UNIVERSIDAD HEMISFERIOS

Facultad Ciencias de la Salud

Tema:

Análisis comparativo de la precisión de escáneres intraorales según patrón de escaneo (horario vs. antihorario) para estandarización de un protocolo clínico en ortodoncia digital.

Trabajo de titulación para la obtención del Título de Especialista en Ortodoncia

Presentado por:

Dra. Odalis Daniela Monar Alban.

Tutor:

Dra. Andrea Ruiz Bautista.

Quito, diciembre del 2025

Resumen

Los escáneres intraorales es un instrumento tecnológico de vanguardia que se utiliza en la odontología para obtener representaciones tridimensionales precisas de la cavidad oral. Objetivo: Comparar la precisión de los escáneres intraorales utilizando dos modelos impresos en 3D obtenidos del repositorio de modelos de la Universidad Hemisferios, evaluando los patrones de escaneo horario y antihorario. Metodología: Estudio experimental in vitro con dos archivos STL anónimos (M1–M2) del repositorio institucional, modificados con puntos de referencia en Exocad DentalCAD 3.2 Elefsina e impresos en resina. Se evaluaron cuatro IOS: Dentsply Sirona, CHA (Shining 3D), Aoralscan 3 (Shining 3D) y i500 (Medit); todos calibrados según el fabricante. Dos operadores experimentados realizaron, por modelo y por escáner, tres réplicas de cada patrón siguiendo el orden de superficies oclusal, vestibular, palatina/lingual, oclusión. Las distancias se midieron en X, Y, Z y diagonales (AD/AI) con Meshmixer y se volvieron a medir a 3 días en Nemo Studio 2024. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico mediante la prueba de (ANOVA/Kruskal–Wallis; $\alpha=0,05$) ya que no se cumplían los supuestos de normalidad. Resultados. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los patrones de escaneo ($p > 0,05$). No obstante, los patrones horario y antihorario mostraron un desempeño más estable que el patrón lineal. En cuanto a la precisión, los escáneres Dentsply Sirona y Aoralscan 3 (Shining 3D) registraron los mejores valores. Conclusión: se concluye que los diferentes patrones de escaneo (lineal, horario, antihorario) no altera de forma significativa la precisión de los escaneos de arcada completa.

Palabras clave: odontología digital, impresión digital, precisión; exactitud de escaneo; protocolo de escaneo

Declaración de aceptación de norma ética y derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

ODALIS DANIELA MONAR ALBAN

0202328886

Dedicatoria

A mis padres Neiser Monar y Magaly Alban, que son el cimiento en entablar este proyecto.

A mis hermanos Marianela Monar y Argenis Monar, que me concedieron resiliencia en perdurar en esta travesía.

A mi cuñado Isaac Mero, que a su miramiento me dio la sagacidad a este logro.

A mi cielo a mi Cinquecento, que a su inseparabilidad me hizo más sobre llevadero a este camino y que sea así nuestra inmortalidad.

A mi talismán de la fortuna, que me hizo el anhelo del laurel por tomar este propósito.

Proclamo a mi familia porque gracias a ellos culminó este proyecto que solo era una ilusión recelosa que con aprensión lo inicie y ahora con toda la euforia lo termino.

Tabla de contenidos

Declaración de aceptación de norma ética y derechos 3

Tabla de contenidos 5

Índice De Tablas 6

Índice De Gráficos 7

Resumen 8

Abstract 10

Introducción 11

Capítulo 1. Marco Referencial 13

Capítulo 2. Investigación 22

Resultados 27

Capítulo 3. Discusión De Los datos 34

Conclusiones 37

Referencias 38

Índice De Tablas

Tabla 1. Resultados de las mediciones en el eje X realizadas desde varios escáneres 27

Tabla 2. Resultados de las mediciones en el eje Y realizadas desde varios escáneres 28

Tabla 3. Resultados de las mediciones en el eje Z medidas desde varios escáneres 29

Tabla 4. Resultados de las mediciones en diagonal realizadas desde varios escáneres.... 30

Tabla 5. Resultados de la prueba de normalidad de datos mediante Kolmogorov-Smirnov de varias mediciones 31

Tabla 6. Exactitud y precisión por escáner 32

Tabla 7. Resultados: Test de normalidad por patrón 32

Tabla 8. Resultados: exactitud y precisión por patrón 33

Índice De Gráficos

Figura 1. Naturaleza de la luz. 18

Figura 2. Modelo M1 con sus respectivas modificaciones 22

Figura 3. Modelos impresos M2 23

Figura 4. Calibración del escáner..... 25

Figura 5. Medición del modelo realizado por un operador..... 26

Figura 6. Mediciones en el eje X de los diferentes escáneres intraorales..... 28

Figura 7. Mediciones en el eje Y de los diferentes escáneres intraorales..... 29

Figura 8. Mediciones en el eje Z de los diferentes escáneres intraorales 30

Figura 9. Mediciones en el eje XY de los diferentes escáneres intraorales..... 31

Análisis comparativo de la precisión de escáneres intraorales según patrón de escaneo (Horario Vs. Antihorario) para estandarización de un protocolo clínico en ortodoncia digital.

Odalis Daniela Monar Alban.

Universidad Hemisferios.

odmonara@estudiantes.uhemisferios.edu.ec

Resumen

Los escáneres intraorales es un instrumento tecnológico de vanguardia que se utiliza en la odontología para obtener representaciones tridimensionales precisas de la cavidad oral. Objetivo: Comparar la precisión de los escáneres intraorales utilizando dos modelos impresos en 3D obtenidos del repositorio de modelos de la Universidad Hemisferios, evaluando los patrones de escaneo horario y antihorario. Metodología: Estudio experimental in vitro con dos archivos STL anónimos (M1–M2) del repositorio institucional, modificados con puntos de referencia en Exocad DentalCAD 3.2 Elefsina e impresos en resina. Se evaluaron cuatro IOS: Dentsply Sirona, CHA (Shining 3D), Aoralscan 3 (Shining 3D) y i500 (Medit); todos calibrados según el fabricante. Dos operadores experimentados realizaron, por modelo y por escáner, tres réplicas de cada patrón siguiendo el orden de superficies oclusal, vestibular, palatina/lingual, oclusión. Las distancias se midieron en X, Y, Z y diagonales (AD/AI) con Meshmixer y se volvieron a medir a 3 días en Nemo Studio 2024. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico mediante la prueba de (ANOVA/Kruskal–Wallis; $\alpha=0,05$) ya que no se cumplían los supuestos de normalidad. Resultados. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los patrones de escaneo ($p > 0,05$). No obstante, los patrones horario y antihorario mostraron un desempeño más estable que el patrón lineal. En cuanto a la precisión, los escáneres Dentsply

Sirona y Aoralscan 3 (Shining 3D) registraron los mejores valores. Conclusión: se concluye que los diferentes patrones de escaneo (lineal, horario, antihorario) no altera de forma significativa la precisión de los escaneos de arcada completa.

Palabras clave: odontología digital, impresión digital, precisión; exactitud de escaneo; protocolo de escaneo

Abstract

Intraoral scanners are cutting-edge technological instruments used in dentistry to obtain accurate three-dimensional representations of the oral cavity. Objective: To compare the accuracy of intraoral scanners using two 3D-printed models obtained from the Hemisferios University model repository, evaluating clockwise and counterclockwise scanning patterns. Methodology: An in vitro experimental study was conducted using two anonymous STL files (M1–M2) from the institutional repository, modified with reference points in Exocad DentalCAD 3.2 Elefsina and printed in resin. Four intraoral scanners were evaluated: Dentsply Sirona, CHA (Shining 3D), Aoralscan 3 (Shining 3D), and i500 (Medit); all calibrated according to the manufacturer's instructions. Two experienced operators performed three replicas of each scanning pattern per model and scanner, following the order of occlusal, buccal, palatal/lingual, and occlusal surfaces. Distances were measured in the X, Y, Z, and diagonal (AD/AI) axes using Meshmixer and remeasured after 3 days in Nemo Studio 2024. The data obtained were subjected to statistical analysis using the ANOVA/Kruskal–Wallis test ($\alpha=0.05$) since the assumptions of normality were not met. Results: No statistically significant differences were observed between the scanning patterns ($p > 0.05$). However, the clockwise and counterclockwise patterns showed more stable performance than the linear pattern. Regarding accuracy, the Dentsply Sirona and Aoralscan 3 (Shining 3D) scanners recorded the best values. Conclusion: It is concluded that the different scanning patterns (linear, clockwise, counterclockwise) do not significantly alter the accuracy of full-arch scans.

Keywords**:** digital dentistry, digital impression, precision; scanning accuracy; scanning protocol

Introducción

Las tecnologías digitales actuales hacen posible reproducir con gran exactitud las características dentales del paciente. Un ejemplo de ello son los escáneres intraorales (IOS), que generan reconstrucciones tridimensionales (3D) de la cavidad oral y facilitan la evaluación de la eficacia de los tratamientos (Santo et al., 2021, pág. 1). Estas imágenes 3D de los dientes y de los tejidos blandos orales se han convertido en una opción válida y precisa frente a los modelos de yeso tradicionales en odontología (Bae & Woo, 2022 pág. 1).

Los registros obtenidos mediante el escaneo pueden guardarse de forma permanente en medios digitales como una computadora, y compartirse fácilmente a través de internet, lo que agiliza el intercambio de información (Kravitz et al., 2014, pág. 1). Gracias a ello, esta herramienta contribuye a diagnósticos y tratamientos más exactos y funcionales para los profesionales de la odontología (Mangano et al., 2017, pág. 1).

En la práctica ortodóntica actual, los escáneres intraorales (IOS) han sustituido en gran medida a las impresiones convencionales, mejorando la comodidad del paciente y optimizando la planificación digital(Afrashtehfar et al., 2022, pág. 2). No obstante, la exactitud dimensional de los modelos digitales generados puede verse influida tanto por el tipo de escáner empleado como por el patrón de escaneo utilizado, ya sea en sentido horario o antihorario(Afrashtehfar et al., 2022, pág. 2).

Estudios recientes, como el de (Farook et al., 2023, págs. 1-2), han demostrado que, aunque el tipo de escáner y la pericia del operador no siempre generan diferencias significativas, tanto el procesamiento del escaneo como los métodos de captura sí influyen en los resultados tridimensionales. De manera complementaria (Afrashtehfar et al., 2022, pág. 2) señalaron que el patrón de escaneo constituye un factor crítico en la precisión del modelo, junto con variables

como el tamaño del cabezal del escáner, el diseño del recorrido de escaneo y la experiencia del operador.

La odontología digital ha evidenciado que los escáneres intraorales (IOS) como los modelos impresos en resina ofrecen una exactitud comparable a las impresiones convencionales y, en muchos casos, superan la experiencia del paciente y la eficiencia en el tiempo. (Afrashtehfar et al., 2022, pág. 3). Sin embargo, su precisión está condicionada por diversos factores, como el tipo de escáner, el tamaño de la punta y el patrón de escaneo. A pesar de la amplia producción científica internacional, aún no existe consenso respecto a cuáles trayectorias son óptimas para el registro de arcos completos, lo que resalta la necesidad de establecer protocolos clínicos estandarizados. (Afrashtehfar et al., 2022, pág. 3)

En este contexto, resulta pertinente investigar el sentido de la trayectoria de escaneo (horario vs. antihorario) como factor específico de la odontología digital, con el fin de estandarizar protocolos clínicos que eleven la calidad de la atención ortodóncica y optimicen tiempo, recursos y resultados terapéuticos.

Se buscó comparar la precisión de los escáneres intraorales utilizando dos modelos impresos en 3D obtenidos del repositorio de modelos de la Universidad de los Hemisferios, evaluando los patrones de escaneo horario y antihorario.

Capítulo 1. Marco Referencial

Los escáneres intraorales (IOS) son elementos que nos permiten capturar impresiones ópticas directas en odontología ya que proyectan una fuente de luz sobre el objeto a ser escaneado como son las arcadas dentarias. (Mangano et al., 2017, pág. 1). Los escáneres intraorales (IOS) utilizan óptica sofisticada, sensores de imagen y algoritmos de software para lograr impresiones digitales exactas. (Dhull et al., 2024, pág. 1929). Mediante mecanismos como la proyección de luz estructurada, el movimiento multiaxial y la retroalimentación en tiempo real, los escáneres intraorales (IOS) nos permiten realizar un escaneo eficiente y completo. (Dhull et al., 2024, pág. 1930).

Los escáneres intraorales utilizan ópticas avanzadas como lentes y espejos para poder capturar imágenes de alta resolución de la cavidad oral y estos componentes ópticos están diseñados para enfocar la topografía superficial de los dientes y de los tejidos blandos lo que permite al escáner capturar detalles finos con exactitud.(Dhull et al., 2024, pág. 1932). Algunos escáneres intraorales (IOS) usan triangulación óptica, otras proyectan luz estructurada, mientras que otras más avanzadas emplean escaneo por confiablidad o análisis de frente de onda citación. Cada una tiene sus ventajas dependiendo del caso clínico y del nivel de detalle que se requiera (Afrashtehfar et al., 2022, pág. 2; Farook et al., 2023, pág. 1).

La mayoría de escáneres intraorales utilizan tecnologías de luz estructurada o imágenes confocales para proyectar patrones de luz sobre las superficies escaneadas (Dhull et al., 2024, pág. 1932). Al analizar la distorsión de estos patrones proyectados al interactuar con las estructuras del diente, el escáner puede crear mapas tridimensionales precisos de la superficie.(Dhull et al., 2024, pág. 1932).

El escáner intraoral ofrece al profesional una retroalimentación en tiempo real a través de imágenes que se muestran en la pantalla de la computadora. (Dhull et al., 2024, pág. 1931). Conforme se desplaza el escáner dentro de la cavidad oral, este va registrando y procesando continuamente la información visual, lo que permite al profesional verificar de inmediato la cobertura obtenida y la calidad de los datos capturados.(Dhull et al., 2024, pág. 1930)

Los escáneres intraorales cuentan con un cabezal flexible y maniobrable que posibilita movimientos en múltiples ejes, facilitando el acceso a todas las zonas de la cavidad bucal(Dhull et al., 2024, pág. 1930). Esta característica resulta fundamental para obtener un registro completo de la arcada dental, incluso en las áreas posteriores, las cuales suelen representar un reto para las técnicas de impresión convencionales.(Dhull et al., 2024, pág. 1930)

De hecho, un estudio demostró que los escaneos digitales presentan una mayor veracidad que las impresiones de alginato o poliéter para arcadas dentadas completas, pero no alcanzan el polivinilsiloxano (PVS) (Ender & Mehl, 2013, pág. 4). Sin embargo, un estudio más reciente, con un cadáver maxilar fresco y siete sistemas IOS diferentes, reveló que varios sistemas tienen un rendimiento tan bueno como el grupo PVS en cuanto a veracidad y precisión (Mennito et al., 2018, pág. 1).

Aunque la PVS y los materiales de impresión tradicionales apenas han cambiado en las últimas dos décadas, los escáneres digitales continúan en un proceso constante de innovación (Vag et al., 2021). Con el avance de los sistemas IOS y los escáneres de escritorio, se hace necesario reevaluar periódicamente su desempeño, empleando modelos de referencia estándar que resulten lo más relevantes posible en el ámbito clínico (Vag et al., 2021, pág. 2).

La información tridimensional obtenida por el escáner intraoral es procesada a través de avanzados algoritmos que integran las imágenes capturadas de manera individual para generar un

modelo digital continuo.(Dhull et al., 2024, pág. 1930). Durante los últimos años hay avances en la tecnología ya sea en el software y hardware, lo cual han permitido mejorar la eficiencia y la precisión de escaneo intraoral en el diseño y la fabricación asistida por computadora (CAD-CAM) que sigue siendo el uso rutinario de los escáneres (Eggmann & Blatz, 2024, pág. 1)

Los escáneres intraorales (IOS) tienen una amplia gama de aplicaciones en el área de la odontología revolucionando la forma en que se realiza las impresiones orales. (Dhull et al., 2024, pág. 1930). En prostodoncia y odontología restauradora, los escáneres intraorales permiten obtener impresiones digitales precisas para coronas, puentes e implantes, evitando materiales tradicionales y reduciendo incomodidad y errores. (Dhull et al., 2024, pág. 1930).

En ortodoncia, los escáneres intraorales generan modelos digitales precisos que facilitan la colocación de brackets, alineadores y retenedores, además de optimizar la evaluación y planificación del tratamiento.(Dhull et al., 2024, pág. 1930). También en la mayoría de los tratamientos de ortodoncia requieren largos periodos de tratamiento, y el primer modelo de diagnóstico debe almacenarse durante dicho periodo. (Dhull et al., 2024, pág. 1930). Los modelos digitales obtenidos mediante escáneres intraorales no ocupan espacio físico como los modelos de yeso convencionales, y sin duda, el modelo digital obtenido mediante el escáner intraoral es eficaz para asegurar el espacio de almacenamiento. (Kihara et al., 2020, pág. 1)

En periodoncia y cirugía, los escáneres intraorales permiten obtener imágenes precisas de los tejidos blandos, los contornos gingivales y la oclusión, lo que favorece la planificación de tratamientos como alargamientos coronarios, injertos de encía y regeneración ósea guiada. (Dhull et al., 2024, pág. 1930). En odontopediatría, los escáneres intraorales proporcionan impresiones no invasivas y también permiten a los pacientes jóvenes interactuar con visualizaciones 3D.(Dhull et al., 2024, pág. 1930)

Dentro de las ventajas que tenemos del escaneo digital es que va causar menos molestias al paciente, eficiente en el tiempo, nos permite realizar procedimientos clínicos simplificados, mejor comunicación con el técnico dental y con los pacientes. (Mangano et al., 2017, pág. 3). Pero de la misma forma tenemos desventajas como dificultad para detectar líneas marginales profundas de dientes preparados, tener una curva de aprendizaje y costo. (Mangano et al., 2017, pág. 4)

Las impresiones dentales constituyen un procedimiento esencial en la odontología restauradora, ya que permiten trasladar al modelo extraoral la condición intraoral de la preparación, junto con los dientes vecinos, los tejidos blandos y el antagonista. (Ender & Mehl, 2013, pág. 5). Dicho modelo se emplea posteriormente para la confección de la restauración definitiva. El método de impresión considerado como referencia en la actualidad es la impresión convencional, realizada con materiales elastoméricos y cubetas prefabricadas. (Ender & Mehl, 2013, pág. 5). Esta reproducción en negativo de la boca del paciente se realiza el vaciado con yeso, obteniéndose así un modelo físico en dicho material. (Ender & Mehl, 2013, pág. 6).

El avance más reciente en odontología CAD/CAM es la impresión digital intraoral (DI), que genera un modelo 3D virtual mediante el escaneo directo de los dientes en boca. (Fasbinder D. J., 2010, pág. 1). Este proceso evita el uso de impresiones convencionales con yeso y, en caso necesario, permite fabricar un modelo físico mediante técnicas de prototipado rápido como la impresión 3D o el fresado (Fasbinder D. J., 2010, pág. 1).

Digitalizar es convertir imágenes/objetos en datos con un formato específico y que el mismo contenido puede guardarse en formatos distintos y el sistema debe reconocer cuál es y para poder leer a veces se necesitan programas específicos según el formato (Espona Roig et al., 2021, pág. 17). Los formatos que más se utilizan son: el STL que sirve como una especificación

de archivo que delinea las representaciones geométricas tridimensionales y omite cualquier dato auxiliar, como las propiedades cromáticas o la textura de la superficie del objeto.(Espona Roig et al., 2021, pág. 17)

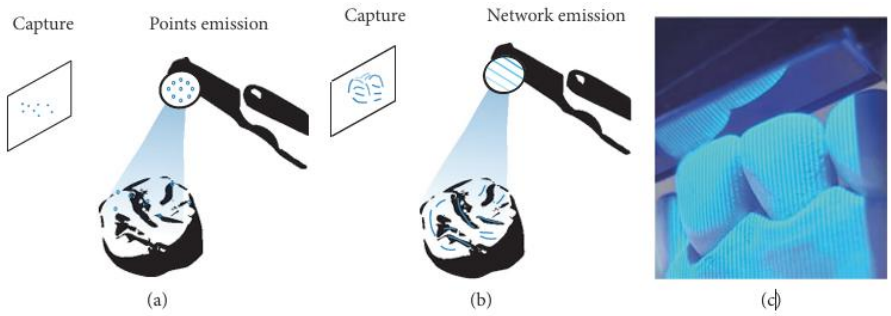
Y el otro formato es ply que es un formato para almacenar datos tridimensionales obtenidos de escáneres 3D, lo cual nos permite almacenar no solo la forma geométrica sino también otros aspectos como el color y la textura.(Espona Roig et al., 2021, pág. 17).

Un aspecto clave, además del uso clínico de los dispositivos de impresión digital intraoral (DI) y la simplicidad del flujo de trabajo digital, es la precisión que ofrece esta técnica. (Fasbinder D. J., 2010, pág. 2). Por lo cual de acuerdo con la norma ISO 5725-1, la exactitud está determinada por dos componentes: la precisión y la veracidad. La precisión se refiere al grado de concordancia entre mediciones repetidas, de modo que, cuanto mayor sea, más consistentes y reproducibles serán los resultados. Por su parte, la veracidad indica la cercanía entre la medición obtenida y el valor real del objeto evaluado.(Ender & Mehl, 2013, pág 6)

En la reconstrucción 3D se distinguen dos tipos de técnicas: pasivas y activas, por lo que las técnicas pasivas dependen únicamente de la luz ambiental para iluminar los tejidos intraorales y requieren que el objeto tenga cierta textura para poder capturar los detalles. (Logozzo et al., 2014, pág. 1). En cambio, las técnicas activas proyectan patrones de luz estructurada ya sea blanca, roja o azul desde la cámara sobre el objeto, lo que reduce la dependencia de la textura y del color natural de los tejidos para lograr la reconstrucción. (Logozzo et al., 2014, pág. 1). En las técnicas activas, se proyecta un haz de luz sobre el objeto y la distancia hasta él se determina mediante triangulación. Otra opción consiste en proyectar patrones luminosos, como líneas o mallas, que permiten obtener la forma del objeto con mayor detalle. (Geng, 2011, pág. 1)

Figura 1.

Naturaleza de la luz



Fuente: Reproducido por Richert et al., 2017, pág. 3.

La figura 1. representa (a) Proyección de puntos. (b) Proyección de una malla. (c) Proyección de una malla mediante un escáner intraoral.

La reconstrucción de superficies puede realizarse a partir de la compilación de imágenes, mediante un video que capture varias tomas por segundo en un flujo continuo de datos o, alternativamente, a través del análisis de ondas. (Ireland et al., 2008, pág. 1) (Taneva et al., 2015, pág. 1). Para la obtención de imágenes existen tres principios utilizados comúnmente en el desarrollo de IOS que son la triangulación, el muestreo confocal y el muestreo de frente de onda activo (Feng et al., 2021, pág. 1).

La triangulación se fundamenta en el principio de que la ubicación de un punto dentro de un triángulo (el objeto) puede determinarse conociendo las posiciones y ángulos de observación desde dos perspectivas. (Richert et al., 2017, pág. 2). Estas vistas pueden obtenerse mediante dos detectores distintos, con un solo detector equipado con un prisma, o registrándose en momentos diferentes.(Richert et al., 2017, pág. 2)

La imagen confocal es una técnica que se basa en captar imágenes enfocadas y desenfocadas a distintas profundidades por lo cual, a partir de estas, el sistema identifica las áreas nítidas de la imagen para calcular la distancia al objeto, la cual está relacionada con la

distancia focal de la lente, de este modo, un diente puede reconstruirse mediante una serie de imágenes tomadas con diferentes enfoques, aperturas y ángulos alrededor del objeto (Richert et al., 2017, pág. 3). Sin embargo, la calidad del resultado depende en gran medida de la habilidad del operador, ya que puede producirse desenfoque por movimiento. Además, esta técnica requiere equipos ópticos de gran tamaño, lo que puede dificultar su aplicación en la práctica clínica. (Richert et al., 2017, pág. 3).

El muestreo de frente de onda activo es una técnica de obtención de imágenes de superficie que utiliza una cámara junto con un módulo de apertura desplazado del eje principal (Richert et al., 2017, pág. 3). Este módulo se mueve siguiendo una trayectoria circular alrededor del eje óptico, lo que provoca la rotación del punto de interés por lo que, a partir del patrón generado en cada punto, se calcula la información de distancia y profundidad. (Richert et al., 2017, pág. 3)

La estereofotogrametría obtiene las coordenadas (x, y, z) únicamente a través de un análisis algorítmico de imágenes y que, al basarse en luz pasiva y software, en lugar de proyección activa y hardware, permite utilizar cámaras más pequeñas, de manejo sencillo y con un costo de producción más bajo. (Pradíes et al., 2014, pág. 2)

Uno de los principales retos en la generación de un modelo 3D numérico es lograr la coincidencia de los puntos de interés (POI) capturados desde distintos ángulos. (Park & Shah, 2015, pág. 2). Aunque la distancia entre imágenes puede calcularse mediante un acelerómetro integrado en la cámara, con mayor frecuencia se emplea un cálculo de similitud. Este procedimiento, a través de algoritmos, permite identificar los puntos de interés coincidentes en diferentes imágenes y así reconstruir el modelo.(Park & Shah, 2015, pág. 2)

Estos puntos de interés (POI) pueden identificarse en zonas de transición, como áreas con curvaturas marcadas, límites físicos definidos o variaciones en la intensidad de grises, un método conocido como Shape from Silhouette. (Aubreton et al., 2013), pág. 2. Todas las imágenes 3D se crean dentro de un espacio virtual definido por coordenadas y planos llamado sistema tridimensional en la cual cada punto se ubica mediante tres valores numéricos: x, y, z. (Cortes, 2022, pág. 57).

Las imágenes 2D solo requieren dos coordenadas (x e y), mientras que la tercera dimensión (z) es perpendicular a las otras dos y permite representar profundidad y es gracias a este sistema, cualquier objeto digital puede ser modificado de forma precisa en el entorno virtual antes de fabricarse o materializarse. (Cortes, 2022, pág. 57). Después, se construye una matriz de transformación que permite evaluar la similitud entre todas las imágenes, considerando factores como la rotación y para disminuir el ruido, los puntos extremos pueden eliminarse mediante un análisis estadístico Finalmente, de la matriz de proyección se extraen las coordenadas (x, y, z) y con ellas se genera un archivo digital.(Richert et al., 2017, pág. 3)

La precisión se evalúa comparando los resultados obtenidos en mediciones repetidas con un mismo método de impresión (LIT). (Chandran et al., 2010, pág. 2). En el caso de las impresiones intraorales convencionales con modelos de yeso, la veracidad suele analizarse principalmente a través de mediciones de distancias lineales (Chandran et al., 2010, pág. 2), (Hoyos & Soderholm, 2011, pág. 2)

Estudios previos han demostrado que la veracidad y/o precisión del IOS se ve afectada por numerosas variables, entre ellas la experiencia del operador (Revell et al., 2022, pág. 2), el sustrato escaneado (Bocklet et al., 2019, pág. 2), las actualizaciones del software (Vag et al.,

2021, pág. 2) y el patrón de escaneo utilizado (Mennito et al., 2018, págs. 1-6)(Latham et al., 2020).

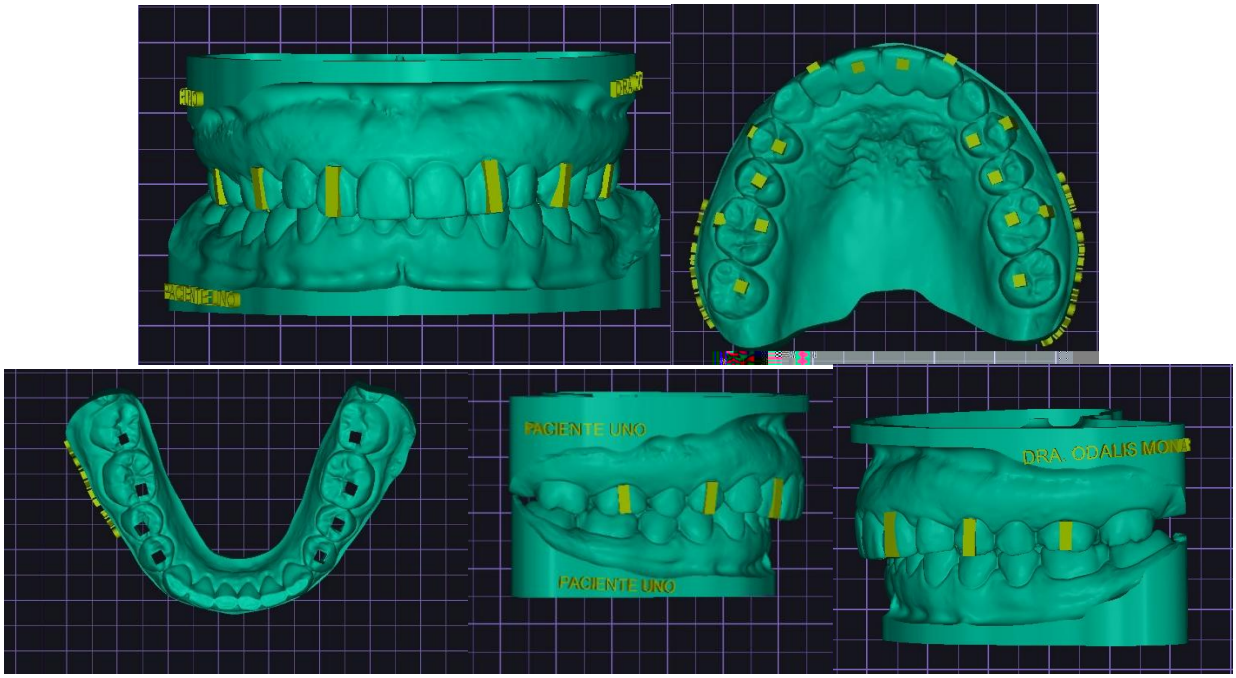
Capítulo 2. Investigación

La presente investigación es de tipo cuantitativo con un diseño experimental in vitro y comparativo.

La muestra del estudio estuvo conformada por dos archivos STL anónimos (M1 y M2), obtenidos del repositorio de escaneos intraorales de la Universidad de Los Hemisferios. A estos modelos se les realizaron modificaciones digitales, añadiendo puntos de referencia mediante el software Exocad DentalCAD 3.2 Elefsina, con el objetivo de facilitar las mediciones virtuales posteriores siguiendo los criterios establecidos por (Amornvit et al., 2021, pág. 8-10).

Figura 2.

Modelo M1 con sus respectivas modificaciones



Fuente: Elaboración propia

Los modelos de estudio fueron impresos en 3D utilizando una impresora SprintRay Pro S95 (SprintRay Inc., EE. UU.) con una resolución de 100 nm de capa. Se empleó la resina SprintRay Die and Model 2 Gray, especialmente formulada para aplicaciones odontológicas que

requieren alta fidelidad dimensional. Tras la impresión, todos los modelos fueron sometidos a un proceso de post-curado siguiendo las recomendaciones del fabricante. Posteriormente, se almacenaron durante cuatro días a 4ºC en una estufa (Memmert, Modelo INB 500, Alemania) de acuerdo con lo descrito por (Lee et al., 2024, pág. 10) evitando la exposición a la luz solar directa para preservar la estabilidad dimensional y optimizar las propiedades mecánicas del material antes del escaneo intraoral. A los cuatros días se inicio el proceso de escaneo de las arcadas

Figura 3.

Modelos impresos M2

Fuente: Elaboración propia

Los modelos impresos incluyeron ambas arcadas (superior e inferior), lo que resultó en cuatro modelos de estudio distintos a partir de los dos archivos STL modificados. Los escáneres intraorales (IOS) disponibles en la Universidad Hemisferios y evaluados en el presente estudio fueron: Dentsply Sirona (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany), CHA (Shining 3D Tech Co., Ltd., Hangzhou, China), Aoralscan 3 (Shining 3D Tech Co., Ltd., Hangzhou, China) y Medit i500 (Medit Corp., Seoul, South Korea). Cada IOS se empleó siguiendo el protocolo estándar del fabricante para garantizar la comparabilidad de los escaneos.

Los criterios de inclusión consistieron en ser parte del repositorio de escaneos intraorales del posgrado de Ortodoncia de la Universidad Hemisferios, modelos que tengan 28 órganos dentales erupcionados, las coronas de las piezas dentales sanas/completas. Se excluyeron cuyos modelos sean comprendidos de la edad de 10 a 17 años, apiñamiento dental, ausencias dentarias, anomalías dentales, dientes palatinizados, traumas dentales (fracturas), los escaneos incompletos de las arcadas (superior e inferior), registro de mordida incompleto o distorsión y el sobre-escaneo.

El presente estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Hemisferios. Para proteger la confidencialidad de los modelos, se utilizaron únicamente registros anonimizados extraídos del repositorio de escaneos dentales del posgrado de Ortodoncia, y se eliminaron todos los datos personales e identificadores antes del análisis.

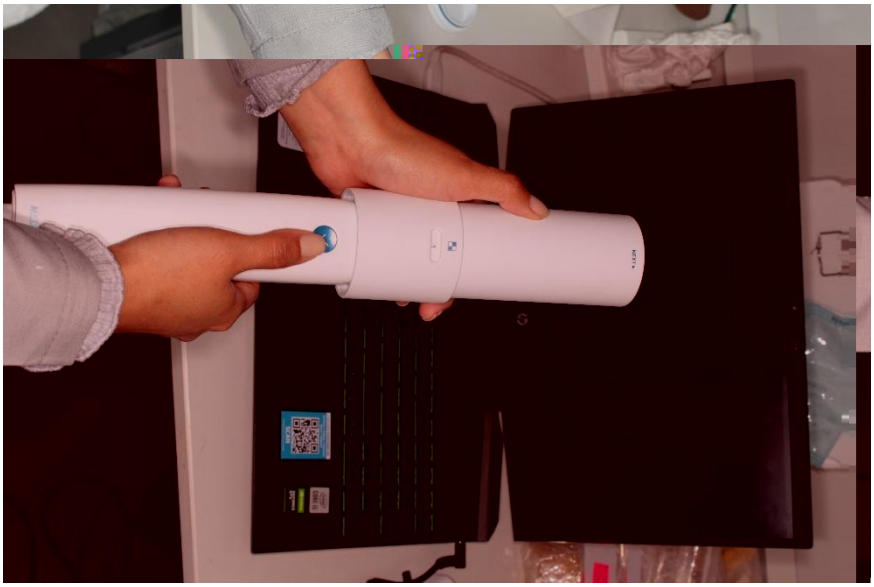
Los datos fueron recolectados por dos operadores experimentados en escaneo intraoral (OP1 y OP2). El protocolo de escaneo se inició siempre por el maxilar y continuó con la mandíbula, respetando un mismo orden de superficies: primero las superficies oclusales, luego las vestibulares, a continuación, las palatinas/linguales y, finalmente, con ambas arcadas en

oclusión. Se realizaron tres patrones de escaneo por cada modelo: (1) Escaneo lineal: trayectoria horizontal con el cabezal del escáner sin angulación ni rotación, manteniéndolo paralelo a la superficie dental; (2) Escaneo horario: cabezal inclinado 45° con un movimiento oscilatorio vertical (giro controlado de abajo- arriba) mientras se avanza siguiendo la trayectoria, describiendo un desplazamiento en sentido horario; (3) Escaneo antihorario: idéntica angulación de 45° y movimiento oscilatorio vertical, pero efectuado en sentido antihorario. Cada patrón se ejecutó siguiendo el mismo trayecto planificado para garantizar la comparabilidad entre réplicas y operadores.

Es importante señalar que para realizarse este estudio los escáneres estuvieron debidamente calibrados de acuerdo con las recomendaciones de los fabricantes. Cada operador le correspondería un modelo impreso diferente, y deberán escanear 3 veces con el protocolo lineal, horario y antihorario con los 4 escáneres disponibles. Se dividió los grupos de escaneos (Escaneo lineal, horario y antihorario), posteriormente se midieron un total de 144 modelos virtuales.

Figura 4.

Calibración del escáner

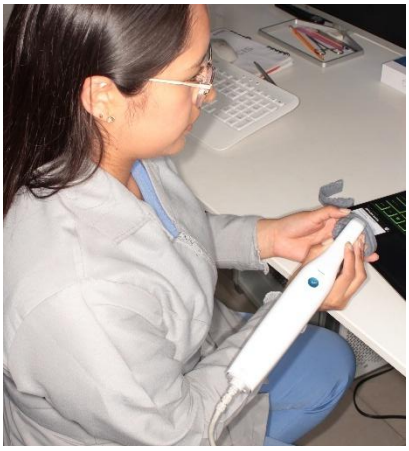


Fuente: Elaboración propia

Las mediciones de los modelos escaneados se realizaron en los ejes X, Y, Z, y en las diagonales AD y AI, tomando como referencia el esquema descrito por (Amornvit et al., 2021, pág. 8-10) que XY estaría representado por la línea media dental, lo cual se designa como diagonal. Todas las distancias fueron cuantificadas inicialmente con Meshmixer (Autodesk, California, EE. UU.) para maximizar la precisión de las mediciones.

Figura 5.

Medición del modelo realizado por un operador



Fuente: Elaboración propia

Además, a los 3 días después de las mediciones iniciales se volvieron a medir para asegurar la confiabilidad de las mediciones con el software Nemo Studio Version 2024.

Los datos se analizaron utilizando el entorno de Datalore con lenguaje Python y las librerías pandas, numpy, seaborn, las siguientes pruebas estadísticas, Test de normalidad: Kolmogorov-Smirnov, Comparación entre grupos: Kruskal-Wallis, Comparaciones post-hoc: Mann-Whitney prueba de Exactitud (Trueness): Diferencia absoluta con el grupo control y Precisión: Desviación estándar de mediciones repetidas con El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$.

Resultados

Análisis de normalidad

El test de Kolmogorov-Smirnov mostró que la mayoría de las mediciones no siguieron una distribución normal ($p < 0.05$), con excepción del punto X6 ($p = 0.239$). Este resultado justificó el uso de pruebas estadísticas no paramétricas para el análisis comparativo.

Tabla 1.

Resultados de las mediciones en el eje X realizadas desde varios escáneres intraorales

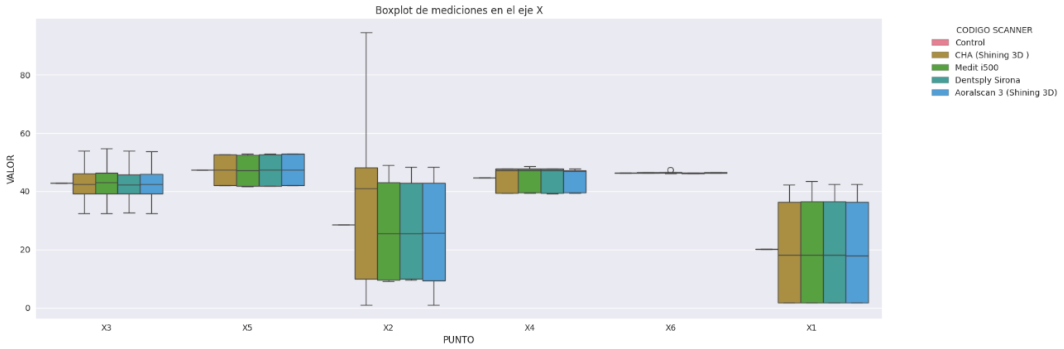
Medición	Control (mm ± DE)	Aoralscan 3 (Shining 3D) (mm ± DE)	CHA (Shining 3D) (mm ± DE)	Dentsply Sirona (mm ± DE)	Medit i500 (mm ± DE)
X1	20.15 ± 0.00	20.08 ± 18.70	20.07 ± 18.69	20.17 ± 18.77	20.26 ± 18.91
X2	28.63 ± 0.00	26.44 ± 18.77	33.57 ± 25.93	27.23 ± 17.81	27.26 ± 18.09
X3	42.83 ± 0.00	42.76 ± 7.59	42.77 ± 7.64	42.73 ± 7.61	43.05 ± 7.74
X4	44.71 ± 0.00	44.56 ± 3.69	44.65 ± 3.79	44.71 ± 3.90	44.93 ± 3.92
X5	47.34 ± 0.00	47.47 ± 5.53	47.41 ± 5.48	47.26 ± 5.63	47.22 ± 5.52
X6	46.38 ± 0.00	46.40 ± 0.13	46.41 ± 0.03	46.24 ± 0.06	46.48 ± 0.36

Fuente: Elaboración propia

La tabla 1 presenta los valores promedios y la desviación estándar (DE) de las mediciones realizadas en seis puntos de referencia (X1 a X6). El escáner CHA (Shining 3D) evidenció una mayor variabilidad en el punto X2 (DE=25.93), lo que sugiere una menor precisión en esa medición específica. En general, los demás escáneres mostraron valores cercanos al control, con pequeñas variaciones dentro del rango de tolerancia dimensional.

Figura 6.

Mediciones en el eje X de los diferentes escáneres intraorales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.

Resultados de las mediciones en el eje Y realizadas desde varios escáneres

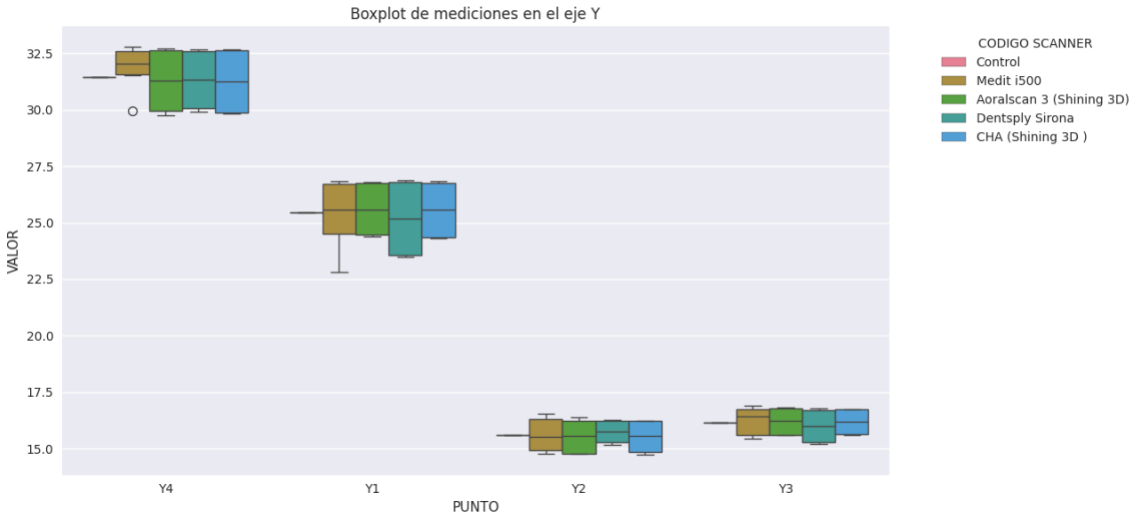
Eje	Control	Aoralscan 3 (Shining 3D)	CHA (Shining 3D)	Dentsply Sirona	Medit i500
Y1	25.46 ± 0.00	25.60 ± 1.17	25.57 ± 1.25	25.18 ± 1.67	25.47 ± 1.36
Y2	15.61 ± 0.00	15.55 ± 0.75	15.53 ± 0.72	15.75 ± 0.50	15.60 ± 0.71
Y3	16.14 ± 0.00	16.20 ± 0.60	16.18 ± 0.57	15.99 ± 0.76	16.19 ± 0.59
Y4	31.46 ± 0.00	31.29 ± 1.41	31.25 ± 1.42	31.32 ± 1.34	31.99 ± 0.72

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 muestra los resultados de las mediciones en cuatro puntos (Y1 a Y4). En todos los casos, las diferencias con respecto al modelo control fueron mínimas. La desviación estándar fue baja (<1,5 mm), lo que indica alta repetibilidad y precisión en todos los escáneres evaluados.

Figura 7.

Mediciones en el eje Y de los diferentes escáneres intraorales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.

Resultados de las mediciones en el eje Z medidas desde varios escáneres

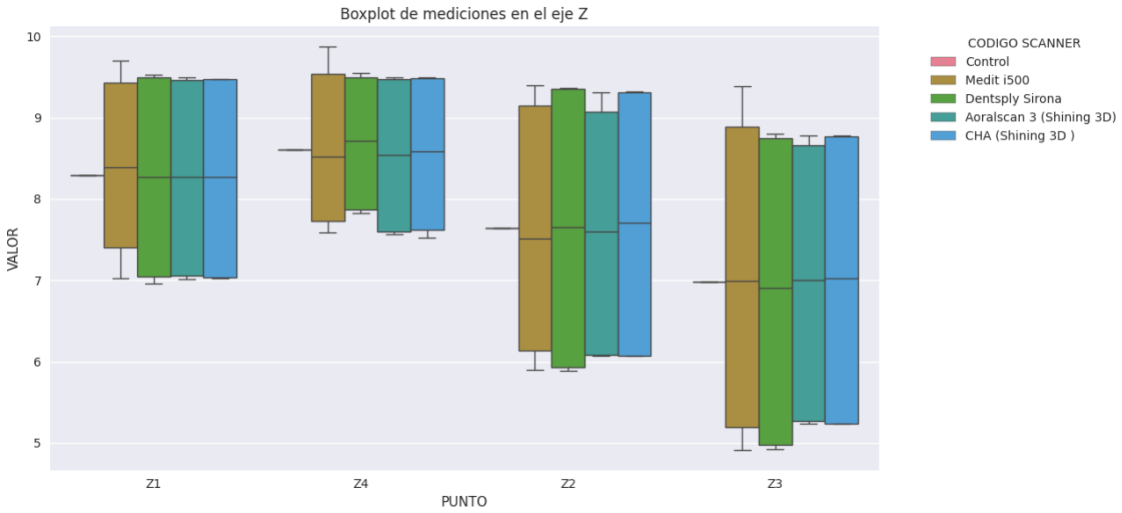
Eje	Control	Aoralscan 3 (Shining 3D)	CHA (Shining 3D)	Dentsply Sirona	Medit i500
Z1	8.29 ± 0.00	8.26 ± 1.20	8.26 ± 1.22	8.26 ± 1.26	8.39 ± 1.06
Z2	7.64 ± 0.00	7.63 ± 1.57	7.70 ± 1.66	7.64 ± 1.75	7.61 ± 1.53
Z3	6.98 ± 0.00	6.98 ± 1.74	7.01 ± 1.80	6.87 ± 1.95	7.05 ± 1.94
Z4	8.61 ± 0.00	8.54 ± 0.97	8.55 ± 0.97	8.69 ± 0.83	8.65 ± 0.97

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 presenta las mediciones en el eje Z (Z1 a Z4). Los valores obtenidos fueron muy similares entre escáneres y con respecto al control. Las desviaciones estándar son moderadas, pero consistentes entre dispositivos.

Figura 8.

Mediciones en el eje Z de los diferentes escáneres intraorales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.

Mediciones diagonales (AD y AI) realizadas con los distintos escáneres

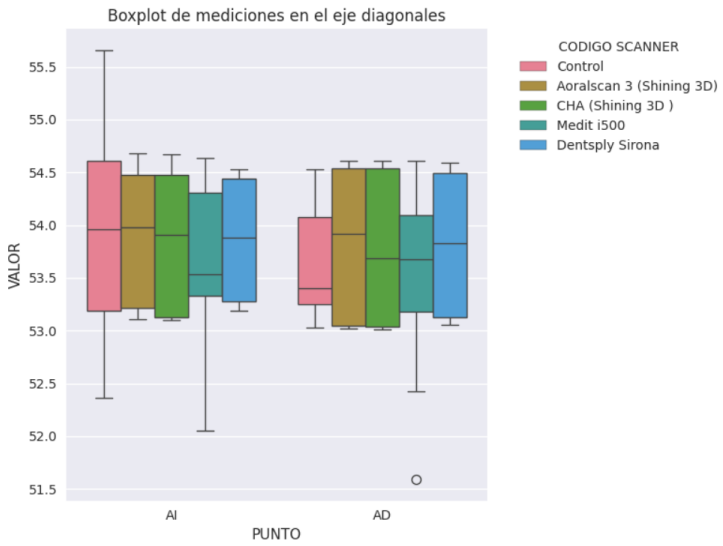
Eje	Control	Aoralscan 3 (Shining 3D)	CHA (Shining 3D)	Dentsply Sirona	Medit i500
AD	53.64 ±0.61	53.82 ± 0.75	53.78 ± 0.77	53.82 ± 0.72	53.59 ± 0.77
AI	53.95 ± 1.20	53.89 ± 0.68	53.85 ± 0.69	53.87 ± 0.62	53.65 ± 0.73

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 resume los valores de las diagonales AD (ángulo derecho) y AI (ángulo izquierdo). Todos los escáneres mostraron valores muy próximos al control, con desviaciones estándar bajas (<0,8 mm). Esto indica alta precisión en las mediciones diagonales, tanto para Aoralscan 3 como para Dentsply Sirona y Medit i500.

Figura 9.

Mediciones en el eje XY de los diferentes escáneres intraorales



Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.

Resultados de la prueba de normalidad de datos mediante Kolmogorov-Smirnov de varias mediciones

Punto	Estadístico KS	Valor *p*
X1	0.3372	0.0000
X2	0.2961	0.0000
X3	0.1903	0.0000
X4	0.3094	0.0000
X5	0.3308	0.0000
X6	0.1671	0.2390
Y1	0.2992	0.0000
Y2	0.2670	0.0001
Y3	0.2851	0.0000
Y4	0.2690	0.0000

Z1	0.2856	0.0000
Z2	0.3011	0.0000
Z3	0.3105	0.0000
Z4	0.2962	0.0000
AD	0.2268	0.0010
AI	0.2250	0.0011

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 muestra los resultados del test de normalidad para cada punto medido. Esto justifica el uso de pruebas estadísticas no paramétricas en el análisis. Casi todos los puntos tienen un valor $p < 0.05$, lo que indica que no siguen una distribución normal. Solo el punto X6 tiene $p = 0.239$, es decir, sigue una distribución normal

El análisis de exactitud mostró diferencias significativas entre los escáneres evaluados:

Tabla 6.

Exactitud y precisión promedio por escáner

	Scanner	**Error_Promedio_%**	**Precision_Promedio_mm**
1	Dentsply Sirona	0.75	3.694
2	Aoralscan 3 (Shining 3D)	0.78	3.700
3	Medit i500	0.90	3.683
4	CHA (Shining 3D)	1.34	4.110

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 6 presenta los resultados del análisis comparativo de exactitud y precisión. El escáner Dentsply Sirona obtuvo la mejor exactitud (0,75 % de error) y una buena precisión (3,694 mm). Le siguieron Aoralscan 3 (0,78 % de error) y Medit i500 (0,90 %). El escáner CHA (Shining 3D) mostró el mayor error promedio (1,34 %) y la menor precisión (4,110 mm), lo que indica un rendimiento inferior en la reproducción dimensional.

Tabla 7.

Resultados del Test de normalidad por patrón

PATRÓN	Estadístico KS	Valor p	Normalidad
ANTIHORARIO	0.1893	0.0000	NO
HORARIO	0.1923	0.0000	NO
LINEAL	0.1853	0.0000	NO

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 7 muestra los resultados del test de normalidad para los tres patrones de escaneo (lineal, horario y antihorario). Ninguno presentó una distribución normal ($p < 0,05$). El test de Kruskal-Wallis ($H = 0,2024$; $p = 0,9038$) indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los patrones evaluados. Esto sugiere que el tipo de trayectoria de escaneo no afecta significativamente la exactitud de las mediciones.

Tabla 8.

Resultados: exactitud y precisión por patrón de escaneo

PATRÓN	Error Promedio (%)	Precisión Promedio (mm)	Error Máximo (%)
ANTIHORARIO	22.55	5.456	112.80
HORARIO	22.13	5.328	113.28
LINEAL	23.15	5.885	230.04

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 8, se observa que los valores de error promedio son similares entre patrones (22,13 %–23,15 %). El patrón lineal mostró el mayor error máximo (230,04 %), reflejando una mayor dispersión en las mediciones extremas, mientras que los patrones horario y antihorario exhibieron mayor estabilidad.

Capítulo 3. Discusión De Los datos

Los resultados mostraron que no existieron diferencias estadísticamente significativas en la precisión entre los tres patrones evaluados. Los errores promedio fueron similares en todos los casos, aunque el patrón lineal presentó una mayor dispersión, lo que podría reflejar menor consistencia en su desempeño.

Estos hallazgos concuerdan con el estudio base (Amornvit et al., 2021, pág. 8-10) quienes añadieron puntos de referencia a un archivo STL generado en Meshmixer y posteriormente imprimieron un modelo maestro para analizar la exactitud de diez escáneres intraorales (IOS). Las distancias fueron medidas cinco veces en Rhinoceros y se compararon con mediciones físicas mediante un calibrador Vernier. Los autores concluyeron que no hubo diferencias estadísticamente significativas en precisión entre escáneres, resultado coincidente con el presente trabajo, en el que todas las mediciones se realizaron de forma digital (en Meshmixer y Nemo Studio 2024), sin variaciones significativas entre dispositivos.

De forma similar (Sawangsri et al., 2025, pág. 5-6) emplearon un solo escáner TRIOS 4 (3Shape) para realizar 240 escaneos intraorales con dos patrones diferentes y tampoco encontraron diferencias significativas en precisión. Estos resultados respaldan lo observado en nuestro estudio, en el que invertir el sentido del escaneo (horario vs. antihorario) no afectó la precisión de las mediciones digitales.

Por su parte (Thomas & Jain, 2023, pág. 13) evaluaron la influencia de la experiencia del operador en la precisión de escaneos intraorales realizados con TRIOS 3 (3Shape) y Medit i500 (Medit) en 20 pacientes. Concluyeron que la precisión no mostró diferencias significativas entre operadores con distintos niveles de experiencia. De manera análoga, en nuestro estudio no se evidenciaron diferencias atribuibles al factor operador, lo cual confirma la estabilidad del protocolo empleado.

En contraste (Li et al., 2022, pág. 738) evaluaron seis patrones de escaneo sobre un modelo con implantes utilizando los escáneres TRIOS 3 (3Shape) y CS 3600 (Carestream), concluyendo que el patrón de escaneo sí influye significativamente en la exactitud y la velocidad de las impresiones. Dicho resultado difiere del presente estudio, en el que la comparación entre tres patrones (lineal, horario y antihorario) no mostró diferencias estadísticamente significativas.

Asimismo, (Kuroda et al., 2023, pág. 11-12) analizaron el efecto de distintos patrones de escaneo sobre la veracidad y precisión utilizando un modelo mandibular in vitro y un escáner TRIOS 3 (3Shape). Los autores concluyeron que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los patrones evaluados, lo cual coincide con los hallazgos de nuestro trabajo, en donde las tres trayectorias presentaron comportamientos equivalentes.

Por otro lado, (Gómez-Polo et al., 2024, pág. 7-8) evaluaron cuatro patrones de escaneo (OBL, Zig-zag, Circumferential y O-Lock) sobre un modelo con siete implantes utilizando TRIOS 4 (3Shape). En su investigación sí encontraron diferencias estadísticamente significativas, destacando los patrones Zig-zag y O-Lock por su mayor exactitud. Estos resultados no coinciden con los del presente estudio, en el cual invertir el sentido del trayecto (lineal, horario o antihorario) no generó cambios relevantes en precisión.

Finalmente, (Yahya et al., 2024, pág. 1304-1305) realizaron 120 escaneos con cuatro patrones distintos utilizando un escáner Trios 2 (3Shape) sobre un modelo in vitro de arco completo, y concluyeron que sí existían diferencias estadísticamente significativas en precisión entre los patrones. En contraste, nuestros resultados no mostraron diferencias, lo que sugiere que las variaciones pueden depender del tipo de escáner y del diseño experimental.

Entre las principales fortalezas del presente trabajo destacan su diseño experimental in vitro controlado, que permitió mantener condiciones estables en todas las fases: misma

impresora 3D, resina, parámetros de poscurado, temperatura y condiciones de iluminación. Además, se evaluaron cuatro escáneres intraorales diferentes (Dentsply Sirona, CHA –Shining 3D–, Aoralscan 3 –Shining 3D– y Medit i500), lo que aumenta la validez comparativa del análisis.

Las mediciones fueron objetivas y reproducibles, abarcando los ejes X, Y, Z y diagonales (AD/AI), con doble verificación digital en Meshmixer y Nemo Studio 2024, y repeticiones a los tres días para garantizar la confiabilidad intraobservador. Este enfoque robusto permite afirmar que los resultados obtenidos son representativos y replicables dentro de las limitaciones experimentales.

No obstante, se deben reconocer algunas limitaciones. En primer lugar, no se incluyó un escáner TRIOS (3Shape), cuya precisión ha sido destacada en diversos estudios comparativos, lo que restringe parcialmente la extrapolación de los resultados. En segundo lugar, el número de tres repeticiones por combinación patrón–escáner–modelo puede no ser suficiente para detectar diferencias pequeñas, incrementando el riesgo de error tipo II. Finalmente, no se contó con un escáner de laboratorio de alta precisión como referencia “gold standard”, lo cual podría haber permitido una validación más exacta de la trueness obtenida.

Conclusiones

El patrón de escaneo (lineal, horario o antihorario) no influye significativamente en la precisión de los modelos digitales. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en los errores medios entre los tres patrones evaluados; sin embargo, el patrón lineal mostró una mayor dispersión, reflejando menor consistencia en la toma de datos.

Invertir el sentido del escaneo no modifica la exactitud ni la precisión. La clave práctica radica en mantener un protocolo clínico estandarizado, incluyendo el orden de escaneo de las superficies, el ángulo y la velocidad de desplazamiento constantes, así como una calibración previa adecuada, para maximizar la reproducibilidad de los resultados.

Los escáneres Dentsply Sirona, Aoralscan 3 y Medit i500 demostraron un rendimiento superior y comparable entre sí, mientras que el escáner CHA presentó un desempeño significativamente menor. Estos resultados sugieren que Dentsply Sirona y Aoralscan 3 podrían ofrecer mayor fiabilidad clínica en ortodoncia digital.

Para futuras investigaciones, se recomienda ampliar el número de réplicas, incluir un gold standard metrológico de referencia y evaluar nuevos dispositivos, como el TRIOS (3Shape), así como realizar pruebas in vivo para validar los hallazgos bajo condiciones clínicas reales. En conjunto, los resultados de este estudio aportan evidencia científica útil para la estandarización de protocolos de escaneo intraoral en ortodoncia digital, contribuyendo a mejorar la precisión, eficiencia y confiabilidad de los procedimientos clínicos.

Referencias

Afrashtehfar, K. I., Alnakeb, N. A., & Assery, M. K. M. (2022). Accuracy of Intraoral Scanners Versus Traditional Impressions: A Rapid Umbrella Review. Journal of Evidence-Based Dental Practice, 22(3), 1. https://doi.org/10.1016/J.JEBDP.2022.101719

Amornvit, P., Rokaya, D., & Sanohkan, S. (2021). Comparison of Accuracy of Current Ten Intraoral Scanners. BioMed Research International, 2021(1), 2673040. https://doi.org/10.1155/2021/2673040

Aubreton, O., Bajard, A., Verney, B., & Truchetet, F. (2013). Infrared system for 3D scanning of metallic surfaces. Machine Vision and Applications, 24(7), 1513–1524. https://doi.org/10.1007/S00138-013-0487-Z/METRICS

Bae, E. J., & Woo, E. J. (2022). Quantitative and qualitative evaluation on the accuracy of three intraoral scanners for human identification in forensic odontology. Anatomy & Cell Biology, 55(1), 72–78. https://doi.org/10.5115/ACB.21.136

Bocklet, C., Renne, W., Mennito, A., Bacro, T., Latham, J., Evans, Z., Ludlow, M., Kelly, A., & Nash, J. (2019). Effect of scan substrates on accuracy of 7 intraoral digital impression systems using human maxilla model. Orthodontics & Craniofacial Research, 22 Suppl 1(S1), 168–174. https://doi.org/10.1111/OCR.12273

Chandran, D. T., Jagger, D. C., Jagger, R. G., & Barbour, M. E. (2010). Two- and three-dimensional accuracy of dental impression materials: effects of storage time and moisture contamination. Bio-Medical Materials and Engineering, 20(5), 243–249. https://doi.org/10.3233/BME-2010-0638

Cortes, A. R. G. (2022). Digital Dentistry: A step-by-step guide and case atlas. In Digital Dentistry: A Step-by-Step Guide and Case Atlas (First edition, Vol. 1). John Wiley and Sons Ltd. https://doi.org/10.1002/9781119852025

Dhull, K. S., Nagar, R., Mathur, P., Shil, M., Jain, S., Dureha, R., & Kapoor, A. (2024). Intraoral Scanners: Mechanism, Applications, Advantages, and Limitations. Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences, 16(Suppl 3), S1929–S1931. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_1299_23

Eggmann, F., & Blatz, M. B. (2024). Recent Advances in Intraoral Scanners. Journal of Dental Research, 103(13), 1349. https://doi.org/10.1177/00220345241271937

Ender, A., & Mehl, A. (2013). Accuracy of complete-Arch dental impressions: A new method of measuring trueness and precision. Journal of Prosthetic Dentistry, 109(2), 121–128. https://doi.org/10.1016/S0022-3913(13)60028-1

Espona Roig, José., Queiroz Caponi, Lucas., Gagliani, Massimo., & Roig, Miguel. (2021). Introducción a la odontología digital. Grupo Asis.

Farook, T. H., Ahmed, S., Giri, J., Rashid, F., Hughes, T., & Dudley, J. (2023). Influence of Intraoral Scanners, Operators, and Data Processing on Dimensional Accuracy of Dental Casts for Unsupervised Clinical Machine Learning: An In Vitro Comparative Study. International Journal of Dentistry, 2023(1), 7542813. https://doi.org/10.1155/2023/7542813

Fasbinder D. J. (2010). Digital dentistry: innovation for restorative treatment. Compendium of Continuing Education in Dentistry, 4(31), 2–12. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21049823/

Feng, C. W., Hung, C. C., Wang, J. C., & Lan, T. H. (2021). Accuracy of different head movements of intraoral scanner in full arch of both maxilla and mandible. Applied Sciences (Switzerland), 11(17), 8140. https://doi.org/10.3390/APP11178140/S1

Gómez-Polo, M., Cascos, R., Ortega, R., Barmak, A. B., Kois, J. C., Pérez-Barquero, J. A., & Revilla-León, M. (2024). Influence of scanning pattern on accuracy, time, and number of photograms of complete-arch implant scans: A clinical study. Journal of Dentistry, 150. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.105310

Hoyos, A., & Soderholm, K. J. (2011). Influence of tray rigidity and impression technique on accuracy of polyvinyl siloxane impressions. The International Journal of Prosthodontics, 1(24), 49–54. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21210004/

Ireland, A. J., McNamara, C., Clover, M. J., House, K., Wenger, N., Barbour, M. E., Alemzadeh, K., Zhang, L., & Sandy, J. R. (2008). 3D surface imaging in dentistry - what we are looking at. British Dental Journal, 205(7), 387–392. https://doi.org/10.1038/SJ.BDJ.2008.845

Kihara, H., Hatakeyama, W., Komine, F., Takafuji, K., Takahashi, T., Yokota, J., Oriso, K., & Kondo, H. (2020). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. Journal of Prosthodontic Research, 64(2), 109–113. https://doi.org/10.1016/J.JPOR.2019.07.010

Kravitz, N. D., Groth, C., Jones, P. E., Graham, J. W., & Redmond, W. R. (2014). Intraoral digital scanners. Journal of Clinical Orthodontics, 6(48), 337–347. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25083754/

Kuroda, S., Yotsuya, M., Sato, T., Hisanaga, R., Nomoto, S., & Sekine, H. (2023). The effect of scanning pathways on trueness and precision in full-arch optical impression. BMC Oral Health, 23(1), 1–13. https://doi.org/10.1186/S12903-023-03101-Z/TABLES/5

Latham, J., Ludlow, M., Mennito, A., Kelly, A., Evans, Z., & Renne, W. (2020). Effect of scan pattern on complete-arch scans with 4 digital scanners. Journal of Prosthetic Dentistry, 123(1), 85–95. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.02.008

Lee, Y., Wang, S., Yan, P., Zhao, Y., & Liu, Y. (2024). Effect of storage temperature on the dimensional stability of DLP printed casts. Journal of Prosthetic Dentistry, 131(2), 331.e1-331.e7. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.10.027

Li, Z., Huang, R., Wu, X., Chen, Z., Huang, B., & Chen, Z. (2022). Effect of Scan Pattern on the Accuracy of Complete-Arch Digital Implant Impressions with Two Intraoral Scanners. The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants, 37(4), 731–739. https://doi.org/10.11607/JOMI.9248

Logozzo, S., Zanetti, E. M., Franceschini, G., Kilpelä, A., & Mäkynen, A. (2014). Recent advances in dental optics – Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. Optics and Lasers in Engineering, 54, 203–221. https://doi.org/10.1016/J.OPTLASENG.2013.07.017

Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017a). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. BMC Oral Health, 17(1). https://doi.org/10.1186/S12903-017-0442-X

Mangano, F., Gandolfi, A., Luongo, G., & Logozzo, S. (2017b). Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. BMC Oral Health, 17(1), 149. https://doi.org/10.1186/S12903-017-0442-X

Mennito, A. S., Evans, Z. P., Lauer, A. W., Patel, R. B., Ludlow, M. E., & Renne, W. G. (2018). Evaluation of the effect scan pattern has on the trueness and precision of six intraoral digital impression systems. Journal of Esthetic and Restorative Dentistry : Official Publication of

the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et Al.], 30(2), 113–118. https://doi.org/10.1111/JERD.12371

Park, H. S., & Shah, C. (2015). Development of high speed and high accuracy 3D dental intra oral scanner. Procedia Engineering, 100(January), 1174–1181. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.01.481

Pradíes, G., Ferreiroa, A., Özcan, M., Giménez, B., & Martínez-Rus, F. (2014). Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impressions of implants. Journal of the American Dental Association, 145(4), 338–344. https://doi.org/10.14219/jada.2013.45

Revell, G., Simon, B., Mennito, A., Evans, Z. P., Renne, W., Ludlow, M., & Vág, J. (2022). Evaluation of complete-arch implant scanning with 5 different intraoral scanners in terms of trueness and operator experience. Journal of Prosthetic Dentistry, 128(4), 632–638. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.01.013

Richert, R., Goujat, A., Venet, L., Viguie, G., Viennot, S., Robinson, P., Farges, J. C., Fages, M., & Ducret, M. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. Journal of Healthcare Engineering, 2017. https://doi.org/10.1155/2017/8427595

Santo, E., Pinho, T., Teixeira, A., & Perez-Mongiovi, D. (2021). Use of intraoral three-dimensional images for the identification of dental morphological traits related to ancestry estimation. Journal of Forensic Science and Medicine, 7(2), 70–73. https://doi.org/10.4103/JFSM.JFSM_21_21

Sawangsri, K., Leelaluk, S., Ellakany, P., Wade, A. B., Eid, H. W., Zaitseva, D., Nassani, L. M., & Hammoudeh, H. S. (2025). Impact of operator experience, scanning pattern, and arch location on the time and trueness of complete denture digitization using an intraoral

scanner. The Journal of Prosthetic Dentistry, 134(2), 462–468. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40221369/

Taneva, E., Kusnoto, B., Evans, C. A., Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). 3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics. Issues in Contemporary Orthodontics. https://doi.org/10.5772/60010

Thomas, A. A., & Jain, R. K. (2023). Influence of Operator Experience on Scanning Time and Accuracy with Two Different Intraoral Scanners - A Prospective Clinical Trial. Turkish Journal of Orthodontics, 36(1), 10–14. https://doi.org/10.4274/TURKJORTHOD.2022.2021.0220

Vag, J., Renne, W., Revell, G., Ludlow, M., Mennito, A., Teich, S., & Gutmacher, Z. (2021). The effect of software updates on the trueness and precision of intraoral scanners. Quintessence International (Berlin, Germany : 1985), 52(7), 636–644. https://doi.org/10.3290/J.QI.B1098315

Yahya, M. A., Selléus, M., Mahmood, D. J. H., Braian, M., & Larsson, C. (2024). The effect of different scanning protocols on precision and trueness of intraoral scanning: A pilot trial. Journal of Clinical and Experimental Dentistry, 16(10), e1299–e1306. https://doi.org/10.4317/JCED.62158