más cercana, empleando dos softwares tomográficos distintos: Sidexis 4 Viewer (Dentsply Sirona, Alemania), como software gratuito, y Xelis (Infinitt Healthcare, Corea del Sur), como software licenciado. Ambas herramientas fueron aplicadas sobre imágenes previamente obtenidas mediante tomografía computarizada de haz cónico (TCHC), seleccionadas del archivo clínico del Servicio de Radiología Oral y Maxilofacial de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Esta comparación buscó determinar si el uso de un software gratuito, bajo condiciones estandarizadas de medición y operado por un evaluador previamente calibrado, podría alcanzar niveles de precisión y confiabilidad comparables a los obtenidos mediante un sistema licenciado específicamente con su herramienta de medición tridimensional. En ese sentido, el estudio no solo responde a una interrogante técnica relacionada con la calidad de las mediciones anatómicas obtenidas por distintas plataformas, sino que también aborda una necesidad práctica y contextual, orientada a validar el uso de herramientas accesibles y sostenibles en entornos clínicos reales en escenarios donde las restricciones económicas y tecnológicas limitan el acceso a software especializado, situación frecuente en servicios públicos, instituciones académicas o prácticas privadas de bajos recursos. En consecuencia, la posibilidad de contar con protocolos de medición anatómica confiables, basados en software gratuito, permitiría facilitar el acceso a herramientas de evaluación prequirúrgica con capacidades útiles en un entorno clínico.

En la revisión de la literatura no se identificaron estudios que evaluaran de forma directa y comparativa dos softwares tomográficos para mediciones morfanatómicas. Ante esta ausencia, fue necesario ampliar la búsqueda a investigaciones que, aunque no abordaban este tipo de análisis en tomografías, sí comparaban softwares o tecnologías en ámbitos odontológicos y médicos. En este conjunto más amplio de trabajos, se observó que las metodologías aplicadas eran distintas entre sí, sin un patrón que pudiera considerarse un modelo de referencia. Así, se confirma que no existe un modelo estandarizado aplicable a investigaciones de análisis y comparación entre softwares en el área odontológica. De todas estas publicaciones, solo dos han reportado la aplicación de un proceso de calibración: Prashanti, et al. (134) y Vasconcelos, et al. (135), y en ambos casos sin proporcionar detalles metodológicos suficientes, lo cual constituye una limitación frecuente en este tipo de investigaciones. En contraste, el presente estudio fue estructurado de modo que la etapa de calibración formara parte integral del diseño metodológico, con el objetivo de asegurar la estandarización de las mediciones.

Con los datos obtenidos, se aplicó el análisis estadístico de Bland-Altman con el objetivo de evaluar el grado de concordancia entre ambos softwares y sus herramientas de medición. El análisis reveló un sesgo promedio de 0.034 mm, lo que indica que las mediciones realizadas con el software gratuito fueron ligeramente mayores que aquellas obtenidas mediante el software licenciado. Esta conclusión se ve respaldada por el intervalo de confianza del 95 %, que osciló entre -0.00562 mm y 0.0736 mm, e incluyó el valor cero, lo que implica que la diferencia real entre ambos métodos podría ser nula, es decir, que no existe una diferencia real entre ellos. En términos prácticos, esto sugiere que no existe una diferencia

sistemática relevante entre los resultados obtenidos por ambos softwares. Es decir, no se identificó una tendencia consistente que indicara que uno de los métodos midiera sistemáticamente por encima o por debajo del otro. Esta ausencia de sesgo direccional sugiere que ambos softwares producen resultados comparables dentro del contexto de medición planteado en este estudio.

Asimismo, los límites de acuerdo se ubicaron entre -0.2392 mm y 0.3072 mm, evidenciando que las diferencias individuales entre ambos métodos de medición se mantuvieron cercanas a un rango clínicamente aceptable (0.5 mm). A este rango se le ha denominado margen de tolerancia en el presente estudio, y su justificación se encuentra respaldada por la literatura, Al-Ekrish (32) en un estudio experimental comparó mediciones lineales bidimensionales obtenidas a partir de tres softwares tomográficos con mediciones reales realizadas sobre mandíbulas humanas. Sus resultados concluyeron que un margen de tolerancia de hasta 0.5 mm es razonable y clínicamente seguro, especialmente en aplicaciones relacionadas con diagnóstico y planificación prequirúrgica. Asimismo, Fokas, et al. (33) realizaron una revisión sistemática centrada en la precisión de las mediciones lineales en TCHC, donde indicaron que una distancia mínima de 2 mm es recomendada como margen de seguridad en intervenciones quirúrgicas cercanas a estructuras anatómicas críticas, es decir, si las mediciones se encuentran dentro del margen de tolerancia (0.5 mm) el clínico puede confiar en que su margen de seguridad quirúrgico no se verá comprometido por imprecisiones del software. También reconocieron que la precisión de las mediciones puede verse afectada por variables asociadas al equipo de adquisición. Como señalan los autores, *“es posible que ciertas marcas y modelos de equipos TCHC presenten distintos niveles de precisión”* en las mediciones

lineales debido a múltiples factores técnicos que no dependen del operador, como la filtración del haz, las distancias entre el objeto, la fuente y el sensor, los algoritmos de reconstrucción utilizados, o el diseño de los sistemas de sujeción craneal, todos ellos elementos que pueden influir directamente en la calidad y exactitud de la imagen obtenida. Además, estos autores subrayaron que el tamaño del vóxel en los equipos actuales de TCHC representa una fuente técnica de error potencial, ya que variaciones en este parámetro pueden generar sobrestimaciones o subestimaciones sutiles de las dimensiones reales. Es importante destacar que, aunque una reducción del tamaño del vóxel mejora la resolución espacial tridimensional, también aumenta la dosis de radiación, por lo que la elección del tamaño de voxel óptimo debe equilibrar precisión diagnóstica y seguridad del paciente (136).

Adicionalmente, la TCHC presenta una limitación inherente relacionada con la estandarización de los niveles de gris, a diferencia de la tomografía médica, donde los valores de densidad (unidades Hounsfield) son cuantificables y comparables. En TCHC, los niveles de gris no están estandarizados entre fabricantes, lo que implica que áreas con densidad ósea similar pueden representarse con escalas de gris distintas (137). Esta inconsistencia afecta indirectamente la segmentación precisa de márgenes anatómicos, dificultando la delimitación exacta de estructuras óseas, especialmente en análisis cuantitativos.

A estos factores técnicos se suma la variabilidad inter-observador, que, si bien puede ser mitigada mediante entrenamiento y estandarización, también justifica el establecimiento de un margen de tolerancia que permita preservar la calidad y

reproducibilidad de las mediciones. Otros elementos que influyen en la calidad de imagen y, por lo tanto, en la precisión incluyen el movimiento mandibular durante la adquisición, así como la presencia de restauraciones metálicas, como coronas o brackets, que generan artefactos e interfieren con la visualización de las estructuras (138). Por último, la definición de un margen de tolerancia clínico realista resulta esencial para evitar interpretaciones erróneas. Un margen excesivamente amplio (≥ 1 mm) podría llevar a subestimar cambios clínicamente significativos, mientras que un margen demasiado estrecho (por ejemplo, 0.2 mm) podría resultar clínicamente irrealista, ya que no reflejaría la resolución técnica y variabilidad inherente al proceso. Al respecto, Mangione, et al. (129) reportaron una diferencia sistemática de aproximadamente 0.20 mm entre mediciones obtenidas con TCHC y micro CT, confirmando la existencia de un límite técnico submilimétrico inherente a la tecnología TCHC (porque la propia tecnología no tiene resolución submilimétrica) y al siempre presente error humano, los autores también concluyen que pese a esa diferencia las mediciones realizadas con TCHC son clínicamente confiables. En función de todo lo anterior, el presente proyecto adoptó un margen de tolerancia de 0.5 mm, coherente con la variabilidad inherente del proceso de adquisición, reconstrucción y análisis de las imágenes TCHC. Este margen de tolerancia permite asegurar que las mediciones obtenidas sean suficientemente precisas y clínicamente útiles tanto para su aplicación en la práctica profesional como en entornos de investigación.

En la gráfica correspondiente al análisis de Bland-Altman (Figura 1) se observó que las diferencias entre ambos métodos de medición se distribuyeron de manera homogénea a lo largo del rango de promedios. Esta distribución uniforme indica

que las discrepancias no se concentraron en un extremo particular del rango de valores medidos, aspecto especialmente relevante en estudios donde las magnitudes (distancia) pueden variar de forma considerable entre los casos evaluados. En otras palabras, no se detectó una tendencia que sugiriera un aumento proporcional del error conforme se incrementaba la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana. En este sentido, los resultados muestran que la variabilidad de las diferencias se mantuvo constante a lo largo del rango evaluado (homocedasticidad), lo que constituye un indicador favorable para el desempeño del software gratuito y respalda su potencial aplicación clínica.

Además, en la gráfica de Bland-Altman los puntos se distribuyeron de manera simétrica alrededor de la línea de sesgo promedio y permanecieron dentro de los límites de acuerdo. Esta disposición indica que no se identificaron patrones de variabilidad en las diferencias, lo que refuerza la validez de la comparación entre ambos métodos. Esta característica es fundamental al evaluar la precisión entre dos métodos, pues indica que las diferencias observadas son aleatorias y no dependen del valor medido. En consecuencia, los resultados del análisis de Bland-Altman respaldan la idea de que el software gratuito mantiene un comportamiento estable a lo largo de distintos escenarios anatómicos, en este caso, en la medición de la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana. Con una mayor investigación, este comportamiento podría extrapolarse a diversas situaciones clínicas en las que las distancias entre estructuras varíen de manera significativa. Esta consistencia bajo distintas condiciones respalda que, siempre que se apliquen criterios estandarizados de visualización y protocolos de medición rigurosos, el software gratuito puede ofrecer resultados equivalentes en términos de

precisión en la medición de la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana, coincidiendo con el software licenciado independientemente de la complejidad anatómica del caso evaluado.

En relación con la confiabilidad intraevaluador, el análisis estadístico mediante el coeficiente de correlación intraclass (CCI) arrojó un valor de 0.996 para las mediciones obtenidas con el software gratuito en dos momentos distintos, separados por un intervalo de una semana. La elección de este periodo se fundamentó en que no existe un estándar rígido que defina la duración exacta entre mediciones, ya que esta decisión depende de múltiples factores, como la estabilidad esperada del fenómeno evaluado, la naturaleza de la variable y el riesgo de sesgos derivados del recuerdo consciente o inconsciente del evaluador. En este sentido, Portney y Watkins señalan que la confiabilidad intraevaluador debe evaluarse dejando pasar un tiempo suficiente para prevenir efectos de memoria, pero no tan prolongado como para que la característica evaluada pueda modificarse de manera natural (139). Bajo este criterio, se consideró adecuado para el presente estudio un intervalo de evaluación de una semana. El valor de $CCI = 0.996$ obtenido representa un nivel de consistencia excelente, situándose por encima del umbral de 0.90 propuesto por Koo y Li (140) como referencia para clasificar la confiabilidad como excelente en estudios de medición. Un valor de esta magnitud indica que la variabilidad entre dos mediciones sucesivas realizadas por el mismo evaluador es mínima, lo que respalda la conclusión de que, bajo condiciones estandarizadas y con entrenamiento adecuado, el software gratuito permite obtener resultados altamente repetibles y consistentes. Esto confirma que la estabilidad del juicio del operador no se ve afectada por el paso del tiempo cuando se siguen protocolos rigurosos de

visualización y registro, lo cual constituye un requisito indispensable para garantizar la fiabilidad de los datos en estudios de morfometría radiológica. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas. Yanık y Nalbantoğlu (31) reportaron coeficientes de correlación intraclase de 0.972 y 0.978 al evaluar la posición del foramen mentoniano en imágenes TCHC utilizando el software de código abierto Horos, también con mediciones separadas por una semana. De forma similar, Kalender, et al. (27). encontraron un CCI de 0.963 al analizar distancias anatómicas relacionadas con el foramen mentoniano mediante software licenciado, utilizando tanto radiografías panorámicas como imágenes TCHC. Asimismo, Rodríguez AB, et al. (141) obtuvieron un CCI de 0.956 al realizar mediciones lineales con dos softwares tomográficos licenciados para evaluar la pérdida de tejido óseo en pacientes con periimplantitis. En conjunto, estos resultados refuerzan que, cuando se aplican criterios de visualización estandarizados, tanto los softwares gratuitos como los licenciados pueden alcanzar niveles de confiabilidad equivalentes.

El error de Dahlberg se utilizó en este estudio como medida cuantitativa para evaluar la precisión intraevaluador, calculado a partir de la comparación entre dos series de mediciones independientes realizadas con el software gratuito en momentos distintos, con un intervalo de una semana entre ambas. Este tipo de análisis permite estimar la magnitud absoluta de la variabilidad entre mediciones repetidas, sin depender de la correlación estadística entre ellas. El valor obtenido fue de 0.059 mm, lo que indica una discrepancia promedio mínima entre ambas mediciones. Esta diferencia resulta particularmente reducida si se considera que las distancias lineales anatómicas evaluadas se encuentran en el rango de 5 a 6 mm. La

baja variabilidad observada sugiere que el procedimiento de medición protocolizado en el software gratuito fue altamente preciso y reproducible.

Aunque el coeficiente de correlación intraclase (CCI) se emplea habitualmente para evaluar la consistencia relativa entre dos o más mediciones (determinando qué proporción de la variabilidad total se debe a diferencias reales entre las unidades medidas y no al error), su enfoque es esencialmente relacional y no expresa de forma directa la magnitud del error (140). En contraste, el error de Dahlberg ofrece una perspectiva cuantitativa y absoluta, al estimar, en las mismas unidades de la variable evaluada (en este caso, milímetros), el promedio de la discrepancia entre dos mediciones realizadas sobre una misma muestra (142). En este sentido, ambos métodos se consideran complementarios: mientras el CCI indica qué tan consistentes son las mediciones en términos estadísticos, el error de Dahlberg permite conocer el grado real de diferencia en cada medición, proporcionando un valor que puede interpretarse directamente desde el punto de vista clínico y técnico. Tal como señala Perinetti (143) en su revisión metodológica, la fórmula del error de Dahlberg es una de las herramientas más robustas y recomendadas para estimar la repetibilidad de mediciones continuas en estudios cuantitativos, especialmente en disciplinas clínicas donde incluso las diferencias mínimas pueden tener relevancia diagnóstica o terapéutica. Su simplicidad de cálculo, junto con la capacidad de ofrecer una estimación directa de la variabilidad absoluta entre mediciones, la convierten en un complemento valioso a otras métricas estadísticas, como el CCI, dentro del análisis de precisión intraevaluador (144)

Tomando en cuenta la elevada precisión y el alto nivel de confiabilidad observados en las mediciones realizadas con el software gratuito, resulta pertinente enfocar la atención en los hallazgos anatómicos obtenidos a partir de dichas mediciones, así como en las posibles implicancias clínicas derivadas de estos. La validez de cualquier análisis morfológico o estructural depende, en gran medida, de la calidad de la medición que lo respalda; por ello, una vez confirmada la solidez metodológica del proceso de medición (evidenciada tanto en su repetibilidad como en su precisión interna), se justifica plenamente examinar cómo estos datos pueden traducirse en información aplicable a la planificación de intervenciones clínicas en la región periapical y mandibular. Bajo esta perspectiva, los resultados cuantitativos adquieren un valor práctico al integrarse en protocolos quirúrgicos y terapéuticos orientados a preservar la integridad de estructuras anatómicas críticas, como el foramen mentoniano y sus componentes neurovasculares. Durante los procedimientos quirúrgicos que implican intervenciones en la región mandibular, se llevan a cabo distintos tipos de incisiones y maniobras operatorias que comprometen diversos tejidos anatómicos. Estas incluyen heridas incisionales (145), diseccionales (146) y excisionales (147) que atraviesan estructuras como la mucosa oral, el periostio, el hueso cortical y medular, el periodonto e incluso, en ciertos casos, las raíces dentarias. Dada la proximidad del FM a estas zonas quirúrgicas, y considerando que de él emergen el nervio mentoniano y vasos sanguíneos de importancia funcional, una planificación detallada y precisa del procedimiento se vuelve indispensable. En este contexto, establecer la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana se convierte en un aspecto esencial de cualquier intervención clínica en esta región.

En el presente estudio, la distancia promedio desde el FM hasta la pieza dentaria más cercana fue de 5.79 mm con las mediciones obtenidas mediante el software gratuito y de 5.76 mm al emplear el software licenciado. La similitud entre las medias indica que el protocolo de medición desarrollado para el software gratuito pese a no contar con herramientas automatizadas avanzadas, fue capaz de generar estimaciones consistentes con las del software licenciado. Estos valores se pueden contrastar con los reportados por Yanik, et al. (31), quien obtuvo un promedio de 5.27 mm para la distancia entre el FM y la pieza dentaria más cercana. A pesar de las diferencias en el software utilizado y en los contextos poblacionales, las distancias halladas en el presente estudio (5.79 mm y 5.76 mm) se ubican dentro de un rango muy próximo al previamente reportado. Esta cercanía refuerza la solidez de las mediciones obtenidas con el software gratuito bajo condiciones estandarizadas, sugiriendo que, con un protocolo adecuado, es posible alcanzar niveles de precisión equiparables a los obtenidos con software licenciado. No obstante, es importante considerar que pueden existir ligeras variaciones derivadas de factores como las características poblacionales, las condiciones de imagen o las referencias anatómicas empleadas en cada investigación (27,29,77).

Asimismo, se observó que el 72 % de las mediciones realizadas mediante el software gratuito y el 70 % de aquellas obtenidas con el software licenciado situaron al FM a una distancia mayor de 5 mm de la pieza dentaria más próxima. Estudios previos que emplearon TCHC para evaluar esta distancia también han documentado que la mayoría de las mediciones superan los 5 mm utilizando software con licencia (27,28,148). Este paralelismo sugiere una tendencia anatómica consistente en esta región y resulta especialmente relevante al considerar que en el presente estudio se

alcanzaron resultados equivalentes mediante el uso de software gratuito, lo que sugiere una tendencia anatómica recurrente al analizar esta región, independientemente del tipo de software utilizado. Se identificaron, sin embargo, dos casos puntuales en los que la distancia entre el FM y la pieza dentaria más próxima se situó en un rango crítico de 1 a 3 mm: uno correspondiente a la imagen codificada como *PILa003IZQ* en el grupo evaluado con software gratuito, y otro a la imagen *PILa003DER* en el grupo analizado mediante software licenciado. Aunque poco frecuentes, estos valores requieren especial atención por su posible implicancia clínica. El tamaño promedio de una lesión apical puede oscilar entre 7 y 18 mm, lo que implica que, en presencia de patologías endodónticas, la expansión inflamatoria o infecciosa podría comprometer el trayecto del nervio mentoniano (149). Por lo tanto, incluso sin intervención quirúrgica directa, la proximidad entre estructuras anatómicas y focos infecciosos puede derivar en alteraciones neurosensoriales.

Por lo tanto, es evidente el riesgo asociado a procedimientos clínicos en esta zona, considerando el efecto neurotóxico bien documentado de algunos irrigantes y cementos endodónticos, así como la posibilidad de comprometer la integridad de las estructuras neurovasculares durante intervenciones quirúrgicas. Estas distancias son relevantes no solo en el ámbito endodóntico, sino también en otros procedimientos quirúrgicos de la región mentoniana, como la planificación de implantes u otras intervenciones que requieran una delimitación anatómica precisa para evitar complicaciones funcionales o neurosensoriales (47). En este sentido, diversos autores como Von Arx, et al. (28), Wang X, et al. (69), Aminoshariae, et al. (13) y Venskutonis, et al. (46), así como organismos de referencia como la

Asociación Americana de Endodoncia (AAE) y la Academia Americana de Radiología Oral y Maxilofacial (AAOMR), han enfatizado (en sus publicaciones y declaraciones oficiales, incluyendo su más reciente *position statement*) la importancia del uso sistemático de la TCHC como herramienta fundamental en la planificación de procedimientos quirúrgicos endodónticos, dada su capacidad para proporcionar una evaluación tridimensional precisa de las estructuras anatómicas críticas (113). Finalmente, es importante recalcar que la distancia entre el FM y el ápice de la pieza dentaria más cercana constituye una medida tridimensional cuya estimación precisa solo puede lograrse mediante tomografía volumétrica como la TCHC (13), ya que permite reconstrucciones multiplano que reflejan con fidelidad la anatomía real, superando las limitaciones inherentes a los métodos bidimensionales.

Además de los hallazgos relacionados con la distancia promedio, el presente estudio identificó como aspecto relevante la frecuente asociación anatómica entre el FM y la segunda premolar mandibular (2PM), que se posicionó como la pieza dentaria más cercana al FM en la mayoría de los casos evaluados. En cuanto a la distribución específica, el software gratuito identificó a la 2PM como la pieza más próxima al FM en el 90 % de los casos. Estos mismos porcentajes fueron replicados por el software licenciado, evidenciando una distribución idéntica en ambos lados de la mandíbula. La coincidencia entre ambos sistemas refuerza la consistencia del protocolo aplicado y sugiere una notable estabilidad anatómica de esta relación, independientemente del tipo de software empleado para su análisis.

Está marcada predominancia de la 2PM como referencia anatómica más frecuente en relación con el FM concuerda con lo descrito en la literatura especializada. Diversos estudios previos como los realizados por von Arx, et al. (28), Kalender, et al. (27), Yanık, et al. (31) y Sheth, et al. (25) han identificado consistentemente a la 2PM como la pieza dentaria más comúnmente asociada al FM, consolidando su papel como un punto de referencia confiable durante la planificación clínica y quirúrgica en la región mentoniana. La primera premolar (1PM) y la primera molar (1M) también fueron registradas como piezas dentarias adyacentes al FM, aunque en una proporción considerablemente menor, con frecuencias que oscilaron entre el 4 % y el 6 % en ambos softwares. Estas variaciones pueden estar influenciadas por factores morfológicos individuales y por la posición tridimensional del FM en el cuerpo mandibular, aspectos que podrían pasar desapercibidos con métodos de menor resolución.

Las medias y desviaciones estándar obtenidas para ambos softwares (5.79 ± 1.32 mm vs 5.76 ± 1.36 mm) muestran patrones prácticamente similares, lo que indica que ambos métodos capturan de manera similar la variabilidad anatómica real de la distancia FM–pieza dentaria más cercana. Este hallazgo es coherente con el sesgo promedio de 0.034 mm observado en el análisis de Bland–Altman y con unos límites de acuerdo que permanecen dentro del margen clínico de tolerancia establecido (± 0.5 mm), reforzando la interpretación de que la diferencia entre métodos es muchísimo más pequeña que la diferencia real entre pacientes y, por tanto, ambos pueden considerarse intercambiables para este tipo de medición.

Esta variabilidad refuerza la recomendación de utilizar la TCHC como herramienta de planificación prequirúrgica, ya que solo un enfoque tridimensional detallado permite identificar con precisión la relación espacial entre el FM y las estructuras dentarias adyacentes, contribuyendo a una mayor seguridad en la intervención clínica. La similitud observada en la distribución de las piezas dentarias más cercanas al FM entre ambos softwares (gratuito y licenciado) refuerza la solidez del protocolo de medición empleado en el presente estudio. Esta concordancia sugiere que, bajo condiciones controladas y con una metodología estandarizada, el software gratuito puede constituir una herramienta válida para el análisis morfoanatómico de estructuras anatómicas críticas como el FM.

Una de las principales limitaciones del presente estudio radica en su naturaleza retrospectiva y en el uso de imágenes tomográficas previamente adquiridas, lo que impidió controlar ciertos aspectos técnicos, como el posicionamiento exacto del paciente durante la adquisición. Si bien se aplicó un proceso riguroso de estandarización visual y se diseñó un protocolo de medición específico para el software gratuito, existen restricciones inherentes a la precisión volumétrica frente a soluciones licenciadas.

En este sentido, Gaeta-Araujo, et al. (150) realizaron una revisión narrativa exhaustiva sobre los dispositivos TCHC disponibles entre 1996 y 2019, enfocándose en sus especificaciones físicas y técnicas. Su análisis identificó 279 modelos de TCHC fabricados por 47 empresas en 12 países, evidenciando una considerable variabilidad en las características y parámetros técnicos. Esta diversidad (observada tanto entre diferentes dispositivos como dentro de modelos

de un mismo fabricante) subraya la necesidad de precaución al generalizar resultados experimentales o conclusiones de la literatura a todos los sistemas TCHC (9). Asimismo, Luangchana, et al. (151) reportaron que las mediciones en el maxilar tienden a ser menos precisas que las de la mandíbula, lo que podría explicarse por una menor densidad ósea en el maxilar y la posición oblicua de los límites anatómicos en esta zona.

Otra limitación del presente estudio es que el evaluador conocía el software utilizado en cada etapa, por lo que no fue posible implementar un cegamiento completo, lo que representa un potencial sesgo. Aunque se adoptaron medidas para mitigar esta influencia (como la aleatorización de códigos y la separación temporal entre mediciones), no puede descartarse por completo un efecto derivado del conocimiento del entorno de trabajo. Finalmente, cabe señalar que la investigación se centró exclusivamente en una única medición morfoanatómica: la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana. En consecuencia, los hallazgos no pueden extrapolarse directamente a otras variables anatómicas o a contextos clínicos distintos sin investigación adicional.

Los resultados del presente estudio concluyen que, mediante un protocolo estandarizado y una adecuada capacitación del operador, el software gratuito demostró ser una alternativa segura y eficiente en la planificación clínica, incluso en contextos con acceso limitado a soluciones comerciales. Asimismo, se corroboró que la segunda premolar mandibular fue la pieza más frecuentemente identificada como referencia anatómica, hallazgo que coincide con reportes anatómicos previos y refuerza su utilidad clínica. En conjunto, este estudio contribuye a promover el

uso de herramientas accesibles, favoreciendo una práctica odontológica basada en la evidencia y centrada en la seguridad del paciente.

VII. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio demuestran que el software gratuito evaluado presenta una precisión comparable a la del software licenciado, con una mínima diferencia promedio de 0.034 mm entre ambos métodos. La excelente confiabilidad intraevaluador ($CCI = 0.996$; error de Dahlberg = 0.059 mm) sostiene su aplicación como una alternativa eficiente en contextos clínicos. Ambas herramientas identificaron de manera coincidente a la segunda premolar mandibular como la pieza dentaria más cercana al foramen mentoniano, con una distancia promedio superior a 5 mm y sin diferencias estadísticamente significativas entre métodos.

Estos hallazgos demuestran la utilidad del software gratuito en la medición de la distancia del FM a la pieza dentaria más cercana como una alternativa confiable y precisa.

VIII. Referencias bibliográficas

1. Federation FDIWD.: The Challenge of Oral Disease – A call for global action. The Oral Health Atlas. 2nd ed. Geneva: FDI World Dental Federation; 2015.
2. (IHME) I for HM and E. Global Burden of Disease 2021: Findings from the GBD 2021 Study. Seattle, WA: IHME; 2024.
3. Shujaat S, Bornstein MM, Price JB, Jacobs R. Integration of imaging modalities in digital dental workflows - possibilities, limitations, and potential future developments. Dentomaxillofac Radiol. England; 2021;50(7):20210268. DOI: 10.1259/dmfr.20210268
4. Sharma V, Kadu A. Technology shaping the future of dentistry. Med J Armed Forces India. India: Director General, Armed Forces Medical Services. Published by Elsevier, a division of RELX India Pvt. Ltd; 2024;80(4):375–7. DOI: 10.1016/j.mjafi.2024.05.019
5. Vandenberghe B. The crucial role of imaging in digital dentistry. Dent Mater. England: The Academy of Dental Materials. Published by Elsevier Inc. All rights reserved; 2020;36(5):581–91. DOI: 10.1016/j.dental.2020.03.001
6. Chegeni E, Marques J, Figueiredo R, Valmaseda-Castellón E, Kadkhodazadeh M. A novel technique for computer-assisted dental autotransplantation: A case report with 42 months of follow-up. Journal of advanced periodontology & implant dentistry. Iran: The Author(s); 2025;17(2):111–8. DOI: 10.34172/japid.025.3760

7. Prajapati UH, Rashme R, Swetha C, Gulzar A, Fathima S, Thomas J, et al. Evaluating the Role of CBCT in the Prediction and Management of Sinus Perforation During Root Canal Treatment of Maxillary Posterior Teeth. *J Pharm Bioallied Sci. India: Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*; 2025;17(Suppl 2): S1580–2. DOI: 10.4103/jpbs.jpbs_150_25
8. Böse MWH, Buchholz J, Beuer F, Pieralli S, Bumann A. Evaluation of Ultra-Low-Dose CBCT Protocols to Investigate Vestibular Bone Defects in the Context of Immediate Implant Planning: An Ex Vivo Study on Cadaver Skulls. *J Clin Med. Switzerland*; 2025;14(12):4196. doi: 10.3390/jcm14124196. DOI: 10.3390/jcm14124196
9. Fontenele RC, Gaêta-Araujo H, Jacobs R. Cone beam computed tomography in dentistry: Clinical recommendations and indication-specific features. *J Dent. England: Published by Elsevier Ltd*; 2025; 159:105781. DOI: 10.1016/j.jdent.2025.105781
10. Mao W-Y, Lei J, Lim LZ, Gao Y, Tyndall DA, Fu K. Comparison of radiographical characteristics and diagnostic accuracy of intraosseous jaw lesions on panoramic radiographs and CBCT. *Dentomaxillofac Radiol. England*; 2021;50(2):20200165. DOI: 10.1259/dmfr.20200165
11. Abdinian M, Yaghini J, Jazi L. Comparison of intraoral digital radiography and cone-beam computed tomography in the measurement of periodontal bone defects. *Dent Med Probl. Poland*; 2020;57(3):269–73. DOI: 10.17219/dmp/118749
12. Weiss R 2nd, Read-Fuller A. Cone Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Evidence-Based Review. *Dent J (Basel)*.

- Switzerland; 2019;7(2):52. doi: 10.3390/dj7020052. DOI: 10.3390/dj7020052
13. Aminoshariae A, Su A, Kulild JC. Determination of the Location of the Mental Foramen: A Critical Review. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2014;40(4):471–5. DOI: 10.1016/j.joen.2013.12.009
 14. Koç N, Dural S. Comparison of ultrasonography and cone-beam computed tomography for quantitative assessment of mental foramen and alveolar crest. *BMC Oral Health.* England: The Author(s); 2025;25(1):1020–2. DOI: 10.1186/s12903-025-06396-2
 15. Pelé A, Berry P-A, Evanno C, Jordana F. Evaluation of Mental Foramen with Cone Beam Computed Tomography: A Systematic Review of Literature. *Radiol Res Pract.* United States: Antoinette Pelé et al; 2021; 2021:8897275. DOI: 10.1155/2021/8897275
 16. Huang S, Chen NN, Yu VSH, Lim HA, Lui JN. Long-term Success and Survival of Endodontic Microsurgery. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2020;46(2):149-157.e4. DOI: S0099-2399(19)30831-3 [pii]
 17. Greenstein G, Tarnow D. The mental foramen and nerve: clinical and anatomical factors related to dental implant placement: a literature review. *J Periodontol.* United States; 2006;77(12):1933–43. DOI: 10.1902/jop.2006.060197
 18. Joyce AP, Donnelly JC. Evaluation of the effectiveness and comfort of incisive nerve anesthesia given inside or outside the mental foramen. *J*

- Endod. United States; 1993;19(8):409–11. DOI: 10.1016/S0099-2399(06)81506-2
19. Shah S, Vaze S, Kinhal K. A variation in the position of the mental foramen: a case report. *J Maxillofac Oral Surg. India*; 2010;9(3):307–9. DOI: 10.1007/s12663-010-0079-7
 20. Hashiba Y, Ueki K, Marukawa K, Nakagawa K, Yamamoto E, Matsubara K. Relationship between recovery period of lower lip hypoesthesia and sagittal split area or plate screw position after sagittal split ramus osteotomy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. United States*; 2008;105(1):11–5. DOI: 10.1016/j.tripleo.2007.04.006
 21. Iwanaga J, Watanabe K, Saga T, Tabira Y, Kitashima S, Kusakawa J, et al. Accessory mental foramina and nerves: Application to periodontal, periapical, and implant surgery. *Clin Anat. United States: Wiley Periodicals, Inc*; 2016;29(4):493–501. DOI: 10.1002/ca.22635
 22. Elkersh NM, Abdelrahman HH, Hassan MG. Evaluating free segmentation tools for CBCT-derived models: Cost-effective solutions. *Orthod Craniofac Res. England: John Wiley & Sons A/S. Published by John Wiley & Sons Ltd*; 2024;27 Suppl 2:56–64. DOI: 10.1111/ocr.12799
 23. Chen H, van Eijnatten M, Wolff J, de Lange J, van der Stelt PF, Lobbezoo F, et al. Reliability and accuracy of three imaging software packages used for 3D analysis of the upper airway on cone beam computed tomography images. *Dentomaxillofac Radiol. England*; 2017;46(6):20170043. DOI: 10.1259/dmfr.20170043

24. Burgess J. Digital DICOM in Dentistry. *Open Dent J.* United Arab Emirates; 2015; 9:330–6. DOI: 10.2174/1874210601509010330
25. Sheth K, Banga KS, Pawar AM, Gutmann JL, Kim H-C. Shape and anatomical relationship of the mental foramen to the mandibular premolars in an Indian sub-population: a retrospective CBCT analysis. *Restor Dent Endod.* Korea (South): The Korean Academy of Conservative Dentistry; 2021;47(1): e1. DOI: 10.5395/rde.2022.47. e1
26. Barbosa DAF, Mesquita LR, Borges MMC, Mendonça DS de, Carvalho FSR de, Kurita LM, et al. Mental Foramen and Anterior Loop Anatomic Characteristics: A Systematic Review and Meta-analysis of Cross-sectional Imaging Studies. *J Endod.* Elsevier; 2021;47(12):1829-1843.e1. DOI: 10.1016/j.joen.2021.08.006
27. Kalender A, Orhan K, Aksoy U. Evaluation of the mental foramen and accessory mental foramen in Turkish patients using cone-beam computed tomography images reconstructed from a volumetric rendering program. *Clinical Anatomy.* United States: Wiley Periodicals, Inc; 2012;25(5):584–92. DOI: 10.1002/ca.21277
28. von Arx T, Friedli M, Sendi P, Lozanoff S, Bornstein MM. Location and dimensions of the mental foramen: a radiographic analysis by using cone-beam computed tomography. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists; 2013;39(12):1522–8. DOI: 10.1016/j.joen.2013.07.033
29. Al-Mahalawy H, Al-Aithan H, Al-Kari B, Al-Jandan B, Shujaat S. Determination of the position of mental foramen and frequency of anterior

- loop in Saudi population. A retrospective CBCT study. *Saudi Dent J. Saudi Arabia*; 2017;29(1):29–35. DOI: 10.1016/j.sdentj.2017.01.001
30. Krishnan U, Monsour P, Thaha K, Lalloo R, Moule A. A Limited Field Cone-beam Computed Tomography-based Evaluation of the Mental Foramen, Accessory Mental Foramina, Anterior Loop, Lateral Lingual Foramen, and Lateral Lingual Canal. *J Endod. United States: American Association of Endodontists*; 2018;44(6):946–51. DOI: 10.1016/j.joen.2018.01.013
 31. Yanik D, Nalbantoğlu AM. Mental foramen and apical foramen: A dangerous anatomical proximity. *Aust Endod J. Australia: Australian Society of Endodontology Inc*; 2024;50(2):352–8. DOI: 10.1111/aej.12852
 32. Al-Ekrish AA. Comparative study of the accuracy of CBCT implant site measurements using different software programs. *Saudi Dent J. Saudi Arabia: King Saud University*; 2021;33(6):355–61. DOI: 10.1016/j.sdentj.2020.07.003
 33. Fokas G, Vaughn VM, Scarfe WC, Bornstein MM. Accuracy of linear measurements on CBCT images related to presurgical implant treatment planning: A systematic review. *Clin Oral Implants Res. Denmark: The Authors. Clinical Oral Implants Research Published by John Wiley & Sons Ltd*; 2018;29 Suppl 16:393–415. DOI: 10.1111/clr.13142
 34. Taylor JR. An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements. *University Science Books*; 1997.
 35. Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM). International vocabulary of metrology. Fourth edition – Committee Draft (VIM4 CD). 2021 Jan 11.

36. Streiner DL, Norman GR. “Precision” and “Accuracy”: Two Terms That Are Neither. *J Clin Epidemiol.* 2006;59(4):327–30. DOI: 10.1016/j.jclinepi.2005.09.005
37. Andersson M, Boateng K, Abos P. Validity and Reliability: The extent to which your research findings are accurate and consistent. 2024.
38. Trochim WMK. Theory of reliability. In: Research Methods Knowledge Base. [Internet]. Sydney (AU): Conjointly. Available from: <https://conjointly.com/kb/theory-of-reliability/>
39. Choi J, Kim S. Delayed awakening time from general anesthesia for dental treatment of patients with disabilities. *J Dent Anesth Pain Med. Korea (South): Journal of Dental Anesthesia and Pain Medicine*; 2021;21(3):219–26. DOI: 10.17245/jdapm.2021.21.3.219
40. Ricci JL, Terracio L. Where is dentistry in regenerative medicine? *Int Dent J.* England: FDI World Dental Federation; 2011;61 Suppl 1(Suppl 1):2–10. DOI: 10.1111/j.1875-595X.2011. 00024.x
41. Urquhart O, Tampi MP, Pilcher L, Slayton RL, Araujo MWB, Fontana M, et al. Nonrestorative Treatments for Caries: Systematic Review and Network Meta-analysis. *J Dent Res.* United States; 2019;98(1):14–26. DOI: 10.1177/0022034518800014
42. Al Turkestani N, Bianchi J, Deleat-Besson R, Le C, Tengfei L, Prieto JC, et al. Clinical decision support systems in orthodontics: A narrative review of data science approaches. *Orthod Craniofac Res.* England: John Wiley & Sons A/S. Published by John Wiley & Sons Ltd; 2021;24 Suppl 2(Suppl 2):26–36. DOI: 10.1111/ocr.12492

43. Pundir M, Papagerakis S, De Rosa MC, Chronis N, Kurabayashi K, Abdulmawjood S, et al. Emerging biotechnologies for evaluating disruption of stress, sleep, and circadian rhythm mechanism using aptamer-based detection of salivary biomarkers. *Biotechnol Adv.* England: Elsevier Inc; 2022; 59:107961. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2022.107961
44. Weber K, DaSilva AF, Dault JT, Eber R, Huner K, Jones D, et al. Using business intelligence and data visualization to understand the characteristics of failed appointments in dental school clinics. *J Dent Educ.* United States: American Dental Education Association; 2021;85(4):521–30. DOI: 10.1002/jdd.12538
45. Benoit B, Frédéric B, Jean-Charles D. Current state of dental informatics in the field of health information systems: a scoping review. *BMC Oral Health.* England: The Author(s); 2022;22(1):131–9. DOI: 10.1186/s12903-022-02163-9
46. Venskutonis T, Plotino G, Tocci L, Gambarini G, Maminskas J, Juodzbaly G. Periapical and endodontic status scale based on periapical bone lesions and endodontic treatment quality evaluation using cone-beam computed tomography. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2015;41(2):190–6. DOI: 10.1016/j.joen.2014.10.017
47. Abu-Ta'a MF, Qubain KJ, Beshtawi KR. The mental foramen, anatomical parameters through a radiographic approach to aid in dental implantology: A retrospective analysis in a sample of a Palestinian population. *Heliyon.*

- England: The Authors; 2023;9(3): e13886. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e13886
48. Mahmoud AM, Ngan P, Crout R, Mukdadi OM. High-resolution 3D ultrasound jawbone surface imaging for diagnosis of periodontal bony defects: an in vitro study. *Ann Biomed Eng.* United States; 2010;38(11):3409–22. DOI: 10.1007/s10439-010-0089-0
 49. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J.* England: International Endodontic Journal. Published by John Wiley & Sons Ltd; 2015;48(1):3–15. DOI: 10.1111/iej.12270
 50. Zhang M-M, Fang G-F, Chen X-T, Liang Y-H. Four-year Outcome of Nonsurgical Root Canal Retreatment Using Cone-beam Computed Tomography: A Prospective Cohort Study. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2021;47(3):382–90. DOI: 10.1016/j.joen.2020.10.020
 51. Ibáñez-Aravena PC, Sánchez-Sanhueza GA, Fernández CE. New Bioceramics vs. Mineral Trioxide Aggregate (MTA) in the Success of Endodontic Microsurgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Aust Endod J.* Australia: Australian Society of Endodontology Inc; 2025; DOI: 10.1111/aej.12974
 52. Jin M, Tang R, Pan Z, Wang Y, Wang Z, Han B, et al. A novel sleeveless guided system for reducing thermal injury in endodontic microsurgery with enhanced accuracy and efficiency. *Clin Oral Investig.* Germany: The

Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature; 2025;29(7):347-y. DOI: 10.1007/s00784-025-06433-y

53. Guan L, Liu X, Cai C, Fang C, Lao Y, Huang J, et al. Feasibility and Clinical Efficacy of Minimally Invasive Straight-Incision Endodontic Microsurgery Guided by 3-Dimensional Printed Templates: A Retrospective Case Series. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2025; DOI: 10.1016/j.joen.2025.06.006
54. Carruth P, He J, Benson BW, Schneiderman ED. Analysis of the Size and Position of the Mental Foramen Using the CS 9000 Cone-beam Computed Tomographic Unit. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2015;41(7):1032–6. DOI: 10.1016/j.joen.2015.02.025
55. de Toledo Telles-Araújo G, Peralta-Mamani M, Caminha RDG, de Fatima Moraes-da-Silva A, Rubira CMF, Honório HM, et al. CBCT does not reduce neurosensory disturbances after third molar removal compared to panoramic radiography: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* Germany; 2020;24(3):1137–49. DOI: 10.1007/s00784-020-03231-6
56. Yilmaz Z, Ucer C, Scher E, Suzuki J, Renton T. A Survey of the Opinion and Experience of UK Dentists: Part 2: Risk Assessment Strategies and the Management of Iatrogenic Trigeminal Nerve Injuries Related to Dental Implant Surgery. *Implant Dent.* United States; 2017;26(2):256–62. DOI: 10.1097/ID.0000000000000545

57. Benjamin G, Ather A, Bueno MR, Estrela C, Diogenes A. Preserving the Neurovascular Bundle in Targeted Endodontic Microsurgery: A Case Series. *J Endod. Elsevier*; 2021;47(3):509–19. DOI: 10.1016/j.joen.2020.10.008
58. Torabinejad M, Sabeti M, Glickman GN. Surgical Endodontics. In: Rotstein I, Ingle J, editors. *Ingle's. Endodontics 7. 7th ed.* Raleigh, North Carolina, USA: PMPH USA; 2019. p. 797 – 834.
59. Agbulut N. Assessing nerve injuries in oral surgery: a survey-based study on prevention and management. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal. Spain*; 2025;30(3): e462–8. DOI: 10.4317/medoral.26995
60. Castro R, Guivarc'h M, Foletti JM, Catherine JH, Chossegros C, Guyot L. Endodontic-related inferior alveolar nerve injuries: A review and a therapeutic flow chart. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg. France: Elsevier Masson SAS*; 2018;119(5):412–8. DOI: 10.1016/j.jormas.2018.04.012
61. Mainkar A, Zhu Q, Safavi K. Incidence of Altered Sensation after Mandibular Premolar and Molar Periapical Surgery. *J Endod. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc*; 2020;46(1):29–33. DOI: 10.1016/j.joen.2019.10.008
62. Creasy JE, Mines P, Sweet M. Surgical trends among endodontists: the results of a web-based survey. *J Endod. United States*; 2009;35(1):30–4. DOI: 10.1016/j.joen.2008.10.008
63. Liu X, Daugherty R, Konofaos P. Sensory Restoration of the Facial Region. *Ann Plast Surg. United States*; 2019;82(6):700–7. DOI: 10.1097/SAP.0000000000001635

64. Ducic I, Yoon J. Reconstructive Options for Inferior Alveolar and Lingual Nerve Injuries After Dental and Oral Surgery: An Evidence-Based Review. *Ann Plast Surg. United States*; 2019;82(6):653–60. DOI: 10.1097/SAP.0000000000001783
65. Suhaym O, Miloro M. Does early repair of trigeminal nerve injuries influence neurosensory recovery? A systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg. Denmark: International Association of Oral and Maxillofacial Surgeons. Published by Elsevier Inc*; 2021;50(6):820–9. DOI: 10.1016/j.ijom.2020.10.002
66. Wadu SG, Penhall B, Townsend GC. Morphological variability of the human inferior alveolar nerve. *Clin Anat. United States*; 1997;10(2):82–7. DOI: 10.1002/(SICI)1098-2353(1997)10:2
67. Tammissalo T, Happonen RP, Tammissalo EH. Stereographic assessment of mandibular canal in relation to the roots of impacted lower third molar using multiprojection narrow beam radiography. *Int J Oral Maxillofac Surg. Denmark*; 1992;21(2):85–9. DOI: 10.1016/s0901-5027(05)80538-7
68. Miller CS, Nummikoski P V, Barnett DA, Langlais RP. Cross-sectional tomography. A diagnostic technique for determining the buccolingual relationship of impacted mandibular third molars and the inferior alveolar neurovascular bundle. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol. United States*; 1990;70(6):791–7. DOI: 10.1016/0030-4220(90)90023-1
69. Wang X, Chen K, Wang S, Tiwari SK, Ye L, Peng L. Relationship between the Mental Foramen, Mandibular Canal, and the Surgical Access Line of the Mandibular Posterior Teeth: A Cone-beam Computed Tomographic

- Analysis. *J Endod.* United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2017;43(8):1262–6. DOI: 10.1016/j.joen.2017.03.043
70. Juodzbals G, Wang H-L, Sabalys G. Anatomy of Mandibular Vital Structures. Part II: Mandibular Incisive Canal, Mental Foramen and Associated Neurovascular Bundles in Relation with Dental Implantology. *J Oral Maxillofac Res.* Lithuania; 2010;1(1): e3. DOI: 10.5037/jomr.2010.1103
 71. Phillips JL, Weller RN, Kulild JC. The mental foramen: 1. Size, orientation, and positional relationship to the mandibular second premolar. *J Endod.* United States; 1990;16(5):221–3. DOI: 10.1016/s0099-2399(06)81674-2
 72. Moiseiwitsch JR. Avoiding the mental foramen during periapical surgery. *J Endod.* United States; 1995;21(6):340–2. DOI: 10.1016/S0099-2399(06)81014-9
 73. Park S-H, Wang H-L. Implant reversible complications: classification and treatments. *Implant Dent.* United States; 2005;14(3):211–20. DOI: 10.1097/01.id.0000173334.60107.1a
 74. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *J Endod.* United States; 2006;32(7):601–23. DOI: 10.1016/j.joen.2005.12.010
 75. Rosen E. Nerve injury during endodontic surgical procedures. In: Tsesis I, editor. *Complications in Endodontic Surgery: Prevention, Identification and Management*. 1st ed. ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 2014. p. 137–152.

76. Loudon J. Beware the mental foramen. *Br Dent J. England*; 2011;210(7):293.
DOI: 10.1038/sj.bdj.2011.249
77. Moiseiwitsch JR. Position of the mental foramen in a North American, white population. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod. United States*; 1998;85(4):457–60. DOI: 10.1016/s1079-2104(98)90074-9
78. Fishel D, Buchner A, Hershkowith A, Kaffe I. Roentgenologic study of the mental foramen. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol. United States*; 1976;41(5):682–6. DOI: 10.1016/0030-4220(76)90325-x
79. Shibli JA, Martins MC, Loffredo LCM, Scaf G. Detection of the mandibular canal and the mental foramen in panoramic radiographs: intraexaminer agreement. *J Oral Implantol. United States*; 2012;38(1):27–31. DOI: 10.1563/AAID-JOI-D-09-00103.1
80. Chau A. Comparison between the use of magnetic resonance imaging and conebeam computed tomography for mandibular nerve identification. *Clin Oral Implants Res. Denmark: John Wiley & Sons A/S*; 2012;23(2):253–6. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2011.02188.x
81. Hazani R, Rao A, Ford R, Yaremchuk MJ, Wilhelmi BJ. The safe zone for placement of chin implants. *Plast Reconstr Surg. United States*; 2013;131(4):869–72. DOI: 10.1097/PRS.0b013e3182818e6c
82. Igbigbi PS, Lebona S. The position and dimensions of the mental foramen in adult Malawian mandibles. *West Afr J Med. Nigeria*; 2005;24(3):184–9. DOI: 10.4314/wajm.v24i3.28195

83. Kim I-S, Kim S-G, Kim Y-K, Kim J-D. Position of the mental foramen in a Korean population: a clinical and radiographic study. *Implant Dent.* United States; 2006;15(4):404–11. DOI: 10.1097/01.id.0000243319.66845.15
84. WARWICK R. The relation of the direction of the mental foramen to the growth of the human mandible. *J Anat.* England; 1950;84(2):116–20.
85. Kqiku L, Sivic E, Weiglein A, Städtler P. Position of the mental foramen: an anatomical study. *Wien Med Wochenschr.* Austria; 2011;161(9–10):272–3. DOI: 10.1007/s10354-011-0898-2
86. Phillips JL, Weller RN, Kulild JC. The mental foramen: 2. Radiographic position in relation to the mandibular second premolar. *J Endod.* United States; 1992;18(6):271–4. DOI: 10.1016/s0099-2399(06)80953-2
87. Phillips JL, Weller RN, Kulild JC. The mental foramen: 3. Size and position on panoramic radiographs. *J Endod.* United States; 1992;18(8):383–6. DOI: 10.1016/s0099-2399(06)81224-0
88. Yosue T, Brooks SL. The appearance of mental foramina on panoramic and periapical radiographs. II. Experimental evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* United States; 1989;68(4):488–92. DOI: 10.1016/0030-4220(89)90151-5
89. Jacobs R, Mraiwa N, Van Steenberghe D, Sanderink G, Quirynen M. Appearance of the mandibular incisive canal on panoramic radiographs. *Surg Radiol Anat.* Germany; 2004;26(4):329–33. DOI: 10.1007/s00276-004-0242-2

90. Chkoura A, El Wady W. Position of the mental foramen in a Moroccan population: A radiographic study. *Imaging Sci Dent. Korea (South)*; 2013;43(2):71–5. DOI: 10.5624/isd.2013.43.2.71
91. Haghanifar S, Rokouei M. Radiographic evaluation of the mental foramen in a selected Iranian population. *Indian J Dent Res. India*; 2009;20(2):150–2. DOI: 10.4103/0970-9290.52886
92. Pria CM, Masood F, Beckerley JM, Carson RE. Study of the inferior alveolar canal and mental foramen on digital panoramic images. *J Contemp Dent Pract. India*; 2011;12(4):265–71. DOI: 10.5005/jp-journals-10024-1045
93. Al-Khateeb T, Al-Hadi Hamasha A, Ababneh KT. Position of the mental foramen in a northern regional Jordanian population. *Surg Radiol Anat. Germany*; 2007;29(3):231–7. DOI: 10.1007/s00276-007-0199-z
94. Gungor K, Ozturk M, Semiz M, Brooks SL. A radiographic study of location of mental foramen in a selected Turkish population on panoramic radiograph. *Coll Antropol. Croatia*; 2006;30(4):801–5.
95. al-Khateeb TL, Odukoya O, el-Hadidy MA. Panoramic radiographic study of mental foramen locations in Saudi Arabians. *Afr Dent J. Nigeria*; 1994; 8:16–9.
96. Ngeow WC, Yuzawati Y. The location of the mental foramen in a selected Malay population. *J Oral Sci. Japan*; 2003;45(3):171–5. DOI: 10.2334/josnusd.45.171
97. Forni A, Sánchez-Garcés MA, Gay-Escoda C. Identification of the mental neurovascular bundle: a comparative study of panoramic radiography and

- computer tomography. *Implant Dent.* United States; 2012;21(6):516–21.
DOI: 10.1097/ID.0b013e318272ff1a
98. Batenburg RH, Stellingsma K, Raghoobar GM, Vissink A. Bone height measurements on panoramic radiographs: the effect of shape and position of edentulous mandibles. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* United States; 1997;84(4):430–5. DOI: 10.1016/s1079-2104(97)90044-5
 99. Hayakawa Y, Wakoh M, Fujimori H, Ohta Y, Kuroyanagi K. Morphometric analysis of image distortion with rotational panoramic radiography. *Bull Tokyo Dent Coll. Japan*; 1993;34(2):51–8.
 100. Serman NJ, Buch B. Localization of impacted teeth utilizing inherent panoramic distortions. *Ann Dent.* United States; 1992;51(1):8–10.
 101. Choi Y-G, Kim Y-K, Eckert SE, Shim C-H. Cross-sectional study of the factors that influence radiographic magnification of implant diameter and length. *Int J Oral Maxillofac Implants.* United States; 2004;19(4):594–6.
 102. Imamura H, Sato H, Matsuura T, Ishikawa M, Zeze R. A comparative study of computed tomography and magnetic resonance imaging for the detection of mandibular canals and cross-sectional areas in diagnosis prior to dental implant treatment. *Clin Implant Dent Relat Res.* United States; 2004;6(2):75–81. DOI: 10.1111/j.1708-8208.2004.tb00029.x
 103. Eggers G, Rieker M, Fiebach J, Kress B, Dickhaus H, Hassfeld S. Geometric accuracy of magnetic resonance imaging of the mandibular nerve. *Dentomaxillofac Radiol.* England; 2005;34(5):285–91. DOI: 10.1259/dmfr/89236515

104. Idiyatullin D, Corum C, Moeller S, Prasad HS, Garwood M, Nixdorf DR. Dental magnetic resonance imaging: making the invisible visible. J Endod. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2011;37(6):745–52. DOI: 10.1016/j.joen.2011.02.022
105. Machin K, Webb S. Cone-beam x-ray microtomography of small specimens. Phys Med Biol. England; 1994;39(10):1639–57. DOI: 10.1088/0031-9155/39/10/009
106. Zeng GL, Gullberg GT. A cone-beam tomography algorithm for orthogonal circle-and-line orbit. Phys Med Biol. England; 1992;37(3):563–77. DOI: 10.1088/0031-9155/37/3/005
107. Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, Bravo M, Castelo-Baz P, Ruíz-Piñón M, Baca P. Cone-beam Computed Tomographic Study of Root Anatomy and Canal Configuration of Molars in a Spanish Population. J Endod. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2017;43(9):1511–6. DOI: 10.1016/j.joen.2017.03.026
108. Dos Santos Oliveira R, Rodrigues Coutinho M, Kühl Panzarella F. Morphometric Analysis of the Mental Foramen Using Cone-Beam Computed Tomography. Int J Dent. United States; 2018; 2018:4571895. DOI: 10.1155/2018/4571895
109. Goyushov S, Tözüm MD, Tözüm TF. Assessment of morphological and anatomical characteristics of mental foramen using cone beam computed tomography. Surg Radiol Anat. Germany; 2018;40(10):1133–9. DOI: 10.1007/s00276-018-2043-z

110. Muinelo-Lorenzo J, Suárez-Quintanilla J-A, Fernández-Alonso A, Varela-Mallou J, Suárez-Cunqueiro M-M. Anatomical characteristics and visibility of mental foramen and accessory mental foramen: Panoramic radiography vs. cone beam CT. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. Spain; 2015;20(6):707. DOI: 10.4317/medoral.20585
111. Bosykh YY, Turkina AY, Franco RPA V, Franco A, Makeeva MK. Cone beam computed tomography study on the relation between mental foramen and roots of mandibular teeth, presence of anterior loop and satellite foramina. *Morphologie*. France: Elsevier Masson SAS; 2019;103(341 Pt 2):65–71. DOI: 10.1016/j.morpho.2019.04.002
112. Algabri R, Abulohoom F, Fadag A, Al-Sharani H, Al-Aqab S, Al-Hutbany N, et al. A Comprehensive Analysis of the Radiographic Characteristics and Bilateral Symmetry of the Mental Foramen. *Clin Exp Dent Res*. United States: The Author(s). Clinical and Experimental Dental Research published by John Wiley & Sons Ltd; 2025;11(1): e70081. DOI: 10.1002/cre2.70081
113. Endodontics SC to R the JAPS on use of C in. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. United States: American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology and American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc. All rights reserved; 2015;120(4):508–12. DOI: 10.1016/j.oooo.2015.07.033
114. Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by.

- Int Endod J. England: International Endodontic Journal. Published by John Wiley & Sons Ltd; 2019;52(12):1675–8. DOI: 10.1111/iej.13187
115. Gupta T. Localization of important facial foramina encountered in maxillo-facial surgery. *Clinical Anatomy*. United States: Wiley-Liss, Inc; 2008;21(7):633–40. DOI: 10.1002/ca.20688
 116. Juodzbals G, Wang H-L. Guidelines for the Identification of the Mandibular Vital Structures: Practical Clinical Applications of Anatomy and Radiological Examination Methods. *J Oral Maxillofac Res*. 2010;1(2). DOI: 10.5037/jomr.2010.1201
 117. Sterne JAC; Higgins JPT; Reeves BC. Considering bias and conflicts of interest among the included studies. In: *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. 2nd ed. ed. Chichester (UK): John Wiley & Sons; 2019. p. 177–205.
 118. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Rev Esp Cardiol*. 2021;74(9):790–9. DOI: 10.1016/j.recesp.2021.06.016
 119. Pacheco-Gallego MC, Rubiano-Pavía LP. La tecnología y sus brechas en el impacto para la atención en salud. *Acta Médica Colombiana*. 2023;48(3). DOI: 10.36104/amc.2023.2945
 120. Mascitti M, Campisi G. Dental Public Health Landscape: Challenges, Technological Innovation and Opportunities in the 21st Century and COVID-19 Pandemic. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(10). DOI: 10.3390/ijerph17103636

121. Yeung AWK, Jacobs R, Bornstein MM. Novel low-dose protocols using cone beam computed tomography in dental medicine: a review focusing on indications, limitations, and future possibilities. *Clin Oral Investig*. 2019;23(6):2573–81. DOI: 10.1007/s00784-019-02907-y
122. Bender IB, Seltzer S. Roentgenographic and direct observation of experimental lesions in bone: I. 1961. *J Endod*. United States; 2003;29(11):702–6; discussion 701. DOI: 10.1097/00004770-200311000-00005
123. Forsberg J, Halse A. Radiographic simulation of a periapical lesion comparing the paralleling and the bisecting-angle techniques. *Int Endod J*. England; 1994;27(3):133–8. DOI: 10.1111/j.1365-2591.1994.tb00242.x
124. Patel S. The use of cone beam computed tomography in the conservative management of dens invaginatus: a case report. *Int Endod J*. 2010;43(8):707–13. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2010.01734.x
125. Bornstein MM, Bingisser AC, Reichart PA, Sendi P, Bosshardt DD, von Arx T. Comparison between Radiographic (2-dimensional and 3-dimensional) and Histologic Findings of Periapical Lesions Treated with Apical Surgery. *J Endod*. 2015;41(6):804–11. DOI: 10.1016/j.joen.2015.01.015
126. Patel S, Abella F, Patel K, Lambrechts P, Al-Nuaimi N. Clinical and radiographic features of external cervical resorption – An observational study. *Int Endod J*. 2023;56(12):1475–87. DOI: 10.1111/iej.13968
127. Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics – a review of the literature. *Int Endod J*. 2019;52(8):1138–52. DOI: 10.1111/iej.13115

128. Gao A, Cao D, Lin Z. Diagnosis of cracked teeth using cone-beam computed tomography: literature review and clinical experience. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2021;50(5):20200407. DOI: 10.1259/dmfr.20200407
129. Mangione F, Meleo D, Talocco M, Pecci R, Pacifici L, Bedini R. Comparative evaluation of the accuracy of linear measurements between cone beam computed tomography and 3D microtomography. *Ann Ist Super Sanita*. Italy; 2013;49(3):261–5. DOI: 10.4415/ANN_13_03_05
130. Chaves GS, Silva JA, Capeletti LR, Silva EJNL, Estrela C, Decurcio DA. Guided Access Cavity Preparation Using a New Simplified Digital Workflow. *J Endod*. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2023;49(1):89–95. DOI: 10.1016/j.joen.2022.11.004
131. Janabi A, Tordik PA, Griffin IL, Mostoufi B, Price JB, Chand P, et al. Accuracy and Efficiency of 3-dimensional Dynamic Navigation System for Removal of Fiber Post from Root Canal–Treated Teeth. *J Endod*. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2021;47(9):1453–60. DOI: 10.1016/j.joen.2021.07.002
132. Mohammad-Rahimi H, Dianat O, Abbasi R, Zahedrozegar S, Ashkan A, Motamedian SR, et al. Artificial Intelligence for Detection of External Cervical Resorption Using Label-Efficient Self-Supervised Learning Method. *J Endod*. United States: American Association of Endodontists. Published by Elsevier Inc; 2024;50(2):144-153.e2. DOI: 10.1016/j.joen.2023.11.004

133. Gracco A, De Stefani A, Bruno G. Influence of New Technology in Dental Care: A Public Health Perspective. *Int J Environ Res Public Health*. Switzerland; 2023;20(7):5364. doi: 10.3390/ijerph20075364. DOI: 10.3390/ijerph20075364
134. Prashanti E, Vynne OJ, Annishka A, Fickry FSS, Naurah MA, Idiculla J, et al. A comparative cross-sectional study of pre-implant site assessment using Ridge Mapping and Orthopantomography (OPG) with cone Beam Computed Tomography (CBCT). *Res J Pharm Biol Chem Sci*. 2016;7:1185–92.
135. Vasconcelos TV, Neves FS, Moraes LAB, Freitas DQ. Vertical bone measurements from cone beam computed tomography images using different software packages. *Braz Oral Res*. Brazil; 2015;29:10.1590/1807-2015.vol29.0035. Epub 2015 Feb 11. DOI: 10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0035
136. Wei S-M, Zhu Y, Wei J-X, Zhang C-N, Shi J-Y, Lai H-C. Accuracy of dynamic navigation in implant surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res*. Denmark: John Wiley & Sons A/S. Published by John Wiley & Sons Ltd; 2021;32(4):383–93. DOI: 10.1111/clr.13719
137. Pauwels R, Jacobs R, Bosmans H, Pittayapat P, Kosalagood P, Silkosessak O, et al. Automated implant segmentation in cone-beam CT using edge detection and particle counting. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. Germany; 2014;9(4):733–43. DOI: 10.1007/s11548-013-0946-z
138. Bornstein MM, Horner K, Jacobs R. Use of cone beam computed tomography in implant dentistry: current concepts, indications and

- limitations for clinical practice and research. *Periodontol* 2000. Denmark: John Wiley & Sons A/S. Published by John Wiley & Sons Ltd; 2017;73(1):51–72. DOI: 10.1111/prd.12161
139. Portney LG WMP. Foundations of Clinical Research: Applications to Practice. [Internet]. 1st ed. 2015 [cited. Available from: <https://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781467291583>
 140. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med. United States*; 2016;15(2):155–63. DOI: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
 141. Rodriguez AB, Ayyildiz BG, Ayyildiz H, Narvekar A, Elnagar MH, Schmerman M, et al. CBCT Validation Study on Intraclass Correlation for Linear Measurements in Peri-implantitis: an Observational Study. *J Oral Maxillofac Res. Lithuania*; 2025;16(1):e4. DOI: 10.5037/jomr.2025.16104
 142. Kim H-Y. Statistical notes for clinical researchers: Evaluation of measurement error 2: Dahlberg’s error, Bland-Altman method, and Kappa coefficient. *Restor Dent Endod*. 2013;38(3):182. DOI: 10.5395/rde.2013.38.3.182
 143. Perinetti G. StaTips Part II: Assessment of the repeatability of measurements for continuous data. *South European Journal of Orthodontics and Dentofacial Research*. 2016;3:33–4. DOI: 10.5937/sejodr3-1274
 144. Springate SD. The effect of sample size and bias on the reliability of estimates of error: a comparative study of Dahlberg’s formula. *The European Journal of Orthodontics*. 2012;34(2):158–63. DOI: 10.1093/ejo/cjr010

145. Harrison JW, Jurosky KA. Wound healing in the tissues of the periodontium following periradicular surgery. I. The incisional wound. *J Endod. United States*; 1991;17(9):425–35. DOI: 10.1016/S0099-2399(07)80131-2
146. Harrison JW, Jurosky KA. Wound healing in the tissues of the periodontium following periradicular surgery. 2. The dissectional wound. *J Endod. United States*; 1991;17(11):544–52. DOI: 10.1016/s0099-2399(06)81720-6
147. Harrison JW, Jurosky KA. Wound healing in the tissues of the periodontium following periradicular surgery. III. The osseous excisional wound. *J Endod. United States*; 1992;18(2):76–81. DOI: 10.1016/S0099-2399(06)81375-0
148. Chong BS, Gohil K, Pawar R, Makdissi J. Anatomical relationship between mental foramen, mandibular teeth and risk of nerve injury with endodontic treatment. *Clin Oral Investig. Germany*; 2017;21(1):381–7. DOI: 10.1007/s00784-016-1801-8
149. Calışkan MK. Prognosis of large cyst-like periapical lesions following nonsurgical root canal treatment: a clinical review. *Int Endod J. England*; 2004;37(6):408–16. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2004.00809.x
150. Gaêta-Araujo H, Alzoubi T, Vasconcelos K de F, Orhan K, Pauwels R, Casselman JW, et al. Cone beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology: a two-decade overview. *Dentomaxillofac Radiol. England*; 2020;49(8):20200145. DOI: 10.1259/dmfr.20200145
151. Luangchana P, Pornprasertsuk-Damrongsri S, Kiattavorncharoen S, Jirajariyavej B. Accuracy of linear measurements using cone beam computed tomography and panoramic radiography in dental implant treatment

planning. Int J Oral Maxillofac Implants. United States; 2015;30(6):1287–
94. DOI: 10.11607/jomi.4073

IX. Anexos

Anexo 1: Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable	Indicadores/ dimensiones	Escala de medición
Distancia del foramen mentoniano a la pieza dentaria más cercana	Longitud lineal entre el borde más próximo del foramen mentoniano y el ápice de la pieza dentaria más cercana.	Medición en milímetros obtenida en TCHC, de acuerdo con el protocolo estandarizado.	Cuantitativa continua	Valor en milímetros de la distancia entre FM y pieza dentaria más cercana.	Razón (mm)
Tipo de software	Plataforma informática utilizada para la medición radiográfica y tomográfica.	Identificación del software empleado en cada medición: Sidexis 4 Viewer (gratuito) o Xelis (licenciado).	Cualitativa dicotómica	Software gratuito / Software licenciado	Nominal

Anexo 2

12/19/24, 9:34 PM

Correo de Universidad Peruana Cayetano Heredia - ACCESO A IMAGENES TOMOGRÁFICAS - MAESTRIA ESPECIALIDAD



Luis Hernan Flores Ventura <luis.flores.v@upch.pe>

ACCESO A IMAGENES TOMOGRÁFICAS - MAESTRIA ESPECIALIDAD

Jessica Farfan Mauricio <jessica.farfan.m@upch.pe>

11 de diciembre de 2024, 15:51

Para: Thalia Tatiana Cueva Chamorro <thalia.cueva@upch.pe>

Cc: Jose Ignacio Chavez Paz <jose.chavez.p@upch.pe>, Milushka Quezada Marquez <milushka.quezada@upch.pe>, Luis Hernan Flores Ventura <luis.flores.v@upch.pe>, Amner Salazar Rafael <amner.salazar@upch.pe>

Estimada +Thalia Tatiana Cueva Chamorro

Por encargo del Dr. José Chávez Paz - Director Clínico del Centro Dental , solicita brindar a la doctor **LUIS HERNÁN FLORES VENTURA** , estudiante de la Maestría Endodoncia , las tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT) obtenidas en el período de enero 2023 – mayo 2024 en el CDD - SMP , con el sistema (AXEOS – Sirona) la cuál será empleada en su proyecto de tesis titulada :

“COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD ENTRE UN SOFTWARE LIBRE Y UN SOFTWARE LICENCIADO PARA LA MEDICIÓN DE LA DISTANCIA DEL FORAMEN MENTONIANO A PIEZA DENTARIA CERCANA EN IMÁGENES TOMOGRÁFICAS COMPUTARIZADAS DE HAZ CÓNICO” - Código SIDISI : 214596

Asimismo esta información deberá basarse en lo siguiente :

- Fecha de nacimiento y edad de los pacientes.
- Sexo de los pacientes.
- Servicio de atención.

Copio a la Dra. +Milushka Quezada Marquez Coordinadora de la Sección de Imagenología Bucomaxilofacial y docente del Departamento Académico , para su respectivo conocimiento .

Saludos cordiales ,

Jessica E. Farfán Mauricio

ASISTENTE ADMINISTRATIVO

CENTRO DENTAL DOCENTE

Facultad de Estomatología

E: jessica.farfan.m@upch.pe

----- Forwarded message -----

De: Jose Ignacio Chavez Paz <jose.chavez.p@upch.pe>

Date: mar, 10 dic 2024 a las 11:40

Subject: Fwd: ACCESO A IMAGENES TOMOGRÁFICAS - MAESTRIA ESPECIALIDAD

To: Jessica Farfan Mauricio <jessica.farfan.m@upch.edu.pe>

<https://mail.google.com/mail/u/0/?ik=e77144229a&view=pt&search=all&permmsgid=msg-f:1818178671833410966&simpl=msg-f:1818178671833410966>

1/2

Tu apoyo

Dr. José Ignacio Chávez Paz
DIRECTOR CENTRO DENTAL DOCENTE
UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA .
Sent with [Spark](#)

----- Mensaje reenviado -----

De: Luis Hernan Flores Ventura <luis.flores.v@upch.pe>

Fecha: Dec 10, 2024, 9:43 AM -0500

Para: Jose Ignacio Chavez Paz <jose.chavez.p@upch.pe>, Amner Salazar Rafael <amner.salazar@upch.pe>, Milushka Quezada Marquez <milushka.quezada@upch.pe>, Thalia Tatiana Cueva Chamorro <thalia.cueva@upch.pe>

Asunto: Fwd: ACCESO A IMAGENES TOMOGRÁFICAS - MAESTRIA ESPECIALIDAD

[El texto citado está oculto]

Este mensaje electrónico (e-mail) pertenece al remitente y puede contener información confidencial legalmente protegida para uso del destinatario. La divulgación de esta información, su copia o distribución para otro uso esta terminantemente prohibida. Gracias.

This e-mail message belongs to the sender and may include confidential and legally privileged information, for the exclusive use of the named recipient. Any disclosure, copying or distribution of this information for aims other than the intended purpose, is prohibited. Thank you.

Este mensaje electrónico (e-mail) pertenece al remitente y puede contener información confidencial legalmente protegida para uso del destinatario. La divulgación de esta información, su copia o distribución para otro uso esta terminantemente prohibida. Gracias.

This e-mail message belongs to the sender and may include confidential and legally privileged information, for the exclusive use of the named recipient. Any disclosure, copying or distribution of this information for aims other than the intended purpose, is prohibited. Thank you.

Este mensaje electrónico (e-mail) pertenece al remitente y puede contener información confidencial legalmente protegida para uso del destinatario. La divulgación de esta información, su copia o distribución para otro uso esta terminantemente prohibida. Gracias.

This e-mail message belongs to the sender and may include confidential and legally privileged information, for the exclusive use of the named recipient. Any disclosure, copying or distribution of this information for aims other than the intended purpose, is prohibited. Thank you.

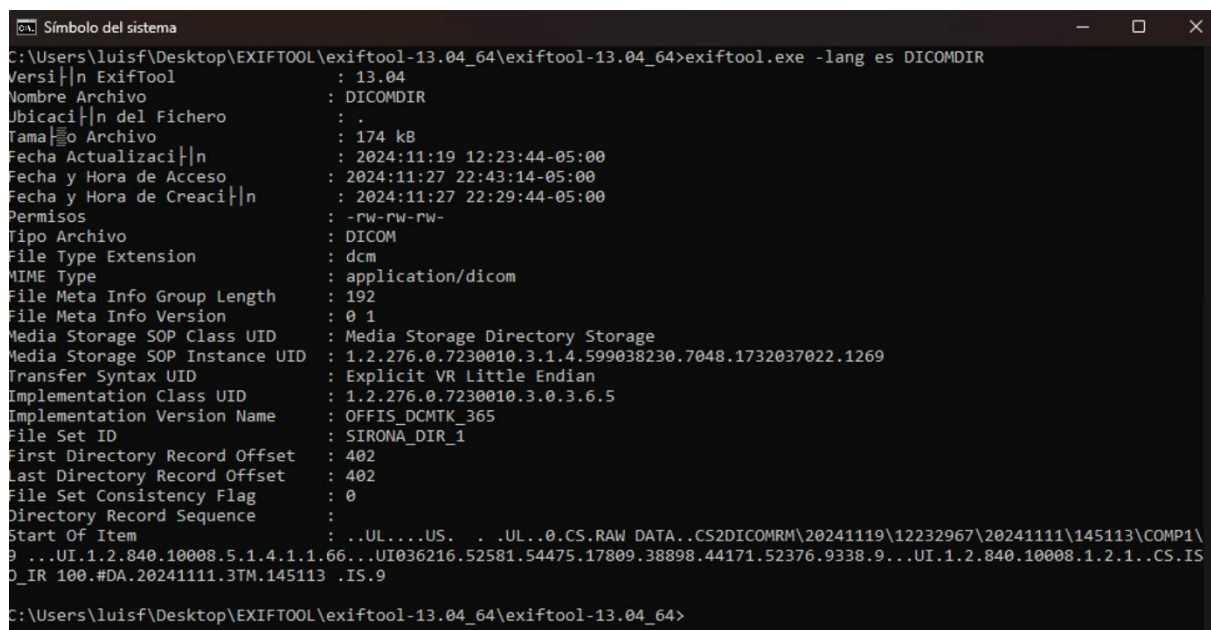
3 adjuntos

 **Solicitud Imagenes Tomograficas.docx**
27K

 **-CIEI-551-43-24 copy.pdf**
176K

 **CAR-FAEST-DAMCIBUM-197-2024 Trabajo de invest. Dr. Luis Flores Posgr Rx cap y calibración.pdf**
172K

Anexo 3: Verificación de eliminación de metadatos mediante ExifTool en archivos DICOM



```
Símbolo del sistema
C:\Users\luisf\Desktop\EXIFTOOL\exiftool-13.04_64\exiftool-13.04_64>exiftool.exe -lang es DICOMDIR
Versión ExifTool      : 13.04
Nombre Archivo       : DICOMDIR
Ubicación del Fichero : .
Tamaño Archivo      : 174 kB
Fecha Actualización  : 2024:11:19 12:23:44-05:00
Fecha y Hora de Acceso : 2024:11:27 22:43:14-05:00
Fecha y Hora de Creación : 2024:11:27 22:29:44-05:00
Permisos             : -rw-rw-rw-
Tipo Archivo         : DICOM
File Type Extension  : dcm
MIME Type            : application/dicom
File Meta Info Group Length : 192
File Meta Info Version : 0 1
Media Storage SOP Class UID : Media Storage Directory Storage
Media Storage SOP Instance UID : 1.2.276.0.7230010.3.1.4.599038230.7048.1732037022.1269
Transfer Syntax UID    : Explicit VR Little Endian
Implementation Class UID : 1.2.276.0.7230010.3.0.3.6.5
Implementation Version Name : OFFIS_DCMTK_365
File Set ID            : SIRONA_DIR_1
First Directory Record Offset : 402
Last Directory Record Offset : 402
File Set Consistency Flag : 0
Directory Record Sequence :
Start Of Item          : ..UL....US. . .UL..0.CS.RAW DATA..CS2DICOMRM\20241119\12232967\20241111\145113\COMP1\
9 ...UI.1.2.840.10008.5.1.4.1.1.66...UI036216.52581.54475.17809.38898.44171.52376.9338.9...UI.1.2.840.10008.1.2.1..CS.IS
O_IR 100.#DA.20241111.3TM.145113 .IS.9
C:\Users\luisf\Desktop\EXIFTOOL\exiftool-13.04_64\exiftool-13.04_64>
```

Esta captura corresponde a la visualización de los metadatos de un archivo DICOM a través del software ExifTool, utilizada como parte del protocolo de anonimización. En ella se muestra que los metadatos con información sensible han sido eliminados, asegurando que no exista información que permita reconocer la identidad del titular del archivo.

Anexo 4: Tabla maestra de correspondencia y trazabilidad de códigos anonimizados por fase del estudio

-	-	-	-	Cod. Ano. PRECISION - Slib	Cod. Ano. PRECISION - Slic	Cod. Ano. CONFIABILIDAD T2 Investigador - Slib
6	PRUEBA PILOTO	PILa001	Lib002	Lc009	QLib007	
7		PILa002	Lib004	Lc004	QLib005	
8		PILa003	Lib005	Lc010	QLib009	
9		PILa004	Lib006	Lc008	QLib001	
10		PILa005	Lib008	Lc005	QLib010	
11		PILa006	Lib010	Lc002	QLib008	
12		PILa007	Lib009	Lc007	QLib003	
13		PILa008	Lib003	Lc003	QLib002	
14		PILa009	Lib007	Lc001	QLib004	
15		PILa010	Lib001	Lc006	QLib006	
-	-	-	Cod. Ano. PRECISION - Slib	Cod. Ano. PRECISION - Slic	Cod. Ano. CONFIABILIDAD T2 Investigador - Slib	
1	RECOLECCION FINAL	RFa001	Lib007	Lc015	QLib005	
2		RFa002	Lib021	Lc008	QLib018	
3		RFa003	Lib011	Lc011	QLib023	
4		RFa004	Lib022	Lc021	QLib009	
5		RFa005	Lib016	Lc022	QLib006	
6		RFa006	Lib002	Lc004	QLib022	
7		RFa007	Lib018	Lc010	QLib013	
8		RFa008	Lib012	Lc013	QLib015	
9		RFa009	Lib004	Lc019	QLib007	
10		RFa010	Lib019	Lc020	QLib020	
11		RFa011	Lib001	Lc016	QLib008	
12		RFa012	Lib008	Lc024	QLib021	
13		RFa013	Lib003	Lc025	QLib014	
14		RFa014	Lib009	Lc001	QLib004	
15		RFa015	Lib025	Lc003	QLib010	
16		RFa016	Lib013	Lc014	QLib002	
17		RFa017	Lib020	Lc017	QLib019	
18		RFa018	Lib010	Lc023	QLib025	
19		RFa019	Lib006	Lc002	QLib024	
20		RFa020	Lib023	Lc009	QLib003	
21		RFa021	Lib017	Lc006	QLib001	
22		RFa022	Lib005	Lc012	QLib016	
23		RFa023	Lib024	Lc007	QLib017	
24		RFa024	Lib014	Lc018	QLib012	
25		RFa025	Lib015	Lc005	QLib011	

Anexo 5: Ficha de recolección de datos diseñada para el estudio.

Ficha de recolección de datos

Anotar el **código asignado** del archivo DICOM TCHC y precisar la distancia en **milímetros (mm)** entre el Foramen Mentoniano y la pieza dental mas cercana

Leyenda

- Software LIBRE: Sidexis Viewer (Sirona, Bernsheim, Alemania)
- Software LICENCIADO: Xelis (Infinith Dental, South Korea)

Ver. 01
Maestria - UPCH

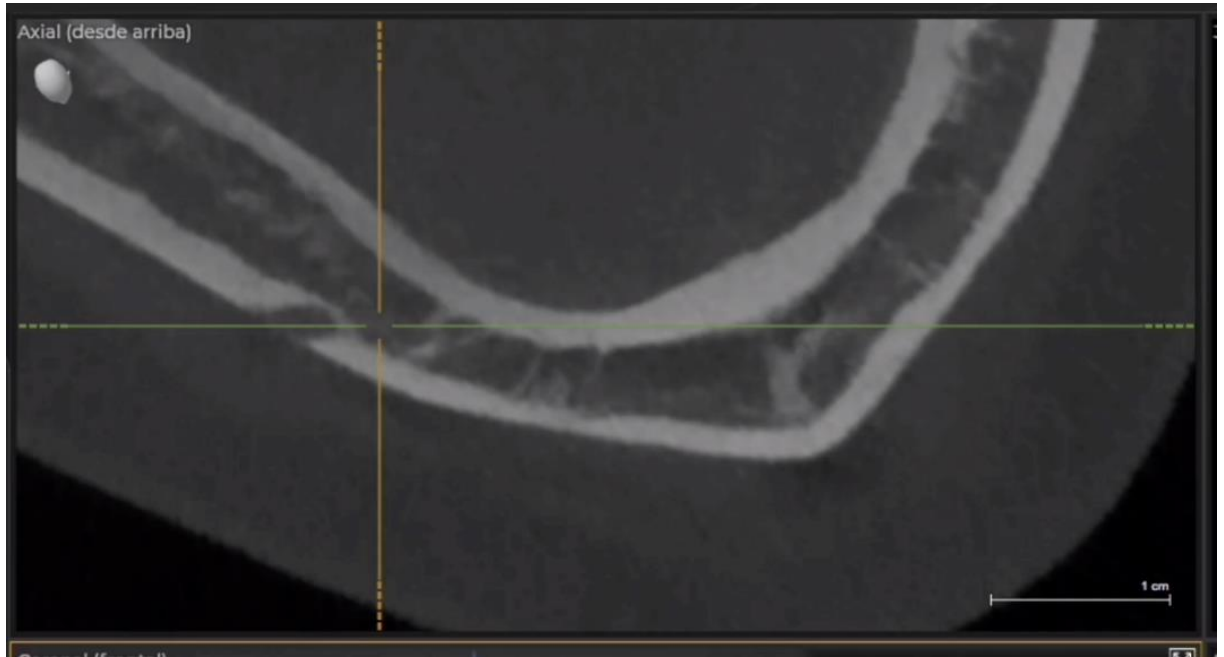
Prueba Piloto Precisión

N	Día									
	Software LIBRE					Software LICENCIADO				
		Pieza más cercana	Izquierda	Pieza más cercana	Derecha		Pieza más cercana	Izquierda	Pieza más cercana	Derecha
1	U601	2PM	5.85mm	2PM	4.82mm	U601	2PM	7.5mm	2PM	5.8mm
2	U602	2PM	4.46mm	2PM	5.60mm	U602	1PM	8.2mm	1PM	7.5mm
3	U603	2PM	5.62mm	2PM	8.53mm	U603	2PM	5.3mm	2PM	8.5mm
4	U604	2PM	4.80mm	2PM	3.52mm	U604	2PM	4.8mm	2PM	3.6mm
5	U605	2PM	4.10mm	2PM	3.95mm	U605	2PM	6.1mm	2PM	5.9mm
6	U606	1PM	5.30mm	1PM	5.77mm	U606	2PM	5.6mm	2PM	4.9mm
7	U607	2PM	7.42mm	2PM	5.86mm	U607	1PM	6.6mm	1PM	4.8mm
8	U608	2PM	6.00mm	2PM	6.00mm	U608	1PM	5.6mm	1PM	5.7mm
9	U609	1PM	6.60mm	1PM	4.91mm	U609	2PM	4.5mm	2PM	5.4mm
10	U600	1PM	8.25mm	1PM	7.47mm	U600	2PM	4.2mm	2PM	3.7mm

Prueba Piloto Confiabilidad

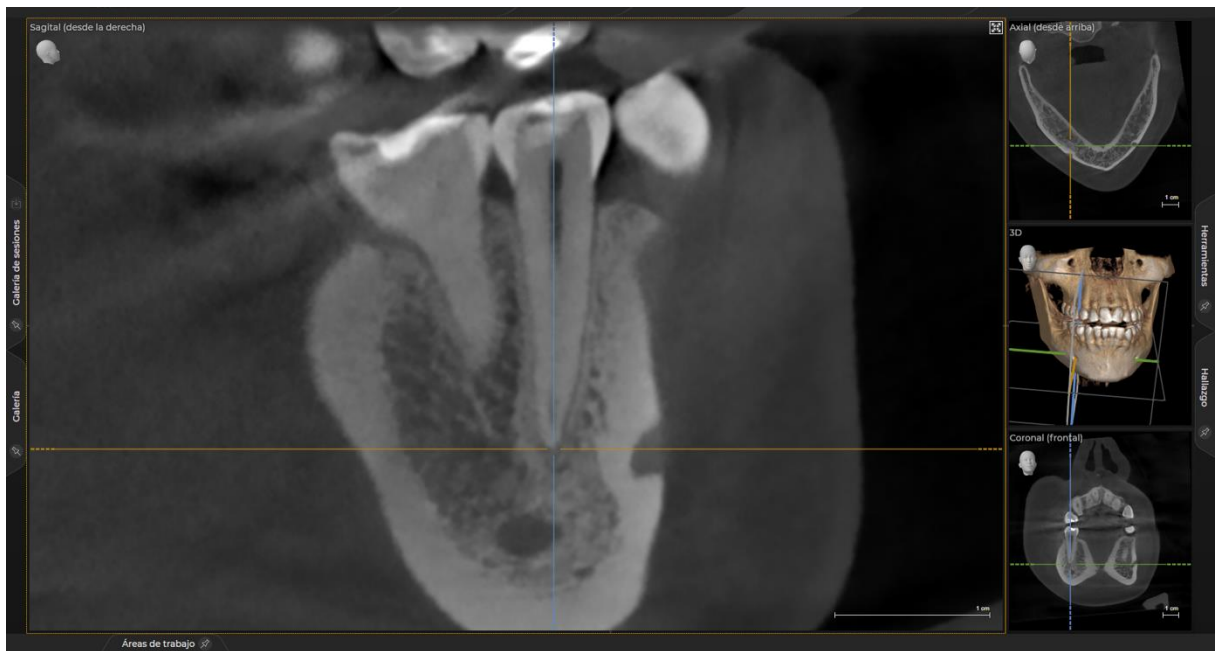
N	Día SPN LIBRE									
	Tiempo 1					Tiempo 2				
		Pieza más cercana	Izquierda	Pieza más cercana	Derecha		Pieza más cercana	Izquierda		Derecha
1	U601	2PM	5.85mm	2PM	4.82mm	U601	1PM	5.45mm	1PM	5.75mm
2	U602	2PM	4.46mm	2PM	5.60mm	U602	2PM	5.62mm	2PM	8.58mm
3	U603	2PM	5.62mm	2PM	8.53mm	U603	1PM	6.55mm	1PM	4.95mm
4	U604	2PM	4.80mm	2PM	3.52mm	U604	2PM	7.50mm	2PM	5.85mm
5	U605	2PM	4.10mm	2PM	3.95mm	U605	2PM	4.75mm	2PM	3.58mm
6	U606	1PM	5.30mm	1PM	5.77mm	U606	2PM	5.84mm	2PM	4.90mm
7	U607	2PM	7.42mm	2PM	5.86mm	U607	2PM	4.43mm	2PM	5.72mm
8	U608	2PM	6.00mm	2PM	6.00mm	U608	1PM	8.25mm	1PM	7.48mm
9	U609	1PM	6.60mm	1PM	4.91mm	U609	2PM	4.15mm	2PM	3.80mm
10	U600	1PM	8.25mm	1PM	7.47mm	U600	2PM	6.12mm	2PM	5.98mm

Anexo 6. Medición de la distancia entre el foramen mentoniano y el ápice radicular de la pieza dentaria más cercana utilizando el software gratuito (Sidexis 4 Viewer).



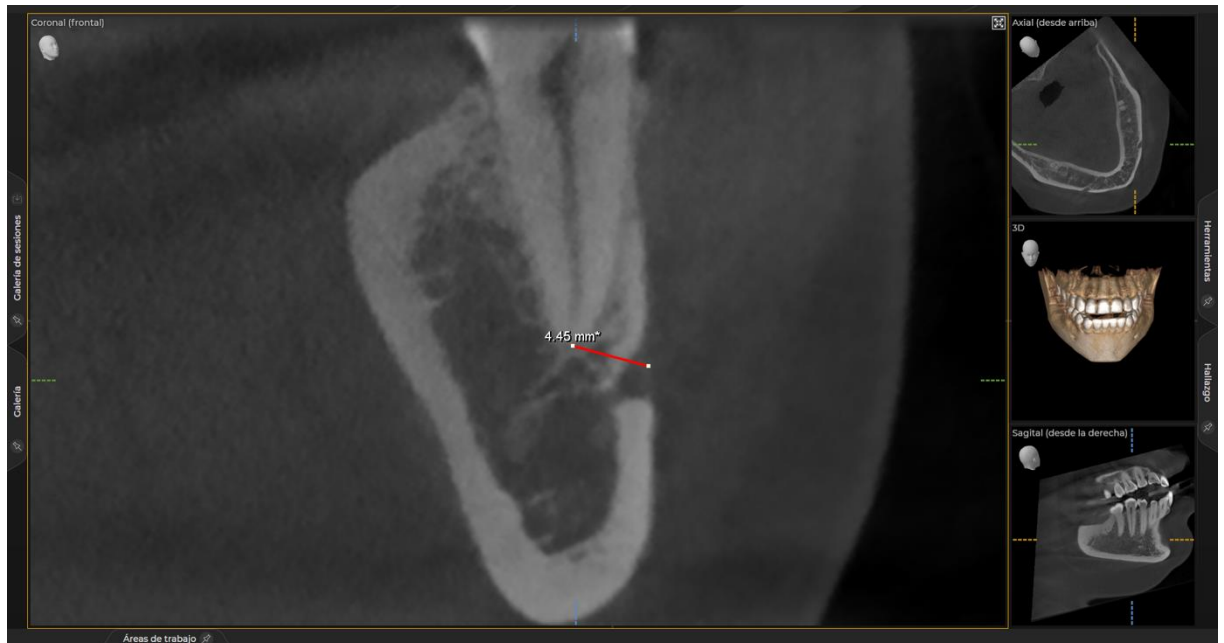
Visualización axial inicial en software gratuito (Sidexis 4 Viewer): Imagen correspondiente al primer paso del procedimiento de medición en el software gratuito. Se muestra la navegación en el plano axial hasta localizar visualmente la región del foramen mentoniano. Esta localización permitió establecer una referencia espacial preliminar para el ajuste posterior de los planos sagital y coronal, necesarios para definir el eje longitudinal de la pieza dentaria más cercana y realizar la medición definitiva en un plano coronal único.

Anexo 7



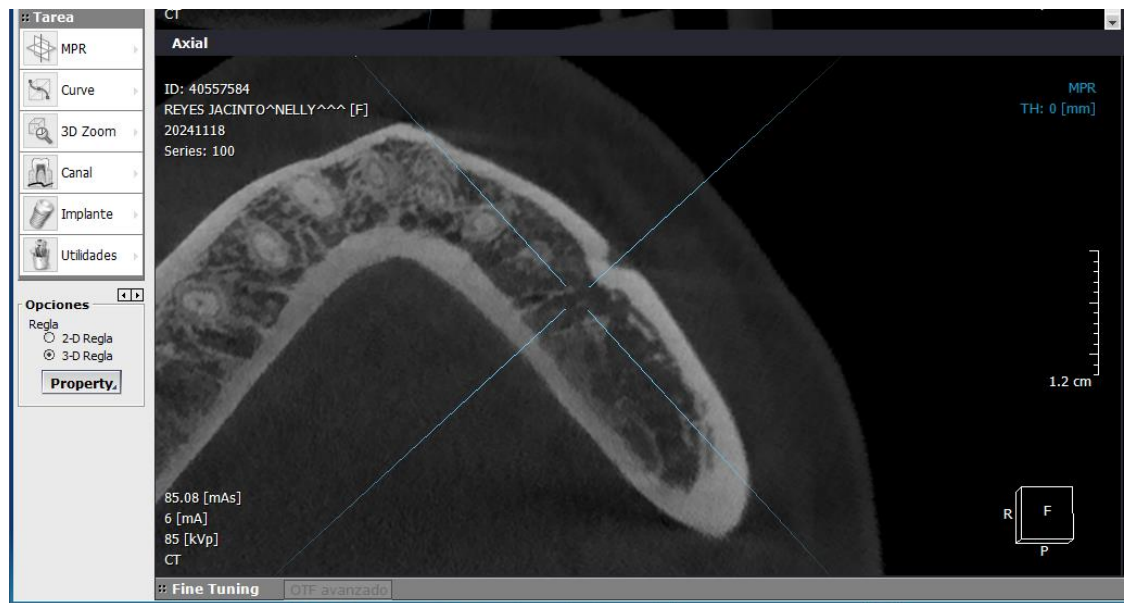
La imagen muestra el momento del procedimiento en que, mediante desplazamientos y rotaciones en los planos sagital y coronal, se alinea el eje longitudinal de la pieza dentaria más próxima al foramen mentoniano. Este ajuste permitió identificar con precisión el vértice tomográfico de la raíz, asegurando una correcta delimitación anatómica previa a la medición definitiva. Esta etapa fue fundamental para garantizar que el plano coronal generado posteriormente incluyera simultáneamente tanto el ápice dentario como la porción externa del foramen.

Anexo 8



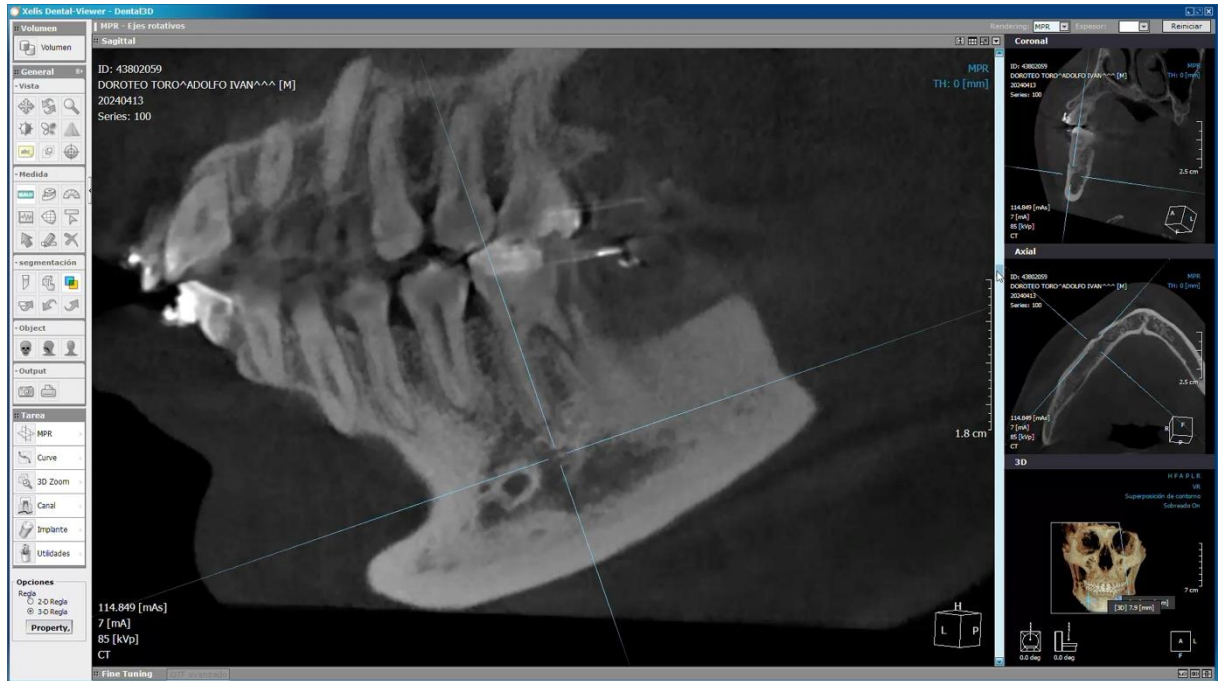
La imagen ilustra la medición realizada en el plano coronal modificado, generado tras rotar cuidadosamente el eje de corte con base en la observación simultánea del plano axial. Este ajuste permitió obtener un único corte coronal en el que se visualizan en una misma sección, el vértice tomográfico de la pieza dentaria más cercana y la porción externa del foramen mentoniano. La medición se efectuó utilizando la herramienta de distancia lineal bidimensional del software, reflejando el valor final entre ambos puntos anatómicos de interés.

Anexo 9.



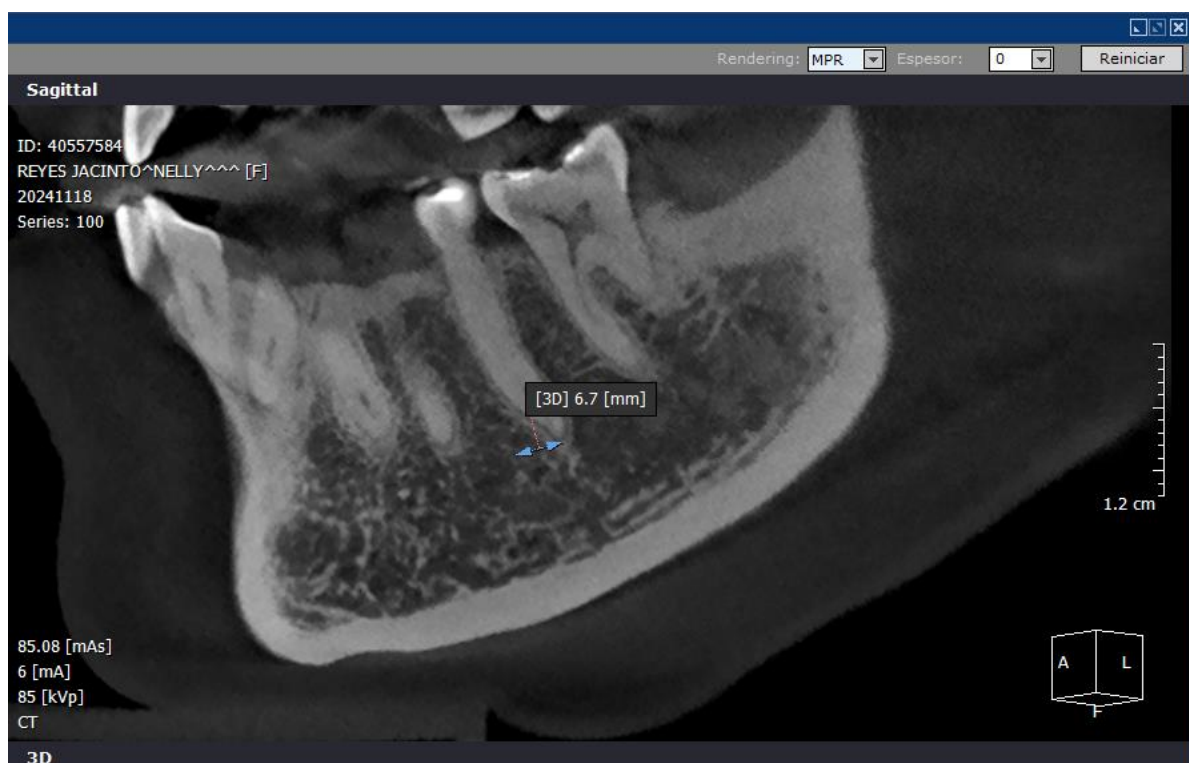
Medición en Software Licenciado (Xelis): Se localiza la región del foramen mentoniano mediante desplazamiento progresivo en cortes axiales, identificando visualmente su porción externa más prominente como punto anatómico de referencia para la posterior medición tridimensional.

Anexo 10



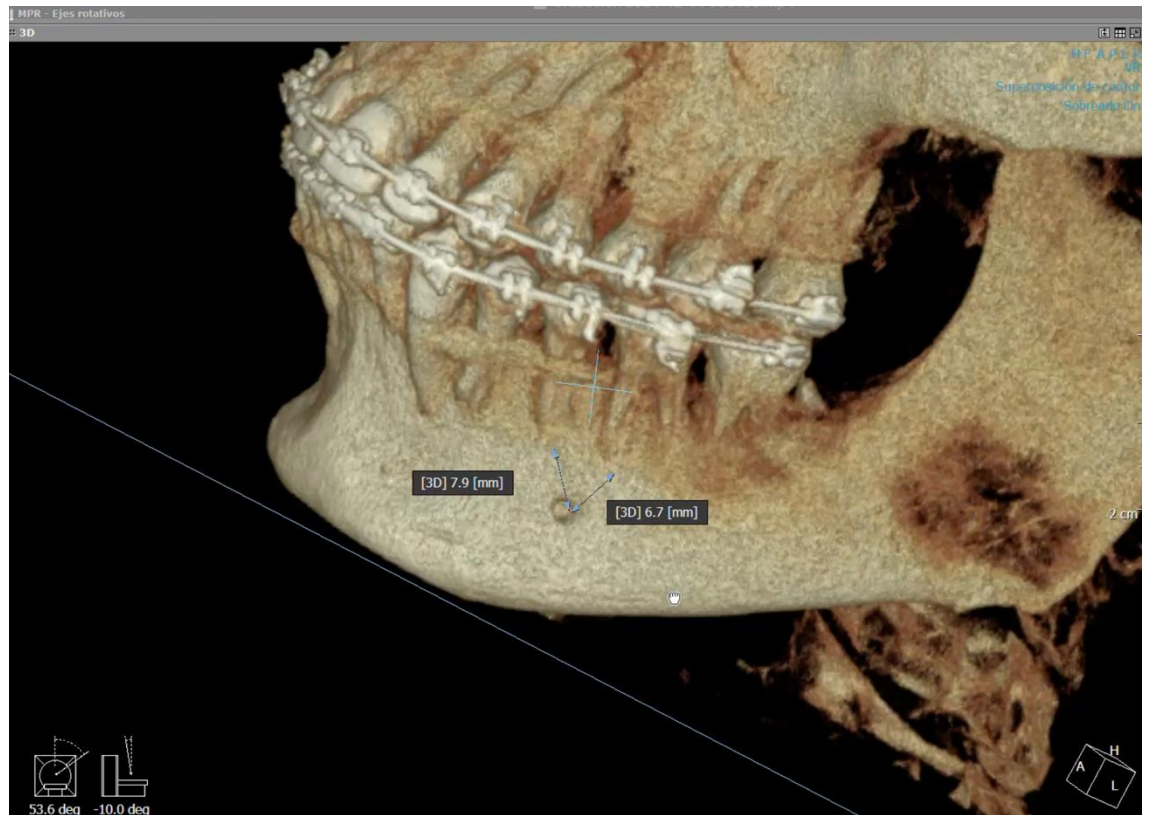
Ajuste del plano sagital en el software licenciado Xelis. Una vez identificada la porción externa del foramen mentoniano, se procedió al desplazamiento del plano sagital hasta alinearlo con el eje longitudinal de las piezas dentarias vecinas. Esta orientación permitió visualizar con claridad sus vértices anatómicos y establecer las condiciones necesarias para la colocación precisa de los puntos de medición tridimensional.

Anexo 11



Se colocó el primer punto de medición sobre el vértice anatómico de la raíz de la pieza dentaria más cercana, y luego, desplazándose libremente a través del plano sagital, se ubicó el segundo punto en la porción externa del foramen mentoniano, confirmando su localización con apoyo del plano axial. La herramienta de medición tridimensional mantuvo activa la línea de referencia durante todo el desplazamiento, permitiendo una visualización continua y precisa de la distancia registrada en tiempo real.

Anexo 12



Visualización de la medición tridimensional en la reconstrucción volumétrica del software licenciado Xelis. Se aprecia con claridad el trazo de la medición desde el vértice tomográfico de la pieza dentaria más cercana hasta la porción externa del foramen mentoniano, atravesando el tejido óseo mandibular.

Anexo 13



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

CONSTANCIA-CIEI-551-43-24

El Presidente del Comité Institucional de Ética en Investigación (CIEI) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia hace constar que el proyecto de investigación señalado a continuación fue **APROBADO** por el Comité Institucional de Ética en Investigación, bajo la categoría de revisión **EXENTO**. La aprobación será informada en la sesión más próxima del comité.

Título del Proyecto : “COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD ENTRE UN SOFTWARE LIBRE Y UN SOFTWARE LICENCIADO PARA LA MEDICIÓN DE LA DISTANCIA DEL FORAMEN MENTONIANO A PIEZA DENTARIA CERCANA EN IMÁGENES TOMÓGRAFICAS COMPUTARIZADAS DE HAZ CÓNICO”

Código SIDISI : 214596

Investigador(a) principal(es) : Flores Ventura Luis Hernan

La **aprobación** incluyó los documentos finales descritos a continuación:

1. Protocolo de investigación, versión 2.0 de fecha 17 de agosto del 2024 .

La **APROBACIÓN** considera el cumplimiento de los estándares de la Universidad, los lineamientos científicos y éticos, el balance riesgo/beneficio, la calificación del equipo investigador y la confidencialidad de los datos, entre otros.

Cualquier enmienda, desviaciones, eventualidad deberá ser reportada de acuerdo a los plazos y normas establecidas. La categoría de **EXENTO** es otorgado al proyecto por un periodo de cinco años en tanto la categoría se mantenga y no existan cambios o desviaciones al protocolo original. El investigador está exonerado de presentar un reporte del progreso del estudio por el periodo arriba descrito y sólo alcanzará un informe final al término de éste. La aprobación tiene vigencia desde la emisión del presente documento hasta el **Lunes 29 de octubre del 2029** .

El presente proyecto de investigación sólo podrá iniciarse después de haber obtenido la(s) autorización(es) de la(s) institución(es) donde se ejecutará.

Si aplica, los trámites para su renovación deberán iniciarse por lo menos 30 días previos a su vencimiento.

Lima, 29 de octubre del 2024



Manuel Raul Perez Martinot
Presidente
Comité Institucional de Ética en Investigación
Universidad Peruana Cayetano Heredia

Av. Honorio Delgado 430
San Martín de Porres
Apartado postal 4314
319 0000 Anexo 201355
orvei.ciei@oficinas-upch.pe
www.cayetano.edu.pe

Comité Institucional de
Ética en Investigación

Anexo 14

Código SIDISI: 214596

Título Completo del Proyecto: COMPARACIÓN DE PRECISIÓN Y CONFIABILIDAD ENTRE UN SOFTWARE LIBRE Y UN SOFTWARE LICENCIADO PARA LA MEDICIÓN DE LA DISTANCIA DEL FORAMEN MENTONIANO A PIEZA DENTARIA CERCANA EN IMÁGENES TOMÓGRAFICAS COMPUTARIZADAS DE HAZ CÓNICO.

Nombre del Investigador Principal: Luis Hernán Flores Ventura

**Declaración del Jefe de la Unidad Operativa¹
en la que se llevará a cabo el estudio**

Certifico que mi área operativa ha tomado conocimiento de este proyecto según nuestros procedimientos internos, y nos comprometemos a canalizarlo y apoyar las gestiones que fueran necesarias dentro de las normas vigentes, dentro de la ley y de las normas nacionales e internacionales para la realización de proyectos de investigación.

Certifico además, que el investigador principal y sus colaboradores tienen la competencia necesaria para su realización

(Podrá incluirse tantas áreas operativas como fuera necesario, un formulario por cada una)

Nombre del Jefe del Área Operativa:	Mag. Luis Alberto Benito German Santa Cruz
Área Operativa:	Departamento Académico de Medicina y Cirugía Bucomaxilofacial
Firma y sello: 	Fecha: Setiembre 3 de 2024.

¹ Jefe del Departamento Académico o Jefe del Laboratorio(s) o Jefe de Unidad de Investigación de la unidad de gestión para proyectos en UPCH. Para unidades operativas externas a UPCH, debe ser la persona con la responsabilidad de dar autorizaciones.

Anexo 15



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

CAR-FAEST-DAMCIBUM-197-2024

Lima, 3 de setiembre de 2024

Doctor

Luis Hernán Flores Ventura

Alumno de Maestría en Endodoncia

Facultad de Estomatología Roberto Beltrán

Presente.-

Estimado doctor Flores:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente y comunicarles que su solicitud para realizar su trabajo de investigación, titulado: "Comparación de precisión y confiabilidad entre un software libre y un software licenciado para la medición de la distancia del foramen mentoniano a pieza dentaria cercana en imágenes tomográficas computarizadas de haz cónico", para ello se autoriza a la Dra. Milushka Quezada Márquez, Coordinadora de la Sección de Imagenología Bucomaxilofacial y docente del Departamento Académico, para la capacitación y calibración de su mencionado trabajo.

El presente trabajo deberá ejecutarse, una vez entregado la constancia de aprobación del proyecto emitida por el Comité de Ética y bajo la coordinación de su asesora, Dra. Carmen Rosa García Rupaya, docente de la Facultad de Estomatología.

Agradezco su amable atención.

Atentamente,

Dr. Alberto German Santa Cruz

Jefe

Departamento Académico de Medicina y

Cirugía Bucomaxilofacial

C.c.

- Dra. Milushka Quezada, Coordinadora Sección Imagenología B.

- Dra. Carmen Rosa García, docente FAEST.

AGS/aa.

Av. Honorio Delgado 430, SMP
(511) 3190021 anexo 224304

faest.mocopo1@oficinas-upch.pe

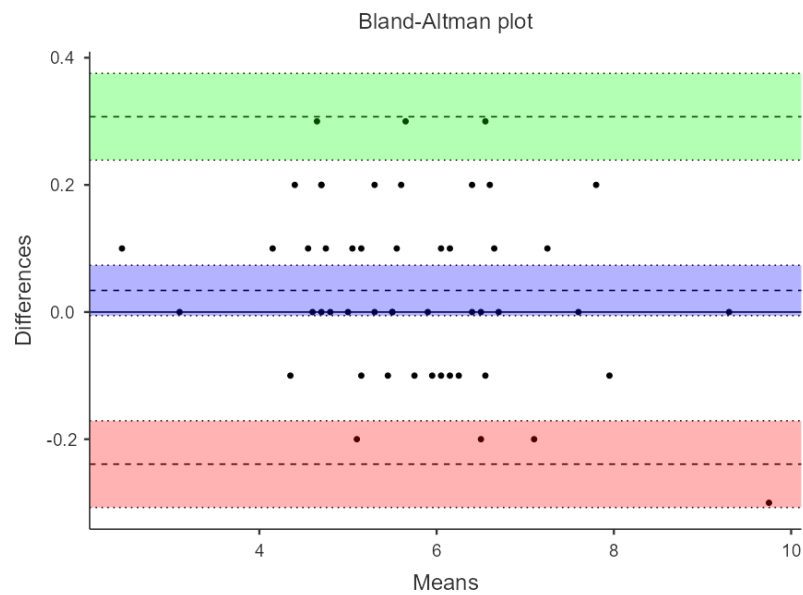


Tabla 1: Comparación de la precisión entre el software gratuito y el software licenciado.

Bland-Altman

		95% Intervalo de Confianza	
	Estimación (mm)	Límite Inferior	Limite Superior
Sesgo Promedio (n = 50)	0.0340	-0.00562	0.0736
Límite Inferior de Concordancia	-0.2392	-0.30739	-0.1711
Limite Superior de Concordancia	0.3072	0.23907	0.3754

Figura 1: Precisión según la diferencia promedio entre las mediciones obtenidas con el software gratuito y el software licenciado, según variabilidad y grado de acuerdo con el 95%.



- Eje Y (Diferencias): expresado en milímetros.
- Eje X (Promedios): expresado en milímetros.
- Línea azul central: sesgo promedio de 0.034 mm → en promedio, el software gratuito sobreestima ligeramente la distancia en comparación con el software licenciado.
- Las líneas verde y roja representan los límites de acuerdo (de -0.2392 mm a 0.3072 mm), indicando el rango dentro del cual se encuentran el 95% de las diferencias.

Tabla 2: Evaluación de la confiabilidad intraevaluador del software gratuito en dos momentos de medición (una semana).

Matriz de Correlaciones

		TIEMPO 1
TIEMPO 2	CCI	0.996
	gl	48
	valor p	< .001

Tabla 3: Frecuencia y comparación de la distancia del foramen mentoniano a la pieza dentaria más cercana según la clasificación de Von Arx.

	Software Gratuito		Software Licenciado	
	n	%	n	%
I	0	0	0	0
II	1	2	1	2
III	13	26	14	28
IV	36	72	35	70

Las categorías de distancia se establecieron según la clasificación propuesta por von Arx et al. (2013): Grupo I (<1 mm), Grupo II (1–3 mm), Grupo III (3–5 mm) y Grupo IV (>5 mm). La tabla presenta las frecuencias y porcentajes para cada categoría utilizando el software gratuito y el software licenciado.

Tabla 4: Frecuencia y porcentaje de la pieza dentaria más cercana al foramen mentoniano según tipo de software utilizado (gratuito y licenciado)

			n	%
Total	Gratuito	1M	2	4
		1PM	3	6
		2PM	45	90
	Licenciado	1M	2	4
		1PM	3	6
		2PM	45	90

La tabla presenta la frecuencia y el porcentaje de la pieza dentaria mandibular más cercana al foramen mentoniano, según lo identificado utilizando software gratuito y software licenciado. 2PM = segundo premolar, 1PM = primer premolar, 1M = primer molar. Los valores corresponden a frecuencias absolutas (n) y porcentajes (%) sobre el total de 50 mediciones.

Tabla 5: Promedio y desviación estándar de las mediciones realizadas con el software gratuito y el software licenciado.

	DESVIACIÓN ESTANDAR	PROMEDIO
Software gratuito	1.32 mm	5.79 mm
Software licenciado	1.36 mm	5.76 mm

Se presentan la desviación estándar (mm) y el promedio (mm) de las mediciones obtenidas con el software gratuito y con el software licenciado. Estas mediciones corresponden a la distancia entre el foramen mentoniano y la pieza dentaria más cercana, para un total de 50 mediciones pareadas incluidas en el análisis.

