

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Posgrados

Análisis comparativo de la veracidad y precisión de mallas digitales de dos escáneres intraorales y un escáner extraoral. Un estudio in vitro.

Andrea Rosario Guerrero Obando

Dr. Cristian Abad Coronel - Especialista en Rehabilitación Oral
Director de Trabajo de Titulación

Trabajo de titulación de posgrado presentado como requisito
para la obtención del título de Especialista en Rehabilitación Oral

Quito, diciembre 2021

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

COLEGIO DE POSGRADOS

HOJA DE APROBACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Análisis comparativo de la veracidad y precisión de mallas digitales de dos escáneres intraorales y un escáner extraoral. Un estudio in vitro.

Andrea Rosario Guerrero Obando

Firmas

Cristian Abad Coronel, Dr.

Especialista en Rehabilitación Oral.

Director del Trabajo de Titulación.

Nancy Mena Córdova, Dra.

Especialista en Rehabilitación Oral.

Directora del Programa de Posgrado de
Rehabilitación Oral.

Paulina Aliaga Sancho, Dra.

Decana de la Escuela de Odontología.

Hugo Burgos, PhD.

Decano del Colegio de Posgrados.

Quito, diciembre 2021

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following graduation project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

A Dios que es el pilar fundamental en mi vida. A mis padres, mi hijo y mi esposo, por su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, por darme salud y sabiduría para continuar con el proceso de aprendizaje en mi carrera como Odontóloga y especialista en Rehabilitación Oral. A mi familia por ser quienes con su amor y apoyo incondicional estuvieron siempre ahí. Un profundo agradecimiento a mis mentores la Dra. Nancy Mena Córdova y el Dr. Cristian Abad Coronel, que a lo largo de toda la carrera depositaron su confianza en mí y arduamente me brindaron su apoyo y conocimientos en este trabajo de titulación, así como también en la formación de mi carrera como especialista.

RESUMEN

Gracias a los avances y las nuevas tecnologías, hoy en día se cuenta con una amplia gama de equipos y sistemas los cuales obligan al clínico a la innovación a través de la tecnología digital en odontología. Actualmente, los procesos desde el diagnóstico y exploración intraoral, hasta la ejecución de complejos tratamientos odontológicos restauradores se logran cada vez con mayor exactitud gracias a los sistemas digitales. Estas secuencias que van desde la adquisición de imagen hasta la materialización (CAD/ CAM), requieren del estudio de su exactitud en cada uno de sus procesos. Mediante la adquisición de imagen intraoral se obtiene un archivo digital en formato STL, el cual puede ser exportado en diferentes resoluciones. Las mallas obtenidas de los archivos pueden ser analizadas de manera que se pueda determinar la exactitud del escáner intraoral, este a su vez va a ser descrito mediante dos formas de medición y es la precisión y la veracidad, lo cual ayudará a determinar si su resultado es cercano o igual a las dimensiones reales del objeto que se está escaneando. **Objetivo:** El propósito de este estudio fue evaluar la exactitud de mallas digitales obtenidas por diferentes escáneres intraorales (IOS) y un escáner extraoral, con sus respectivos sistemas operativos en impresiones de arco completo. **Materiales y Métodos:** Como modelo de referencia se utilizó un modelo físico de arcada completa maxilar. Del modelo de referencia se hicieron medidas lineales por segmentos y arco completo con un calibrador digital. Se usaron dos dispositivos intraorales y uno extraoral de escaneo (OC, Cerec Omnicam SW 4.6.1; PS, Primescan SW.5.1.3; IN, inEos X5, InLab 20.0 Dentsply-Sirona/Alemania). Las impresiones se repitieron 5 veces (n=5) para cada grupo. Los archivos obtenidos fueron exportados en alta resolución, en formato STL. Se dividieron en áreas de segmento posterior, segmento anterior y arco completo, para su análisis. Los valores de precisión y veracidad se evaluaron utilizando el método de superposición tridimensional (3D) con un software especializado (Geomagic Control X - 3D). Se tomaron medidas de referencia en las mallas digitales, marcando diferentes puntos anatómicos. **Resultados:** Para veracidad en arco completo, PS tuvo los mejores resultados (20.32 μm) seguido de OC (36.76 μm). El escáner extraoral, IN con (11.6 μm) tuvo mayor precisión en arco completo, seguido de PS (17.7 μm) y OC (21.1 μm). Al comparar el modelo físico con las mediciones lineales de las mallas en el software, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tres escáneres. **Conclusiones:** Las impresiones de arco completo con PS tuvieron mayor precisión y veracidad que OC. La precisión y veracidad de OC y PS fueron aceptables para realizar una impresión digital. El escáner extraoral IN mostró los mejores valores de precisión.

Palabras clave: Escáner intraoral, CAD / CAM, impresión digital, malla digital, exactitud, precisión, veracidad.

ABSTRACT

Thanks to advances and new technologies, today there is a wide range of equipment and systems which force the clinician to innovate through digital technology in dentistry. Currently, the processes from intraoral diagnosis and exploration to the execution of complex restorative dental treatments are being achieved with increasing accuracy thanks to digital systems. These sequences, ranging from image acquisition to materialization (CAD / CAM), require the study of their accuracy in each of their processes. By acquiring an intraoral image, a digital file is obtained in STL format, which can be exported in different resolutions. The meshes obtained from the files can be analyzed so that the accuracy of the intraoral scanner can be determined, this in turn will be described by two forms of measurement and it is the precision and veracity, which will help determine if your result is close to or equal to the actual dimensions of the object being scanned. The purpose of this study was to evaluate the accuracy of digital meshes obtained by different intraoral scanners (IOS) and an extraoral scanner, with their respective operating systems in full-arch impressions. **Materials and Methods:** A physical maxillary full-arch model was used as a reference model, where segmental and full-arch linear measurements were obtained with a digital caliper. Two intraoral and an extraoral scanner (OC, Cerec Omnicam SW 4.6.1; PS, Primescan SW.5.1.3; IN, inEos X5, InLab 20.0 Dentsply-Sirona/Germany) were used. The impressions were repeated 5 times (n=5) for each group. The files obtained were exported in high resolution, in STL format. They were divided into posterior segment, anterior segment, and full arch areas for analysis. Precision and trueness values were evaluated using the three-dimensional (3D) superimposition method with specialized software (Geomagic Control X - 3D). Reference measurements were taken on the digital meshes, marking different anatomical points. **Results:** For trueness in full arch, PS had the best results (20.32 μm) followed by OC (36.76 μm). The extraoral scanner, IN with (11.6 μm) had the highest precision in full arch, followed by PS (17.7 μm) and OC (21.1 μm). When comparing the physical model with the linear measurements of the meshes in the software, there were no statistically significant differences between the three scanners. **Conclusions:** Full-arch prints with PS had higher precision and trueness than OC. The accuracy and trueness of OC and PS were acceptable for making a digital impression. The extraoral IN scanner showed the highest precision.

Keywords: Intraoral scanner, CAD/CAM, digital impression, digital mesh, accuracy, precision, trueness.

TABLA DE CONTENIDO

<i>Resumen</i>	7
<i>Abstract</i>	8
<i>Introducción</i>	12
<i>Revisión de la literatura</i>	16
<i>Metodología y diseño de la investigación</i>	31
<i>Análisis de datos</i>	35
<i>Conclusiones</i>	46
<i>Referencias</i>	47
<i>ÍNDICE DE ANEXOS</i>	51

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Características de Omnicam y Primescan</i>	23
<i>Tabla 2 Escáneres digitales utilizados en el estudio</i>	34
<i>Tabla 3 Recuento del número de triángulos de las mallas obtenidas en el software NETFABB Ultimate 2020 con exportación en alta resolución (100% de triángulos).</i>	35
<i>Tabla 4 Análisis 3D de mallas digitales en Geomagic Control X. (SC/3D Systems Inc/2020/Rock Hill).</i>	36
<i>Tabla 5 Mediciones lineales del modelo de referencia físico</i>	37
<i>Tabla 6 Análisis estadístico descriptivo</i>	37
<i>Tabla 7 Intervalos de confianza</i>	37
<i>Tabla 8 Estudios recientes comparativos sobre los rangos de exactitud de los escáneres intraorales.</i>	45

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Comparación de archivos STL dependiendo de la densidad de la malla: a) densidad baja, b) densidad media, c) densidad alta (Richert, 2017).</i>	26
<i>Figura 2 Descripción gráfica de a) Precisión, b) Veracidad, c) Exactitud</i>	28
<i>Figura 3 Metodología del estudio</i>	31
<i>Figura 4 Las líneas de color indican las regiones de estudio tanto para arco completo – línea verde, segmento anterior – línea naranja y segmento posterior línea azul.</i>	32
<i>Figura 5 Puntos de referencia y alineación de mallas</i>	33
<i>Figura 6 Mapa colorimétrico de la desviación, análisis de precisión (a) Análisis de la precisión Omnicam; (b) Análisis de la precisión Primescan; (c) Análisis de la precisión Ineos X5.</i>	36

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías digitales están revolucionando rápidamente la odontología en procesos de exploración, diagnóstico, planificación y ejecución del tratamiento. Además, los flujos digitales están cambiando los protocolos de los tratamientos disponibles. Aunque el proceso de digitalización se limitó inicialmente a los procedimientos dentales CAD/CAM (Diseño Asistido por Computadora/ Fabricación Asistido por Computadora), hoy en día una gama mucho más amplia de procedimientos dentales han sido revolucionados por su digitalización continua, desde que en 1971, François Duret fue el pionero de las impresiones ópticas; seguido por Mormann y Brandestini, quienes fueron los primeros en diseñar y patentar el primer escáner intraoral dando así el inicio a la era de sistemas Chairside. Los sistemas CAD/CAM constan de tres componentes: (Beuer, 2008)

- Una herramienta de digitalización o escáner que transforma la geometría en información digital la cual es procesada en un computador.
- Un software el cual procesa la información, de acuerdo con la aplicación genera información del producto que va a ser fabricado.
- Tecnología de producción que transforma la información en el producto deseado mediante procesos de adición o sustracción.

La digitalización consiste en convertir cualquier volumen físico 2D o 3D en un lenguaje de información electrónico codificado en términos de solo dos dígitos posibles, 0 o 1, que son almacenados como un archivo digital. Los sistemas digitales y estas nuevas secuencias generan inquietudes sobre la exactitud de los dispositivos de adquisición intraoral, así como de diseño y fabricación asistido por computadora. El creciente interés en la tecnología

CAD/CAM ha hecho que nuevos sistemas y dispositivos estén hoy en día disponibles tanto para clínicos como para técnicos dentales. Los escáneres para la adquisición de imágenes representan la primera fase del flujo de trabajo digital. Los escáneres pueden ser dispositivos tanto intraorales como extraorales. Si bien es cierto una impresión digital puede presentar diferencias en los modelos obtenidos, la calidad de una impresión digital va a ser medida por su resolución, que se expresa como el grado de nitidez de la imagen que fue obtenida por un escáner intraoral (Van Noort, 2012). Los escáneres intraorales son dispositivos utilizados para realizar impresiones ópticas directas, para posteriormente hacer una conversión de triángulos que conectan diferentes puntos y que pueden exportarse como archivos STL (Lenguaje de teselación estándar) (Tamimi, 2019). El glosario de términos de prostodoncia define un escaneado digital en odontología, como la acción de capturar la imagen óptica directamente de la anatomía del paciente o indirectamente de un modelo definitivo (GPT, 2005). Su creciente popularidad radica en reemplazar las impresiones convencionales. Las impresiones digitales evidencian ventajas como la comodidad del paciente en la toma de impresión, lo que representa eficiencia en tiempo y simplificación de procedimientos clínicos; además de lograr una mejor comunicación tanto con el laboratorio, como con el equipo multidisciplinario y con el mismo paciente. El protocolo de adquisición de la imagen requiere una curva de aprendizaje, una inversión inicial alta, formación académica y el entendimiento de las limitaciones de cada sistema cuando se trata de acceder a estructuras anatómicas más complejas como áreas distales en dientes preparados o inclusive en los márgenes de preparaciones subgingivales.

El proceso de captura de una imagen mediante un escáner conlleva a la obtención tridimensional de una serie de puntos que representan el objeto medido en el espacio. El

formato digital de archivos STL es comúnmente utilizado en odontología, donde su fuente de obtención se basa en la incidencia de un haz de luz sobre la superficie de un objeto. Lo que se desea lograr con los sistemas digitales de adquisición, diseño y materialización es obtener un resultado exacto (Jeon, 2018). La nube de puntos capturada genera una malla digital y lo que posteriormente será un modelo 3D por la unión de los planos dispuestos en polígonos (Richert, 2017). Los planos poligonales generados conocidos también como triangulaciones, al formar una malla digital comparten sus ángulos y bordes, de lo que depende la compatibilidad de los archivos STL con varias aplicaciones y sistemas operativos (Alghazzawi, 2016).

Los escáneres intraorales son notablemente precisos y esa precisión se relaciona directamente con la arquitectura de la malla digital, sin embargo, cada escáner tiene fortalezas y debilidades únicas (Renne, 2017). Por lo tanto, para evaluar la calidad de las mallas digitales que se obtienen mediante un escaneado, es importante analizar la exactitud del escáner intraoral. De acuerdo con la norma ISO 5725-1, que establece parámetros de evaluación internacional, la exactitud se describe por dos métodos de medición que son: la precisión y la veracidad. La precisión se describe como la cercanía entre los resultados de la prueba obtenida, quiere decir que es repetible; por otro lado, la veracidad se define como la cercanía entre la medida aritmética de varios resultados de prueba con el valor de referencia aceptado. Cuando el escáner entrega un resultado cercano o igual a las dimensiones reales del objeto que se está escaneando, quiere decir que es exacto, por lo que la exactitud consiste en la suma de la precisión y la veracidad. La exactitud de las impresiones dentales mediante sus escáneres intraorales es fundamental al momento de la materialización de las restauraciones dentales (ISO5725, 2021).

El propósito del presente estudio fue evaluar la exactitud de las mallas digitales obtenidas por diferentes escáneres intraorales (IOS) y un escáner extraoral, con sus respectivos sistemas operativos en impresiones de arcada completa. La hipótesis nula de este estudio fue que no existirían diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes escáneres intraorales y el escáner extraoral para los escaneos de arco completo.

REVISIÓN DE LA LITERATURA

1 Tecnología Digital

1.1 Conceptos

El matemático y filósofo alemán, Gottfried Wilhelm Leibniz, propuso un sistema informático binario en el siglo XVII con connotaciones que se asemejan al concepto de "Yin y Yang" propagado por la cultura china. La palabra "digital" originaria de la raíz latina "digitus", que significa dedo, que se usa de manera rutinaria para el conteo discreto de similitudes con el hecho de que la tecnología digital solo acepta valores discretos. La tecnología digital se define como un código binario de combinaciones con solo 0 y 1 como posibles valores de codificación (Williams, 1986). Fue desarrollado a mediados del siglo XX por ingenieros estadounidenses que basaron sus cálculos en dos estados posibles: 0 o apagar y 1 o encender. Las combinaciones entre 0 y 1 se llaman bits. Comparablemente, otra innovación basada en dichos códigos numéricos fue el Código Estándar Americano para el Intercambio de Información (ASCII) que describía objetos con dígitos (Tocci, 2006). La tecnología digital se basa en valores discretos; sin embargo, la información representada puede ser discreta (números y letras) o continua (imágenes, sonido, olas, etc.).

Las señales digitales se asocian generalmente con los sistemas digitales electrónicos binarios utilizados en la electrónica y la informática modernas; sin embargo, no tiene que ser binario o electrónico. Un ejemplo interesante de la tecnología digital en la naturaleza es la codificación discreta del código genético del ADN, que se considera una forma natural de almacenamiento de datos digitales. En odontología, las tecnologías digitales se utilizan de dos maneras principales: por un lado, todos los dispositivos electrónicos que se emplean actualmente tienen componentes computarizados y, por otro lado, esta tecnología de

hardware produce archivos digitales que se pueden leer, editar, manipular y fusionado con otros tipos de archivos digitales a través de diferentes softwares (Tamimi, 2019).

1.2 Digitalización

1.2.1 Historia y generalidades

La tecnología CAD/CAM (diseño asistido por computadora/fabricación asistida por computadora) se desarrolló en la década de 1960 para aplicaciones industriales, y el Dr. François Duret la introdujo en la odontología en 1971. El Dr. Duret introdujo el concepto de producir una corona dental utilizando una impresión óptica del diente preparado por un digitalizador intraoral y una fresadora controlada digitalmente. En 1983, realizó la primera restauración CAD / CAM, y más tarde desarrolló el sistema Sopher. El Dr. Mörmann inventó el primer sistema CAD / CAM comercial, llamado CEREC (reconstrucción cerámica asistida por computadora), en colaboración con el Dr. Marco Brandestini, un ingeniero eléctrico, que tuvo la idea de usar un escáner dental óptico. En 1985, se realizó la primera incrustación dental en el sillón utilizando un escáner óptico y un sistema de fresadora. Adicionalmente, el Dr. Andersson desarrolló el sistema Procera en 1983 para la fabricación de coronas dentales, y fue la primera persona en usar la tecnología CAD/CAM para restauraciones dentales compuestas. Aunque las tecnologías CAD/CAM se introdujeron por primera vez en la odontología en la década de 1970 durante mucho tiempo, su uso fue muy limitado. En las últimas décadas, el uso de tecnologías CAD/CAM ha crecido a un paso acelerado (Tamimi, 2019).

En odontología, la tecnología CAD / CAM consta de tres etapas: (Abad, 2019)

- Adquisición de datos: las imágenes son registradas a través de diferentes sistemas de adquisición como escáneres, CBCTs.

- Sistema de procesamiento de datos CAD (diseño asistido por computadora) que crea y manipula los datos digitales de un objeto 3D.
- Sistema de fabricación de datos CAM (fabricación asistida por computadora) que fabrica la estructura diseñada en los materiales deseados.

2 Tecnología 3D

La topografía y la morfología dental de los modelos capturados con escáneres ópticos generalmente se guardan en forma de archivo de imagen 3D que son cruciales en el proceso de planificación, ejecución y documentación del tratamiento. Existen diferentes tipos de archivos de imagen en 3D. Este tipo de archivo fue creado por la empresa 3D Systems 9, y el acrónimo significa estereolitografía o Lenguaje de teselación estándar (STL). Este tipo de archivo almacena información sobre la geometría de un objeto 3D dado, pero no incluye información sobre textura y/o sombra. Otra limitación de este tipo de archivo es que no incluye ningún "metadato" conocido como la información personal sobre los pacientes (Tamimi, 2019).

2.1 Escáneres intraorales

Los escáneres intraorales son dispositivos que permiten hacer una captura óptica directamente de la boca del paciente. Se desarrollaron por primera vez desde los años de 1971 por Françoise Duret, y se introdujeron en 1980 por Mörmann y Brandestini (Tamimi, 2019). Existen notables ventajas de las impresiones digitales comparadas con las convencionales, las principales son el confort del paciente, el tiempo de trabajo, la comunicación con el paciente y el laboratorio, y sobretodo la eliminación de errores al momento del vaciado relacionado también con la contracción del material elastomérico (Yuzbasioglu E, 2014). Actualmente en

el mercado existe una amplia gama de escáneres intraorales disponibles, los cuales usan diferente tecnología al momento del escaneado. Independientemente de su tecnología, los escáneres intraorales permiten obtener modelos 3D.

El procesamiento de la nube de puntos en triángulos mediante una técnica conocida como stitching se da por una técnica de alineado de mejor ajuste la cual puede causar errores y comprometer la exactitud de la malla. Estos errores de stitching son corregidos por algoritmos matemáticos que controlan cada software. La exactitud se ve influenciada también por la experiencia del operador al momento de manejar el dispositivo. Dependiendo de la tecnología del escáner, este debe usarse con un protocolo específico de escaneo el cual es recomendado por la casa fabricante. Existen otros factores que pueden comprometer la exactitud del escaneo, dependiendo del tipo de escáner es necesario tener un control de los tejidos blandos y la saliva, de tal manera que exista una correcta separación de los labios, de las mejillas, el uso de hilos retractores para tener una buena visibilidad de la línea de terminación y de la preparación de la cavidad. La sangre y la saliva pueden alterar la exactitud del escaneo, es por ello que debe existir un buen manejo antes de la toma de impresión (Pradíes, 2015). Los escáneres intraorales usados en la práctica clínica. Se pueden clasificar en dos grupos: aquellos que requieren una capa de polvo en la superficie a ser escaneada con la finalidad de eliminar la reflexión de la luz de los dientes; y el segundo grupo son aquellos que no necesitan cobertura de polvo al momento de escanear.

2.1.1 Escáneres de cobertura, escáneres de polvo, o monocromáticos.

Estos fueron la primera generación de escáneres los cuales basaban su tecnología en triangulación activa o tecnología de onda activa, que requería recubrir las superficies de los dientes y tejidos blandos con polvo de óxido de titanio para que la luz no se refleje y evitar que

se saturaran los sensores de los escáneres lo cual podría comprometer la precisión de la imagen (Giménez, 2015). Los escáneres que basa su tecnología de muestreo de frente de onda activa capturan la imagen a través de un grupo de lentes. Los escáneres de triangulación activa van a proyectar una serie de rayas en el objeto a escanear. Los rayos de luz LED van a reflejarse en el sensor a una distancia del objeto reflejado la cual se mide por un teorema de pitágoras (Van der Meer, 2012). Los escáneres de polvo llegan a tener cierta exactitud; sin embargo, presentan algunas desventajas como el discomfort del paciente justamente por el polvo que se aplica en la boca y cierta inexactitud por las áreas en donde se colocó mucho polvo y no pudo ser escaneadas o donde la saliva la lengua eliminaron el polvo y no se escaneó correctamente (Kim J. K., 2015). Claramente este tipo de escáneres entraron en desuso al poseer mayores desventajas que ventajas.

2.1.2 Escáneres de no cobertura, escáneres libres de polvo, o escáneres cromáticos.

Existen varios tipos de tecnologías que presentan los escáneres de no cobertura de polvo el cual permite obtener imágenes 3D de los dientes y de los tejidos blandos. Los escáneres que no utilizan polvo basan su principio de escaneado en la captura de una imagen confocal paralela. Quiere decir que se utiliza un tipo de tecnología de microscopía confocal paralela que se asocia a la proyección de luz estructurada. De tal forma que el escáner va a emitir una luz a la superficie del objeto que se está escaneando, y a una distancia determinada se reflejará la luz de regreso al escáner. Dependiendo del tipo de tecnología y la luz que se use en cada dispositivo, este eliminará las imágenes que no fueron enfocadas y la imagen correcta se va a convertir en un archivo digital. Existe otro tipo de tecnología que puede ser usada en estos escáneres el cual consiste en capturar hasta 3000 imágenes por segundo llamada tecnología de corte ultrarrápida en la cual se utilizan imágenes para recrear modelos reales y

no interpolar superficies artificialmente. Por último, existe la tecnología que basa la captura de imagen en video 3D a color, ciertos escáneres incluyen este tipo de tecnología de vídeo 3D conjuntamente con la de triangulación óptica y la de microscopía confocal en donde no es necesario el uso de polvo en la superficie (Tamimi, 2019).

2.1.2.1 Cerec Omnicam

Este escáner fue desarrollado por la empresa alemana de Dentsply -Sirona, es el sucesor de la Cerec Bluecam, incorpora la tecnología de luz estructurada – triangulación óptica y microscopía confocal, mediante videofotometría. El escáner posee una cámara de video que genera modelos tridimensionales en color y tiempo real sin la necesidad de aplicar polvo antes del escaneo. Las condiciones de escaneo de la Omnicam deben darse bajo condiciones de la cavidad seca y se debe mantener la cámara lo más cerca posible al diente para de esa forma mejorar la exactitud del escaneado. Según la literatura las mejoras de software en cada sistema van a disminuir los errores de escaneo. El sistema se basa principalmente en la fabricación de restauraciones parciales y totales tipo coronas por un sistema Chairside, permite realizar restauraciones unitarias, sobre implantes, por cuadrantes o arco completo. Con una licencia específica del software se pueden exportar archivos en formato STL (Beuer, 2008).

El escáner es capaz de registrar el color real del diente, así como la topología 3D, obteniendo resultados similares a los espectrofotómetros (Tamimi, 2019). La información del escáner es procesada por el CEREC software, lo más destacado del software es la función de “Biojaw”, que mediante algoritmos específicos calcula la propuesta de la restauración final basado en una herramienta que la computadora usa como referencia los dientes naturales del paciente. El software permite modificaciones de la morfología, el ajuste de los contactos oclusales y la

detección del margen de la restauración. Una vez completado el proceso de diseño se continúa con la fabricación (Tamimi, 2019).

2.1.2.2 Cerec Primescan AC

Fue introducido por Dentsply Sirona en febrero del 2019. El Cerec Primescan AC tiene nuevas especificaciones de hardware y características diferentes al Cerec Omnicam. Posee una pantalla LCD táctil de 21.5 pulgadas, se reemplazó el trackball por un touchpad o panel táctil que permite movimientos más fluidos y mejor desinfección del equipo. El nuevo sistema de batería tiene 5h de tiempo de espera y puede funcionar en uso 60 min sin estar enchufado. Permite ejecutar impresiones de arco completo con alta eficiencia y exactitud. El nuevo sistema de escaneo permite al clínico capturar imágenes tanto individuales y de arco completo con un mínimo esfuerzo y hasta 20 mm de profundidad.

La última versión del escáner tiene el software Cerec 5 llamado también el flujo de trabajo de 5 clics, el cual brinda una total automatización del flujo completo de trabajo Cerec. El escáner tiene una herramienta que se denomina escaneo inteligente, el cual automáticamente recorta las formas extrañas en tiempo real. Lo que quiere decir que es imposible escanear la mejilla, la lengua o los dedos ya que el software automáticamente lo eliminará, y esto no afecta en el tiempo del escaneo siendo mucho más rápido que el Cerec Omnicam. El Cerec Primescan AC y el software Cerec 5 de Dentsply Sirona han revolucionado la era de la odontología digital tanto en el escaneo como en la fabricación de restauraciones (Skramstad, 2019).

Tabla 1 Características de Omnicam y Primescan

	Primescan	Omnicam
Procedimiento de escaneado	Escaneo de profundidad dinámico (hasta 20 mm).	Triangulación.
Libre de polvo	Si	Si
Escanea superficies metálicas reflectantes (oro, amalgama, etc.)	Si	Con restricciones (si es necesario, aplicar polvo localmente).
Escaneo a color	Si	Si
Escaneos Fotorrealistas	Si	Si
Análisis de color	Si	Si
Constantemente auto calentada para evitar el empañamiento	Si, internamente activado.	Sí, pasivamente en la base del escáner.
Tiempo de calentamiento	Solo unos pocos minutos después de haber iniciado.	15 minutos aprox.
Escaneos de arco completo. (superior, inferior, registro de mordida, cálculo del modelo)	2 – 3 minutos aprox.	8 – 12 minutos aprox.
Desinfección con paños	Si	Si
Autoclavable	Si	No
Esterilización con calor seco	Si	Si
Alto nivel de desinfección	Si	Si
Dimensiones totales	50.9 x 58.8 x 253 mm	40 x 50 x 223 mm
Peso	457 g (Cobertura plástica) 524.5 g (Cobertura metálica)	316 g
Cabeza del escáner	22.5 x 20.7 mm	16.1 x 16.2 mm

2.2 Escáneres extraorales

El escáner 3D es un dispositivo electrónico que permite capturar y procesar información de la superficie de un objeto, con el propósito de reconstruir una imagen tridimensional del mismo.

De manera indirecta es posible obtener imágenes 3D del modelo de yeso que se obtuvo de

una impresión convencional, mediante un escáner de laboratorio (Vlaar, 2006). Los escáneres extraorales pueden ser táctiles y ópticos. Los táctiles o de contacto capturan las superficies topográficas mediante mecanismos de contacto entre las unidades de detección y el modelo de yeso. Los escáneres ópticos, también conocidos como los de no contacto, capturan imágenes 3D ya sea usando tecnología láser o de luz estructurada. Los escáneres de contacto son más precisos, pero son más lentos que los de no contacto. Sin embargo; la principal ventaja es que no existe ningún tipo de contacto mecánico entre las unidades de detección y el modelo, lo que quiere decir que puede escanearse en menor tiempo y no se ve influenciado por la dureza o dimensión del objeto (Tamimi, 2019).

2.2.1 Escáneres extraorales de contacto

Los escáneres de contacto fueron el primer tipo de escáneres extraorales que apareció en el mercado, considerado el tipo de escáner más preciso. Una de las desventajas es que es de los más lentos porque tiene un proceso de contacto mecánico entre una sonda fabricada de un material resistente en movimiento y toda la superficie del objeto que se va a escanear. Son indicados principalmente en ciertos casos en implantes. No se ve afectado por las características ópticas del objeto a escanear, pero si por las características físicas (Quass, 2007).

Clasificación de los escáneres extraorales de contacto:

- Máquinas de medición por coordenadas (MMC)

Se basa en una amplia plataforma horizontal y un brazo robótico que se mueve a lo largo en los tres ejes del espacio. La precisión de una MMC suele ser de 1 a 2 μm , Los escáneres por MMC son claramente lentos y presentan cierta dificultad al momento de medir objetos con formas muy complejas (Tamimi, 2019).

- Brazo articulado

Es un brazo articulado que tiene una sonda en un lado y sensores angulares que llegan a ser muy precisos ubicados en las articulaciones del aparato. Por medio de la orientación de las articulaciones, se reconstruye la posición de la punta de la sonda (Tamimi, 2019).

2.2.2 Escáneres extraorales de no contacto

Este tipo de escáneres usan ondas electromagnéticas y luz para capturar la información del modelo. Comparados con los escáneres de contacto, estos son más rápidos y no distorsiona la superficie de escaneo, emiten luz y esta entra en contacto con la superficie del modelo. En ciertas ocasiones la luz puede verse afectada por las características de la superficie. En el caso de las superficies translúcidas o con mucha luminosidad, la luz regresa al escáner por las propiedades de reflexión y refracción, lo que puede alterar la medición del escáner (Galhano, 2012).

Clasificación de los escáneres extraorales de no contacto:

- Escáneres de luz estructurada

El principio de acción de estos dispositivos es la proyección de una banda estrecha de luz sobre una superficie tridimensional que produce una línea de iluminación. Utilizan esta información para hacer una reconstrucción de la geometría del objeto, utilizan colores de luz específicas que de tal manera influencia el color del modelo a escanear (Tamimi, 2019). InEos X5, es un escáner extraoral que posee una tecnología a base de luz estructurada, desarrollado por Dentsply Sirona (Tamimi, 2019).

- Escáneres de luz láser

Este tipo de escáneres proyectan un punto de luz sobre el objeto y registra su posición con un conjunto de cámaras para captar la posición tridimensional del punto. Un punto importante

es que, para acelerar el tiempo de escaneo, los escáneres tienen la capacidad de proyectar una línea de luz láser en lugar de un punto. Este tipo de escáner produce menos reflejos en la superficie del modelo, lo que puede reducir la calidad del escaneo que se obtuvo (Tamimi, 2019).

- Microscopía confocal y escáneres con holografía confocal.

Consiste en un subtipo de escáneres de luz estructurada o escáneres de luz láser el cual permite leer detalles precisos del modelo. Estos escáneres utilizan tecnología óptica que consiste en aumentar la resolución y el contraste por el uso de un pequeño punto de luz espacial para eliminar la luz desenfocada (Tamimi, 2019).

2.3 Modelos y mallas digitales

La nube de puntos que genera el escáner, que al aproximarse formarán triángulos y se dispondrán en mallas para crear una imagen 3D. La aproximación y densidad de la malla dependerá del número de puntos, de allí se puede conocer su resolución. El software de cada escáner permite la exportación de mallas digitales en diferentes resoluciones (alta, media, baja) (Richert, 2017). Si bien puede parecer adecuado analizar el conteo total de triángulos para cada escaneo, los escáneres procesan las nubes de puntos de manera diferente, convirtiendo la nube de puntos creada durante el escaneo en una malla triangular CAD utilizable (Nulty, 2021).

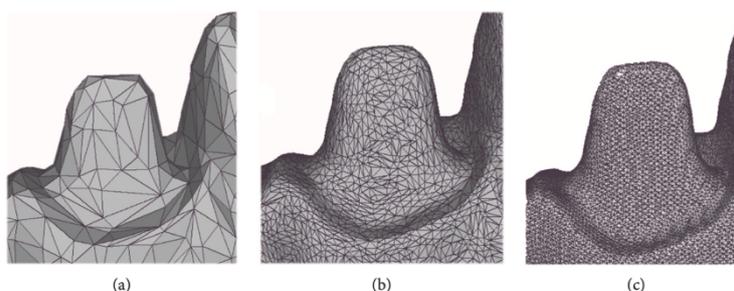


Figura 1 Comparación de archivos STL dependiendo de la densidad de la malla: a) densidad baja, b) densidad media, c) densidad alta (Richert, 2017).

Los escáneres nuevos presentan sus mallas en cuanto a su densidad y tamaño de triángulos regulares. Esto puede deberse a que estos escáneres tienen una historia más larga de investigación y desarrollo por parte del fabricante, por ende, los algoritmos utilizados para convertir las nubes de puntos registradas en mallas triangulares seguramente tuvieron más tiempo para optimizarse. Sin embargo, sin una comprensión completa de los métodos patentados particulares del fabricante de cada escáner de conversión algorítmica de la nube de puntos a la malla triangular, esta es una limitación potencial de comparar la apariencia de las mallas triangulares y el recuento total de triángulos (Nulty, 2021).

2.4 Precisión, veracidad y exactitud

Existen parámetros internacionales de medición que permiten evaluar de mejor manera las características de una malla digital comparada con el modelo maestro, y así poder determinar su calidad. Según la norma ISO 57251, la exactitud se describe por dos características: la veracidad y la precisión (ISO5725, 2021).

La veracidad describe qué tan lejos se desvía la medición de las dimensiones reales del objeto medido. La veracidad, se definió como el valor de desviación media para la superposición de cada escaneo. Los resultados se registraron junto con la desviación estándar para cada exploración. Por otro lado; la precisión describe lo cerca que están las mediciones repetidas entre sí, quiere decir que el resultado es repetible. La precisión se definió a partir de la superposición entre las diferentes exploraciones o escaneos realizados con el mismo escáner intraoral. Se calcularon las comparaciones disponibles para cada escáner y luego se expresó la precisión de cada escáner como media (Nulty, 2021). Si el escáner entrega un resultado cercano o igual a las dimensiones reales del objeto que se está escaneando, es decir que entrega mayor precisión y veracidad, quiere decir que es exacto. El método de medición

contribuye a la variabilidad de veracidad y precisión reportada para cada IOS, ya que esto se verá influenciada por varios aspectos como: el operador, el equipo utilizado y la calibración, el tiempo transcurrido entre los escaneos y el entorno de la cavidad bucal (temperatura, humedad, objetos, etc) (Richert, 2017).

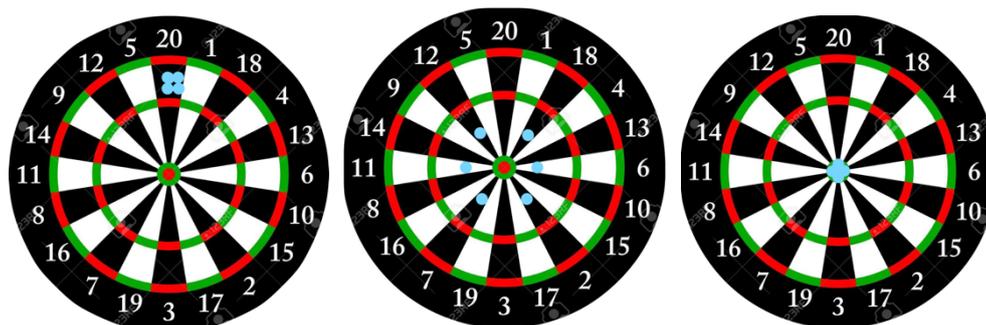


Figura 2 Descripción gráfica de a) Precisión, b) Veracidad, c) Exactitud

3 Archivos 3D

Las imágenes que fueron capturadas por los escáneres ópticos intraorales y extraorales, son almacenados como imágenes 3D, las cuales posteriormente serán utilizadas para la planificación, documentación y ejecución del plan de tratamiento. Se cuenta con diferentes tipos de archivos de imágenes 3D cada uno con sus características específicas. El primer archivo es el que presenta un formato STL (Standard Tessellation Language), comúnmente utilizado en odontología. El formato STL guarda información de la geometría del objeto 3D pero no de la textura o de la sombra, no incluye ningún metadato o información propia del paciente. Existe otro tipo de archivo usado en los escáneres faciales en odontología de imagen 3D que es el OBJ (Objeto), este tipo de archivo contiene información sobre el color y la textura de los objetos 3D. Dentro de la clasificación de los archivos está el PLY, conocido como un formato de archivo de polígono o de triángulo de Stanford; este archivo guarda información mediante la colección de polígonos en donde se cuenta con la descripción exacta del color, la

textura y transparencia el objeto 3D, Todos los archivos de formatos 3D se pueden cifrar o cerrar por el fabricante, esto se hace con la finalidad de mantener un flujo de trabajo específico de acuerdo con la casa comercial cuando se continúa con el diseño y manufacturación (Kato, 2009).

4 Diseño 3D

Después de la adquisición de la imagen 3D con un escáner, los archivos se pueden importar a un software de diseño que tendría diferentes herramientas para manipular, editar y diseñar el modelo 3D o las futuras restauraciones finales. Es importante tener en cuenta que este software podría ser cerrado o abierto y, comúnmente, incluye un conjunto de trabajos en diferentes módulos como: diseño de sonrisa, encerado virtual, librería de dientes, creador de modelos, restauraciones provisionales, articulador virtual, prótesis totales, módulo de estructuras parciales, módulo de implantes, módulo de barras, módulo de férulas oclusales (Tamimi, 2019).

OBJETIVOS

General

El propósito de este estudio comparativo es el de analizar las mallas digitales obtenidas mediante dos diferentes escáneres intraorales y un escáner extraoral con sus respectivos sistemas operativos en impresiones digitales de arco completo.

Específicos

Evaluar la precisión y veracidad del escáner intraoral Omnicam.

Evaluar la precisión y veracidad del escáner intraoral Primescan.

Comparar la precisión de los escáneres intraorales con el extraoral.

METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Este fue un estudio comparativo in vitro desarrollado mediante sistemas externos de medición: Netfabb Ultimate (California, USA/Autodesk, 2020) y Geomagic Control X (Rock Hill/SC/3D Systems Inc, 2020).

Se utilizó un modelo físico maxilar de poliuretano como modelo maestro en el cual se realizaron medidas lineales parciales y de arco completo con un calibrador digital, para obtener medidas de referencia absolutas. Dos IOS con diferentes combinaciones de hardware y software se usaron en el estudio: OC (Cerec Omnicam v 4.6.1; Dentsply Sirona) y PS (Primescan v 5.0.0; Dentsply Sirona). Los escaneos del arco completo del modelo se repitieron 5 veces por cada grupo (n = 5) utilizando una sola estrategia de escaneado. (Passos, 2019). Se utilizó también un escáner extraoral IN (inEos X5; Dentsply Sirona), para digitalizar el modelo físico un total de 5 veces (n= 5). Los escaneados fueron exportados como archivos STL. Los datos se procesaron y evaluaron digitalmente y se analizaron estadísticamente de forma descriptiva e inferencial. En el presente estudio, se usaron tres diferentes regiones para evaluar la exactitud de las impresiones de arco completo (diente 17 al diente 27); segmento anterior (diente 13 al diente 23); y segmento posterior (del diente 14 al diente 17).

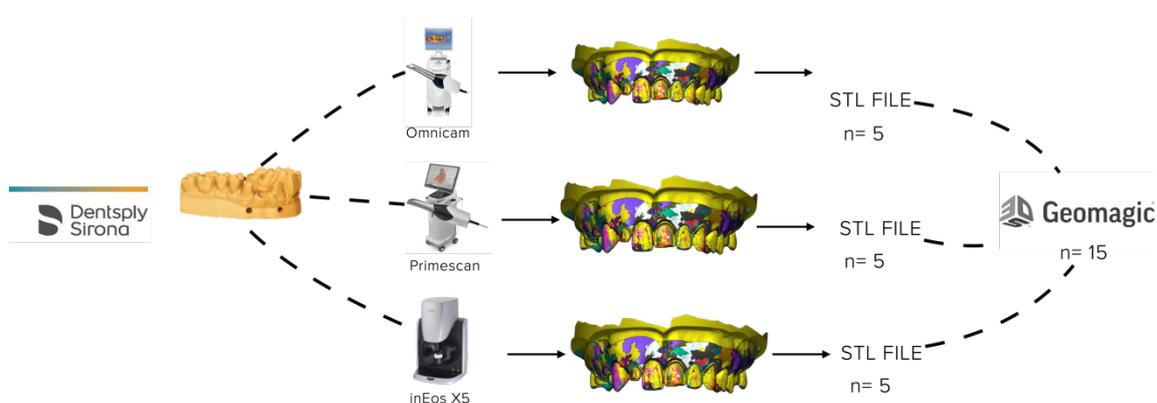


Figura 3 Metodología del estudio

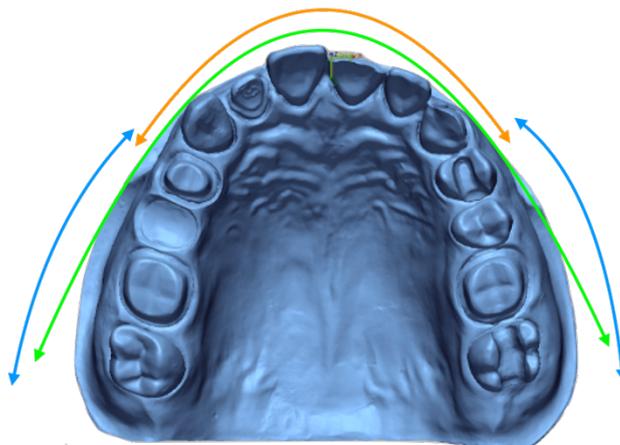


Figura 4 Las líneas de color indican las regiones de estudio tanto para arco completo – línea verde, segmento anterior – línea naranja y segmento posterior línea azul.

La evaluación de la exactitud se inició con la superposición de las mallas digitales de acuerdo con el método de mejor ajuste de alineación (Geomagic Control X (Rock Hill/ SC/3D Systems Inc, 2020)). Después de la superposición, se calcularon las distancias 3D de acuerdo con los diferentes puntos de referencia. Los valores de veracidad se registraron comparando los escaneos con el modelo de referencia y para la precisión se hicieron comparaciones intragrupo. Para determinar la resolución y el número de triángulos de las mallas digitales obtenidas, se utilizó un software de análisis y diseño digital. (NETFABB Ultimate Autodesk/2020/ California, USA)

Pasos por seguir en el software Geomagic Control X para el análisis de mallas digitales:

- Importar y seleccionar el archivo de referencia o de control, en este caso el primero modelo del grupo control obtenido con el escáner extraoral inEos X5.
- En la barra de administración del modelo, dar clic derecho en el modelo de medición, y dar clic en mover a referencia.

- Marcar con la herramienta Simulador de Puntos CMM en el modelo los 9 puntos de referencia. Las mallas digitales contaron con dos referencias para su alineación: el modelo digital de referencia y los 9 puntos.
- Importar el primer modelo de los grupos de análisis (Omnicam y Primescan) y continuar con la superposición de las mallas.
- Continuar con la alineación de las mallas, primero con la herramienta alineación inicial, seguido con la herramienta de alineación de mejor ajuste.
- Una vez alineadas las mallas se inició con la comparación 3D. Se despliega una barra de herramientas: Opción de cálculo 1) Método de medición (forma). 2) Dirección de proyección: Máxima desviación (0.05 mm). 3) Opción de pantalla (mapa de color). 4) Rango de Tolerancia: 0.05 mm.

Cuando ya se determinaron los parámetros indicados, da como resultado una imagen 3D de las mallas alineadas una con otra, representadas con un mapa de colores en el cual se evidencian parámetros de exactitud y discrepancias entre sí. Para poder visualizar los resultados de mejor manera se generó un reporte del análisis 3D.

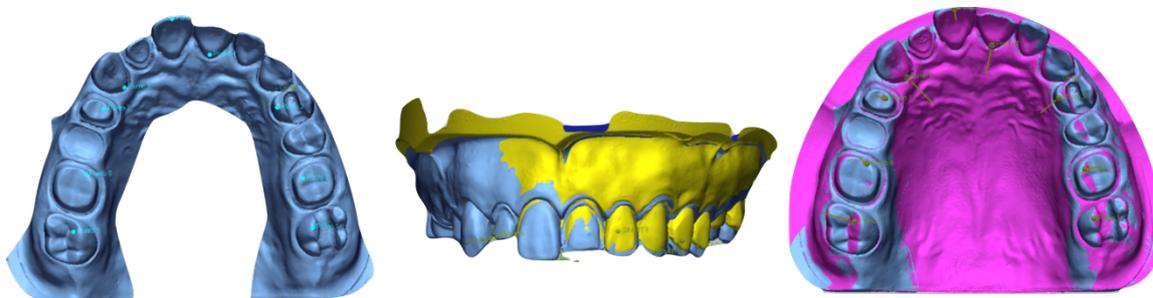


Figura 5 Puntos de referencia y alineación de mallas

Los resultados fueron evaluados en un software estadístico. El análisis de la normalidad de los datos se analizó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. Para determinar los niveles de varianza se usó el análisis de varianza (ANOVA) con un post hoc de (test de Tukey) con un nivel de significancia de ($\alpha = 0,05$).

Tabla 2 Escáneres digitales utilizados en el estudio

Nombre	Fabricante	Tecnología	Exportación STL
OMNICAM	Dentsply Sirona, USA.	Luz estructurada – Triangulación óptica y microscopia confocal.	SI
PRIMESCAN	Dentsply Sirona, USA.	Luz estructurada – microscopia confocal con sensor de píxeles inteligente	SI
INEOS X5	Dentsply Sirona, USA.	Luz óptica azul estructurada	SI

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis del número de triángulos y de la resolución de cada malla obtenida de los escáneres OC y PS y del escáner extraoral IN que arrojó el software Netfabb, se muestran en la (Tabla 3). La precisión de los diferentes escaneos se analizó mediante la superposición de mallas en el software, se distinguen las superficies por un mapa colorimétrico de la desviación. IN presentó una precisión con una desviación estándar de 11.6 μm , seguida de PS con 17.7 μm y OC con 21.1 μm (Figura 4). Los resultados de este estudio in vitro de las impresiones de arco completo, incluido el análisis estadístico descriptivo se muestran en la (Tabla 5). La prueba de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors, arrojó un (p-value 0.6608) mayor a ($\alpha = 0.05$) lo que significa que no se puede rechazar la hipótesis nula respecto a la normalidad de los valores. El test de ANOVA no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los dos escáneres, el escáner extraoral y las mediciones lineales realizadas en el modelo físico por un operador.

Tabla 3 Recuento del número de triángulos de las mallas obtenidas en el software NETFABB Ultimate 2020 con exportación en alta resolución (100% de triángulos).

Escaneo	OC	PS	IN
Primero	1028305	700567	856005
Segundo	1001536	688057	820833
Tercero	1032835	688079	886901
Cuarto	1001536	687264	855546
Quinto	1014588	688935	812201

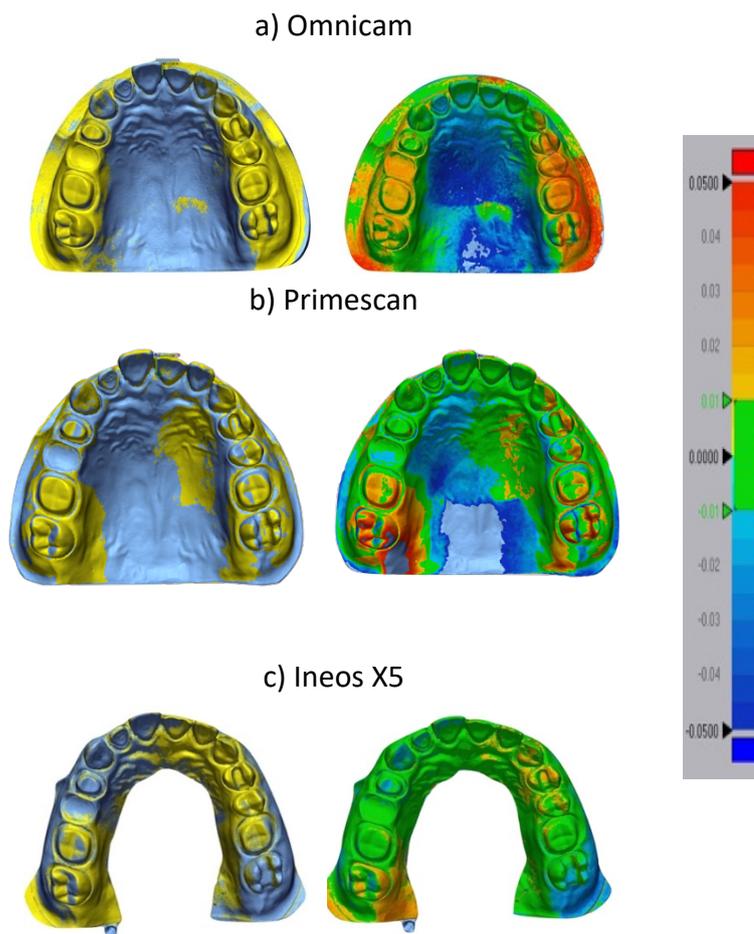


Figura 6 Mapa colorimétrico de la desviación, análisis de precisión (a) Análisis de la precisión Omnicam; (b) Análisis de la precisión Primescan; (c) Análisis de la precisión Ineos X5.

Tabla 4 Análisis 3D de mallas digitales en Geomagic Control X. (SC/3D Systems Inc/2020/Rock Hill).

Grupo	Media (μm)	Desviación estándar (μm)
OC 1 vs IN	29.7	34
OC 2 vs IN	27.9	34.9
OC 3 vs IN	31	38.7
OC 4 vs IN	28.2	35.5
OC 5 vs IN	33.6	40.7
PS 1 vs IN	15.7	20.5
PS 2 vs IN	11.9	14.4
PS 3 vs IN	14.5	15.4
PS 4 vs IN	28.2	30.6
PS 5 vs IN	20	20.7

Tabla 5 Mediciones lineales del modelo de referencia físico

S. Posterior	S. Anterior	Arco completo
65.46 mm	36.15 mm	101.61 mm

Tabla 6 Análisis estadístico descriptivo

	Omniscam			Primescan			inEos X5		
	S. Posterior (mm)	S. Anterior (mm)	Arco completo (mm)	S. Posterior (mm)	S. Anterior (mm)	Arco completo (mm)	S. Posterior (mm)	S. Anterior (mm)	Arco completo (mm)
Mean	64.93	36.37	101.30	65.05	36.51	101.56	65.20	36.41	101.62
St. Error	0.05	0.05	0.10	0.06	0.06	0.08	0.10	0.05	0.12
Median	64.95	36.36	101.30	65.02	36.53	101.52	65.27	36.39	101.78
St. Dev.	0.14	0.14	0.25	0.15	0.14	0.18	0.24	0.12	0.28
Sa. Var.	0.02	0.02	0.06	0.02	0.02	0.03	0.05	0.01	0.08
Range	0.44	0.43	0.77	0.33	0.33	0.50	0.57	0.32	0.64
Min.	64.67	36.19	100.98	64.88	36.31	101.36	64.85	36.30	101.26
Max.	65.12	36.63	101.75	65.22	36.64	101.86	65.43	36.63	101.9

Gráfico 1 Media en (mm) de las dimensiones lineales (PS azul, OC verde, IN rojo, Modelo físico amarillo)

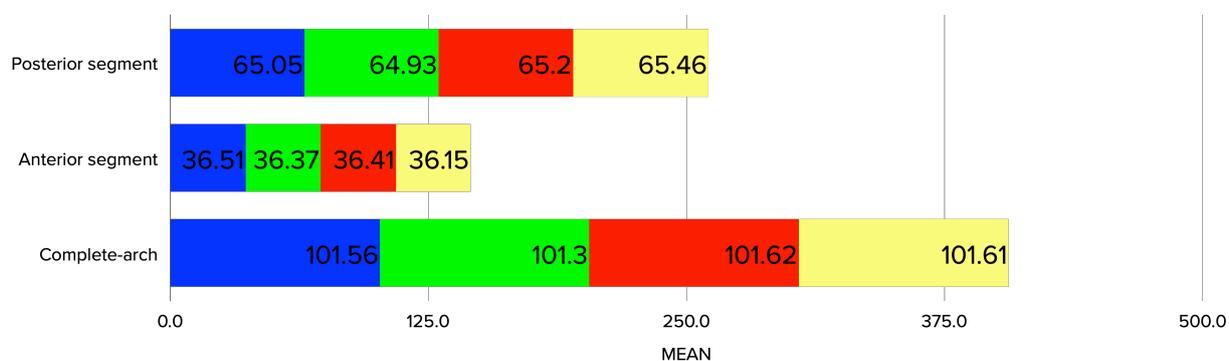


Tabla 7 Intervalos de confianza

Nivel de Confianza 95%	S. Posterior	S. Anterior	Arco Completo
OC	64,93 ± 0,14	36,38 ± 0,14	101,31 ± 0,25
PS	65,05 ± 0,13	36,51 ± 0,13	101,57 ± 0,16
IN	65,21 ± 0,21	36,42 ± 0,11	101,63 ± 0,25

DISCUSIÓN

En este estudio, la precisión, la veracidad y por ende la exactitud de las impresiones digitales de arco completo fueron evaluadas usando una comparación con un modelo físico como grupo control. Se usaron dos IOS y un escáner extraoral, cada uno con diferente combinación de hardware y software. La evaluación de la veracidad y precisión se realizó con el método de superposición, con la herramienta de alineación de mejor ajuste de los modelos digitalizados y un análisis de diferencias usando un software de análisis 3D. En base a los resultados del estudio, la hipótesis nula de que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes escáneres para escaneos de arco completo fue aceptada.

En esta investigación, se encontraron valores clínicamente aceptables para ambos IOS. La mayor exactitud en arco completo se obtuvo con PS. Se observó mayor desviación en cuanto a precisión en OC, seguida de PS e IN. Se observó un error promedio de 80 micrones y una mínima desviación estándar, rango que confirma un alto nivel de fiabilidad para Primescan. El recuento de triángulos fue realizado en este estudio para corroborar su repetición en los escaneados. Y aunque esos valores tuvieron similitudes, es importante destacar que debido a que el fabricante usa algoritmos específicos patentados para convertir las nubes de puntos en mallas que se disponen en triángulos, no es factible comparar la apariencia de las mallas digitales y el recuento total de triángulos para establecer la precisión y veracidad (Nulty, 2021).

Recientes publicaciones con una metodología similar a este estudio, coinciden también en resultados mostrando valores altos de veracidad y valores de desviación significativamente bajos para PS, al compararlo con otros IOS (Ender A. Z., 2019). Para algunos escáneres intraorales, estudios recientes en la literatura muestran valores bajos cuando evalúan la

veracidad en impresiones de arco completo (Ender A. M., 2015). Además, se puede inferir que el modelo de referencia y control utilizado influye en la precisión obtenida, dependiendo de factores como el material del modelo y de la reflexión de luz de las superficies a escanear, como por ejemplo en un estudio in vitro que utilizó carillas de feldespatos cuyo objetivo fue simular la apariencia natural del diente al momento del escaneado con diferentes valores de precisión (Ender A. Z., 2019).

En el presente estudio, se realizó un análisis 3D comparativo de las superficies de las mallas obtenidas de los IOS. Si bien es complicado comparar los resultados de este estudio con los resultados de otros estudios, ya que la región a evaluar y los datos de medición pueden ser diferentes, los valores encontrados ratifican la fiabilidad de los escáneres intraorales para obtener impresiones digitales exactas. Existen varios métodos para evaluar la exactitud de las impresiones dentales mediante escaneos, que se ven afectados por las mediciones de la precisión y la veracidad. Para la evaluación de las mediciones lineales, es necesario marcar puntos exactos de referencia, de acuerdo con las superficies anatómicas establecidas. Por otro lado, el análisis 3D de las superficies de las mallas digitales, logra comparaciones reales de las superficies dentarias, en permitiendo la alineación de miles de puntos medidos. Por ello, la superposición de los modelos digitalizados con la herramienta de alineado de mejor ajuste en la comparación 3D es un paso fiable para determinar la exactitud de dos archivos superpuestos (Vecsei B, 2017).

Las impresiones digitales adquiridas mediante un escáner intraoral claramente son una alternativa válida a las técnicas de impresión convencionales, resultando en una técnica más eficiente. En el caso de las impresiones convencionales, estas requieren mayor tiempo de preparación, trabajo y recuperación para completar una impresión aceptable clínicamente

(Papaspriidakos, 2014). Un modelo digital, permite replicar los tejidos intraorales blandos y duros, mayor confort para el paciente, mayor precisión en el ajuste de la prótesis final y por ende mayor eficacia. Sin embargo; es necesario una curva de aprendizaje en tiempo y práctica, para lograr procedimientos clínicos predecibles. Las impresiones digitales parecen eliminar errores y defectos de materiales tales como burbujas de aire, inadecuada polimerización o distorsiones. Además; se puede revisar el modelo virtual obtenido y corregirlo con tecnología digital (Gallardo YR, 2018). Entre las ventajas técnicas de los sistemas de escaneo intraoral están principalmente la visualización, la evaluación y el archivo en tiempo real, captura segmentaria o total, facilidad de recaptura si fuera el caso, ahorro económico cuando se habla del desuso del material de impresión o cubetas y desinfección, facilidad de transferencia de archivos y comunicación con el laboratorio (Sivaramakrishnan, 2020). Estudios sugieren que los escáneres pueden reemplazar las impresiones de preparaciones dentales; pero no está claro en la literatura que puedan reemplazar a las impresiones convencionales en todas las situaciones clínicas (Nulty, 2021). Los sistemas más nuevos con mejores características tanto de hardware como de software brindan mayor veracidad y precisión y es poco probable que se vean influenciados por la experiencia del clínico o la región escaneada. Aun cuando como en este estudio, los escaneos fueron realizados por un clínico capacitado siguiendo una sola estrategia; aun así, podrían presentarse discrepancias entre escaneos, aunque la precisión ha presentado un valor consistente (Lim, 2018).

Existen en el mercado una amplia gama de equipos de impresión digital, por lo cual es esencial evaluar su exactitud de los diferentes sistemas de manera sistemática y objetiva. La precisión describe lo cerca que están las mediciones repetidas entre sí. Por lo tanto, un escáner con mayor precisión se correlaciona con un escaneo más repetible y consistente. Mientras que; la

veracidad describe qué tan lejos se desvía la medición de las dimensiones reales del objeto medido. Por lo tanto, un escáner con alta veracidad indica que el escáner entrega un resultado cercano o igual a las dimensiones reales del objeto que se está escaneando (Passos, 2019). En el caso del presente estudio, PS obtuvo mayor exactitud en impresiones de arco completo. Treesh et al, mencionan en su artículo que cuando se utilizan escáneres intraorales para el escaneo de arco completo, los profesionales deben estar al tanto de variabilidad entre ellos y que las mayores discrepancias se observaron en los segmentos posteriores (Treesh, 2018). Esto sirve para recomendar que en el sector posterior se pueda separar adecuadamente la mucosa la lengua, y llegar adecuadamente a zonas como las caras distales de los últimos molares superiores.

A pesar de que el campo del escaneo digital se está expandiendo rápidamente, los clínicos deben ser conscientes de las limitaciones de los escáneres intraorales actuales y de que no todos los IOS tienen el mismo rendimiento (Kim R. J.-Y.-M.-S., 2018). En un estudio in vivo se comparó la precisión y la veracidad de OC y PS, con una impresión convencional como grupo de control. Los autores concluyeron que PS mostró los mejores valores para precisión y veracidad y por ende de exactitud comparándola con OC, por tanto, PS tuvo mayor exactitud, resultados que son concordantes con este estudio (Jorquera GJ, 2021).

Al comparar los resultados de este estudio se obtuvieron valores mucho más exactos aunque los presentados por otro estudio publicado en el 2019, se observaron valores de precisión para PS de 30.1 μm , y para OC de 43.7 μm ; y en cuanto a veracidad, PS obtuvo valores de 33.9 μm y para OC de 49.7 μm (Ender A. Z., 2019). Diferencias significativas que pueden deberse a las actualizaciones de software utilizadas y mejoradas. En todo caso, se ratifica que IOS como

el PS que emplean la tecnología microscópica confocal tiene los niveles más altos en veracidad comparándolos con los demás escáneres intraorales.

El escáner extraoral Ineos X5 en este estudio mostró los mejores resultados de precisión de 11.6 μm comparándolo con los demás escáneres intraorales, seguido de PS y OC. A pesar de utilizar una estrategia de escaneo definida y validada, la mayor precisión del escáner extraoral IN puede estar explicada en que no hay modificaciones en el proceso, como cambios en la angulación de la mano del operador y del escáner como tal. Sin embargo, también se debe mencionar que una de las limitaciones del escáner extraoral es que la adquisición se realiza sobre un modelo convencional que ya tuvo posibilidad de haberse distorsionado en varias de sus etapas previas (Yuzbasioglu E, 2014).

En otro estudio se evaluaron la precisión y la veracidad de escaneos intra y extraorales en arco completo, usando un modelo de referencia impreso con un material resinoso que contiene acrilatos, para el estudio se usó la herramienta de mejor ajuste para realizar la comparación en el software (Gom Inspect). Se utilizaron tres escáneres intraorales (CEREC Omnicam, TRIOS 3 y Carestream CS3600) y un escáner extraoral (Deluxe scanner, Open technologies). En cuanto a la precisión, las distancias de las varianzas de los escaneos sobre dientes no mostraron diferencias significativas ($P=0.204$), pero las distancias de los escaneos sobre mucosa tuvieron diferencias significativas ($P= 0.026$). En el escáner extraoral se obtuvieron valores bajos de varianza comparado con Omnicam y Carestream. Los autores concluyeron que los escáneres evaluados a excepción del Carestream, están dentro del rango clínico aceptable y se convierten en una alternativa a las técnicas de impresión convencionales. Aunque este estudio no es comparable cuantitativamente con el mencionado, ya que las

superficies a evaluar y la metodología fueron diferentes, sin embargo, valores clínicos aceptables semejantes para Omnicam se reflejaron en ambos estudios (Baghani, 2021).

La estandarización de la metodología de los estudios sería significativa para obtener resultados comparables, consistentes y homogéneos. El modelo maestro calibrado IDDA (International Digital Dental Academy), representa tres situaciones clínicas en el maxilar: arco dentado completo, cuatro estructuras regulares en forma de columnas de ancho y separación establecidas, y un alto grado de morfología superficial. El archivo STL simula condiciones estandarizadas para crear un modelo que pueda ser impreso usando resina de modelos (Asiga Max UV y NextDent) con un grosor de capa de 50 μm (Nulty, 2021). La forma en la cual se presenta dicho modelo maestro sería una mejor aproximación para lograr la estandarización. Sin embargo, mientras este modelo no estaba disponible, nuestro estudio fue diseñado tratando de establecer parámetros estandarizados.

También se debe cuestionar la relevancia clínica cuando se realiza una impresión para ejecutar un tratamiento protésico sobre el modelo. Cualquier modelo digital hecho con un escáner extraoral o intraoral tiene la capacidad de reproducir detalles finos menores a 25 μm de acuerdo con la ADA. Puede existir variabilidad en cuanto a las mediciones lineales hechas por un operador para calcular la veracidad de las mallas comparadas con el modelo físico lo que podría dar lugar a errores de interpretación. En este estudio los resultados del análisis lineal de la medición de las mallas no observaron diferencias entre los escáneres. Respecto a la veracidad, el análisis comparativo arroja un resultado más fiable si se digitaliza la medición, porque es diferente al hacerlo físicamente pues los puntos de posicionamiento para dicha medición pueden variar.

Con los resultados de nuestro estudio, al empezar a utilizar un escáner como OC puede ser viable en cuanto a la calidad de los modelos obtenidos. En un estudio en donde analizaron el tiempo de escaneo, la percepción y la posible aceptación e implementación en un futuro de los escáneres intraorales en estudiantes de último año de odontología. Se usaron tres escáneres intraorales: TRIOS, True Definition (TDef), y CEREC OC, el escaneo de arco completo se hizo sobre un maniquí. En cuanto al tiempo de escaneo OC y TRIOS tuvieron los mejores valores, el 71% de los estudiantes tuvo una respuesta positiva por la experiencia de uso, los estudiantes que en los resultados mencionan que la ventaja es el menor tiempo de trabajo del escáner intraoral comparado con una impresión convencional, son los que en un futuro están más aptos a adquirir este tipo de tecnología, dando así noticias alentadoras sobre la rápida expansión de los aparatos y tecnología empleados hoy en día en odontología digital (Ahmed, 2019).

Este estudio posee ciertas limitaciones al ser un estudio in vitro, pues si bien aísla algunas variables que pueden perjudicar el resultado final, como saliva o sangre, algunos aspectos clínicos pueden influenciar en la precisión final de la captura de la impresión digital tales como los movimientos del paciente, o el espacio para el escáner dentro de boca y su alcance a las estructuras anatómicas a copiar.

Tabla 8 Estudios recientes comparativos sobre los rangos de exactitud de los escáneres intraorales.

Autor (año)	Objeto escaneado	Método de análisis	IOS	EOS	Veracidad segmento anterior	Veracidad segmento posterior	Veracidad arco total	Precisión segmento anterior	Precisión segmento posterior	Precisión arco total
Renne W. (2017)	Estudio in vitro, modelo maestro con un índice de refracción similar al del diente	Superposición (Geomagic)	3Shape D800	ATOS (control)			43.6			124.6
			Omniscam				101.5		133.4	
			Bluecam				140.5		194.2	
			iTero				56.2		89.4	
			3Shape TRIOS 3				69.4		105.6	
Medina – Sotomayor P. (2018)	Estudio in vitro. Modelo maxilar de resina epoxy.	Superposición (Geomagic Control 13)	TRIOS				55.3			194.5
			iTero				94.5			246.8
			Omniscam				98.3			261.8
			True Definition				32.1			98.8
Ender A. (2019)	Estudio in vitro. Modelo maestro de arcada completa maxilar con dientes de cerámica feldespática.	Superposición (GOM Inspect 2018)	Convencional		13.8	9.8	16.2	8.4	7.0	12.0
			Primescan		23.3	22.2	33.9	16.5	12.9	31.3
			Omniscam 4		47.7	28.9	87.3	26.2	18.8	41.2
			Omniscam 5		40.1	36.4	49.7	28.8	20.1	43.7
Jorquera G. (2021)	Estudio in vivo, comparado con impresiones convencionales.	Superposición (Geomagic Control X)	Omniscam				56.45			42.47
			Primescan				47.29			21.86
Nulty A. (2021)	Estudio in vitro. IDDA Modelo Calibrado.	Superposición (Cloud Compare algoritmo de mejor ajuste)	Primescan				17.3			
			Trios 4				20.8			
			Medit i500				25.2			
			CS3600				26.9			
			Trios 3				27.7			
			Omniscam 5.1				55.1			
Abad C. (2021)	Estudio in vitro, modelo maestro maxilar de poliuretano.	Superposición (Geomagic Control X)	Omniscam				36.76			21.1
			Primescan				20.32			17.7
					Ineos X5					

CONCLUSIONES

Considerando las limitaciones de este estudio se ratifica que los dispositivos actuales tanto de software como de hardware permiten capturar imágenes de arco completo, de una manera fiable y repetible en pacientes dentados.

Primescan mostró los mejores valores de precisión y veracidad de arco completo comparado con su antecesor Omnicam.

Primescan mostró los mejores valores en cuanto a veracidad de arco completo, mientras que el escáner extraoral inEos X5 mostró los mejores valores en cuanto a precisión de arco completo. Sin embargo, la obtención previa de un modelo implicaría en el proceso algunas distorsiones importantes de acuerdo con la aplicación deseada.

Los escáneres con tecnología microscópica confocal muestran una mejor veracidad y precisión que aquellos que utilizan sistemas basados en fotografía.

Las actualizaciones de nuevas versiones de hardware y software requieren ser evaluadas en cuanto a precisión, veracidad y exactitud, aun cuando la obsolescencia de los aparatos digitales es inminente, debiendo ser corroborada con la clínica pertinente.

REFERENCIAS

- Abad, C. V. (2019). Intraoral Scanning Devices Applied in Fixed Prosthodontics. *Acta Scientific Dental Sciences*.
- Ahmed, K. W. (2019). Performance and perception of dental students using three intraoral CAD/CAM scanners for full-arch scanning. *J Prosthodont Res*.
- Alghazzawi, T. F. (2016). Advancements in CAD/CAM technology: Options for practical implementation. *Journal of Prosthodontic Research*.
- Baghani, M. S. (2021). In vitro evaluation of the accuracy and precision of intraoral and extraoral complete-arch scans. *J Prosthet Dent*.
- Beuer, F. S. (2008). Digital dentistry: an overview of recent developments for CAD/CAM generated restorations. *Br Dent J*.
- Bocklet C, R. W. (2019). Effect of scan substrates on accuracy of 7 intraoral digital impression systems using human maxilla model. *Orthod Craniofac Res*.
- Braian M, W. A. (2019). Trueness and precision of 5 intraoral scanners for scanning edentulous and dentate complete-arch mandibular casts: A comparative in vitro study. *J Prosthet Dent*.
- Digital, R. E. (2020). The new state of the art - Is it disruptive or destructive?. dentistry.
- Ender, A. M. (2015). In-vitro evaluation of the accuracy of conventional and digital methods of obtaining full-arch dental impressions.
- Ender, A. Z. (2019). Accuracy of complete- and partial-arch impressions of actual intraoral scanning systems in vitro. *Int J Comput Dent*.
- Galhano, G. P. (2012). Optical impression systems for CAD- CAM restorations. *J Craniofac Surg*.
- Gallardo YR, B. L. (2018). Patient outcomes and procedure working time for digital versus conventional impressions: A systematic review. .
- Giménez, B. ,.-R. (2015). Accuracy of a digital impression system based on active wavefront sampling technology for implants considering operator experience, implant angulation, and depth. *Clin Implant Dent Relat Res*.
- Gintaute A, K. A. (2019). Precision of maxillo-mandibular registration with intraoral scanners in vitro. *J Prosthodont Res*.
- Gómez-Polo M, P.-C. W.-O.-A.-L. (2021). Influence of rescanning mesh holes and stitching procedures on the complete-arch scanning accuracy of an intraoral scanner: An in vitro study. *J Dent*.
- ISO5725, -1. (2021). *Online Browsing Platform (OBP). Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 1: General principles and definitions*. Obtenido de [Online] <https://www.iso.org/standard/11833.html>.

- Jeon, J.-H. H.-S.-H.-C. (2018). Trueness and precision of scanning abutment impressions and stone models according to dental CAD/CAM evaluation standards. . *The Journal of Advanced Prosthodontics*.
- Jorquera GJ, S. C. (2021). Evaluation of trueness and precision of two intraoral scanners and a conventional impression: an in vivo clinical study. .
- Kato A, O. N. (2009). Construction of three-dimensional tooth model by micro-computed tomography and application for data sharing. . *Clin Oral Investig*.
- Kato, A. ,. (2009). Construction of three-dimensional tooth model by micro-computed tomography and application for data sharing. . *Clin Oral Investig*.
- Kihara H, H. W. (2020). Accuracy and practicality of intraoral scanner in dentistry: A literature review. .
- Kim, J. K. (2015). Quantitative evaluation of common errors in digital impression obtained by using an LED blue light in-office CAD/CAM system. *Quintessence Int*.
- Kim, R. J.-Y.-M.-S. (2018). Accuracy of 9 intraoral scanners for complete-arch image acquisition: A qualitative and quantitative evaluation. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Lee, H. S. (2008). The accuracy of implant impressions: A systematic review. .
- Lim, J.-H. P.-M.-J.-Y. (2018). Comparison of digital intraoral scanner reproducibility and image trueness considering repetitive experience. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Medina-Sotomayor, P. P.-M. (2018). Accuracy of 4 digital scanning systems on prepared teeth digitally isolated from a complete dental arch. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*. .
- Mennito AS, E. Z. (2019). Evaluation of the trueness and precision of complete arch digital impressions on a human maxilla using seven different intraoral digital impression systems and a laboratory scanner. *J Esthet Dent*.
- Michelinakis, G. A. (2019). A comparison of accuracy of 3 intraoral scanners: A single-blinded in vitro study. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*. .
- Nulty, A. (2021). A Comparison of Full Arch Trueness and Precision of Nine Intra-Oral Digital Scanners and Four Lab Digital Scanners. *Dentistry Journal*.
- Osnes CA, W. J. (2019). Full arch precision of six intraoral scanners in vitro. . *J Prosthodont Res*.
- Papaspyridakos, P. C.-J.-P. (2014). Accuracy of Implant Impressions for Partially and Completely Edentulous Patients: A Systematic Review.
- Park GH, S. K. (2019). Feasibility of using an intraoral scanner for a complete-arch digital scan. . *J Prosthet Dent*.
- Passos, L. M. (2019). Impact of different scanning strategies on the accuracy of two current intraoral scanning systems in complete-arch impressions: an in vitro study. *Int J Comput Dent*.
- Persson AS, A. M.-E. (2008). Computer aided analysis of digitized dental stone replicas by dental CAD/CAM technology. .

- Pradies, G. ,.-R. (2015). Clinical evaluation comparing the fit of all-ceramic crowns obtained from silicone and digital intraoral impressions based on wavefront sampling technology. *J Dent*.
- Quaas S, R. H. (2007). Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations. .
- Quass, S. R. (2007). Direct mechanical data acquisition of dental impressions for the manufacturing of CAD/CAM restorations. . *J Dent*.
- Renne, W. L. (2017). Evaluation of the accuracy of 7 digital scanners: An in vitro analysis based on 3-dimensional comparisons. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Richert, R. G.-C. (2017). Intraoral Scanner Technologies: A Review to Make a Successful Impression. . *Journal of Healthcare Engineering*. .
- Rotar RN, J. A. (2019). Trueness and Precision of Two Intraoral Scanners: A Comparative In Vitro Study. *Scanning*.
- Saeed, F. M. (2019). Prosthodontics dental materials: From conventional to unconventional.
- Sim JY, J. Y. (2019). Comparing the accuracy (trueness and precision) of models of fixed dental prostheses fabricated by digital and conventional workflows. . *J Prosthodont Res*.
- Sivaramakrishnan, G. A. (2020). Patient preference and operating time for digital versus conventional impressions: a network meta-analysis.
- Skramstad, M. (2019). Welcome to Cerec Primescan. *Quintessenz*.
- Solaberrieta E, G. A. (2016). Intraoral Digital Impressions for Virtual Occlusal Records: Section Quantity and Dimensions. . *Biomed Res Int*.
- Sun, L. L.-S.-H.-S.-M. (2018). Reproducibility of an intraoral scanner: A comparison between in-vivo and ex-vivo scans. . *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*.
- Tamimi, F. &. (2019). Digital Restorative Dentistry: A Guide to Materials, Equipment, and Clinical Procedures. Cham. *Springer International Publishing*.
- The academy of prosthodontics, .. (2005). The glossary of prosthodontics terms. *The journal of prosthetic dentistry*.
- Tocci, R. (2006). Digital systems: principles and applications. *Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall*.
- Treesh, J. C. (2018). Complete-arch accuracy of intraoral scanners. . *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Van der Meer, W. ., (2012). Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PLoS One*.
- Van Noort, R. (2012). The future of dental devices is digital. *Dent Mater*.
- Vecsei B, J.-K. G. (2017). Comparison of the accuracy of direct and indirect three-dimensional digitizing processes for CAD/CAM systems - An in vitro study. .
- Vlaar, S. v. (2006). Accuracy of dental digitizers. *Int Dent J*.
- Williams, G. (1986). Digital technology. *Science Research Associates*.

Yuzbasioglu E, K. H. (2014). Comparison of digital and conventional impression techniques: evaluation of patients' perception, treatment comfort, effectiveness and clinical outcomes.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Mallas Digitales.

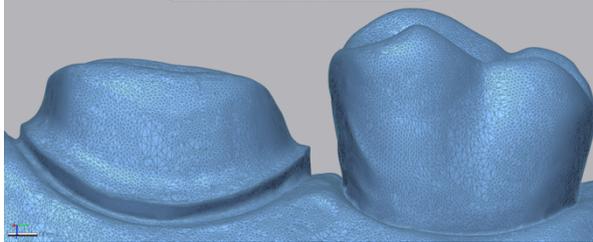
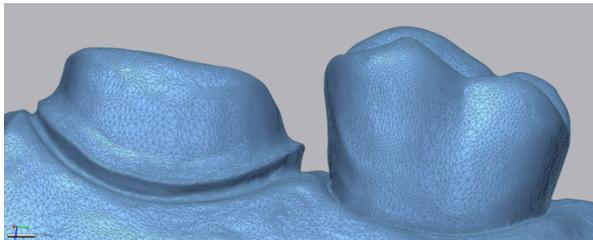
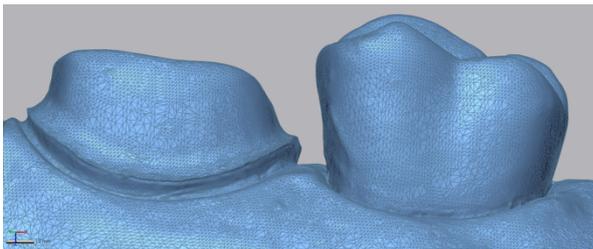
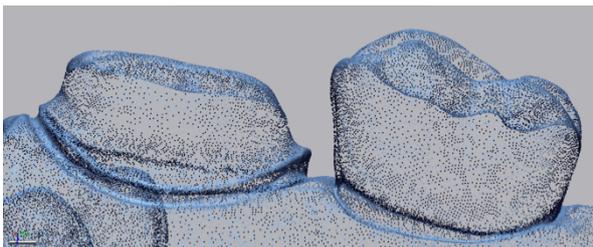
ANEXO B: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – Omnicam.

ANEXO C: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – Primescan.

ANEXO D: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – InEos X5.

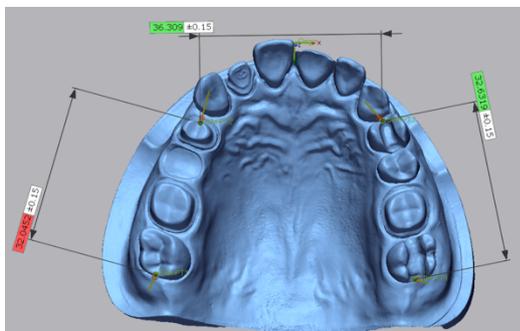
ANEXO E: ANALISIS 3D DE LAS MALLAS DIGITALES EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – Omnicam VS InEos X5.

ANEXO F: ANALISIS 3D DE LAS MALLAS DIGITALES EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – Primescan VS InEos X5.

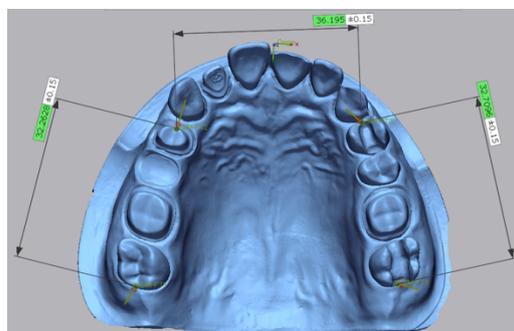
ANEXO A: MALLAS DIGITALES***Malla Digital Omnicam******Malla Digital Primescan******Malla digital InEos X5.******Nube de Puntos***

ANEXO B: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – OMNICAM.

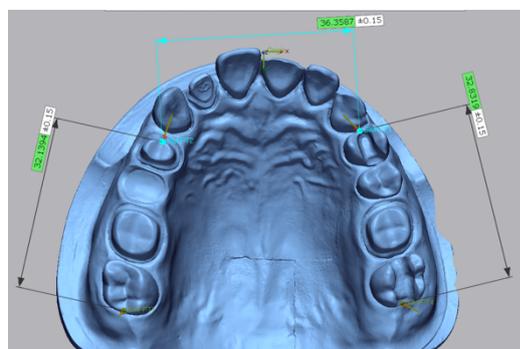
Omniam escaneo 1.



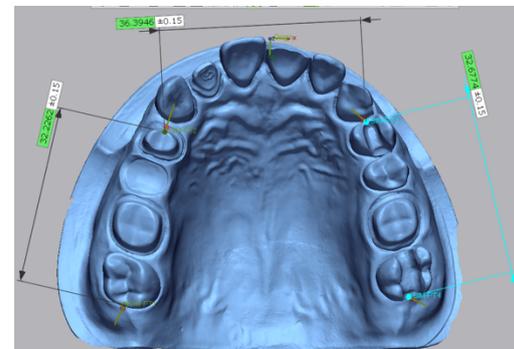
Omniam escaneo 2.



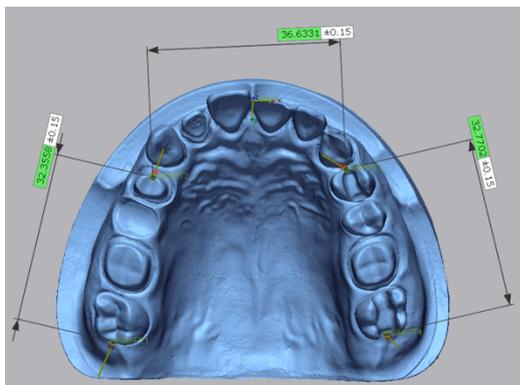
Omniam escaneo 3.



Omniam escaneo 4.

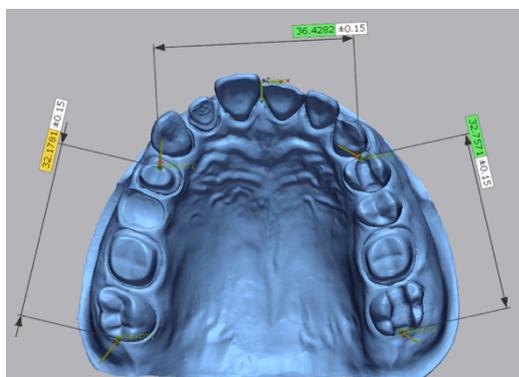


Omniam escaneo 5.

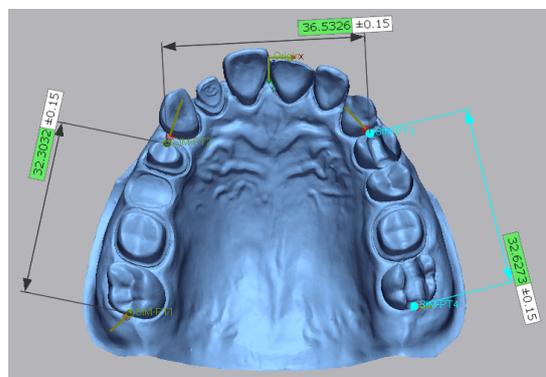


ANEXO C: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – PRIMESCAN.

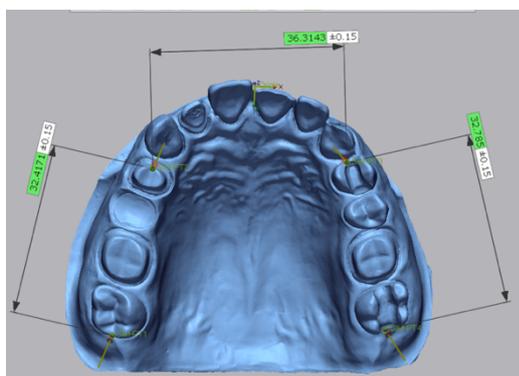
Primescan escaneo 1.



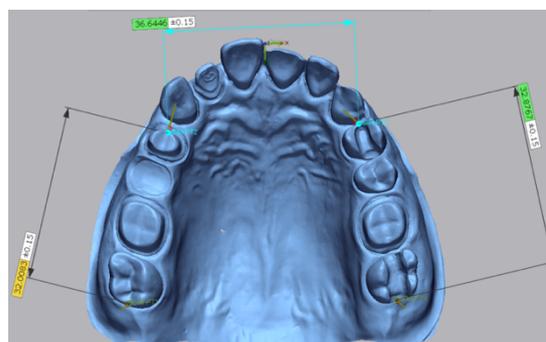
Primescan escaneo 2.



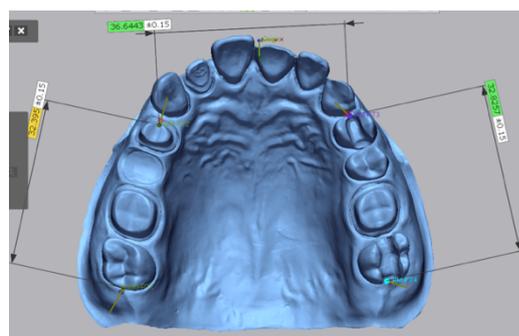
Primescan escaneo 3



Primescan escaneo 4.

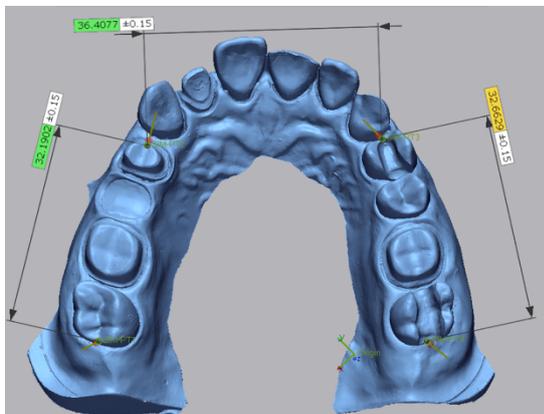


Primescan escaneo 5

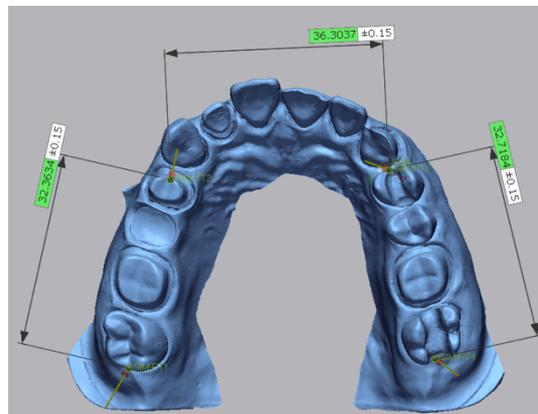


ANEXO D: MEDICIONES LINEALES DE LAS MALLAS DIGITALES POR SEGMENTOS EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – INEOS X5.

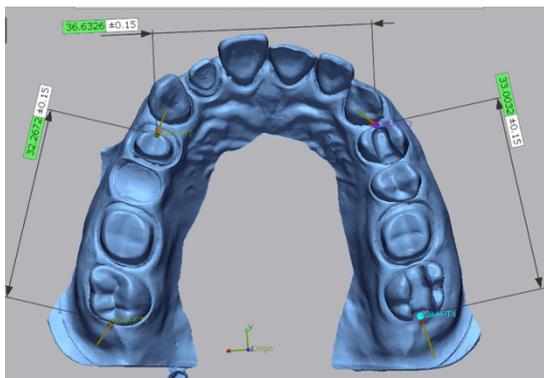
InEos x5 escaneo 1.



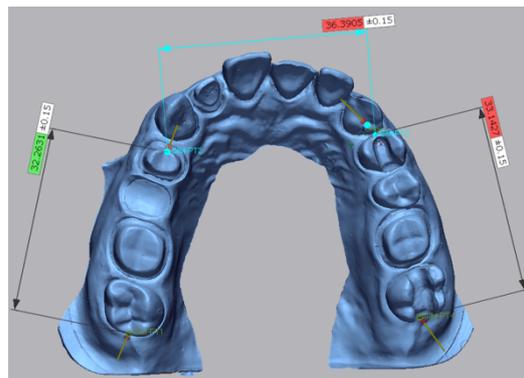
InEos x5 escaneo 2.



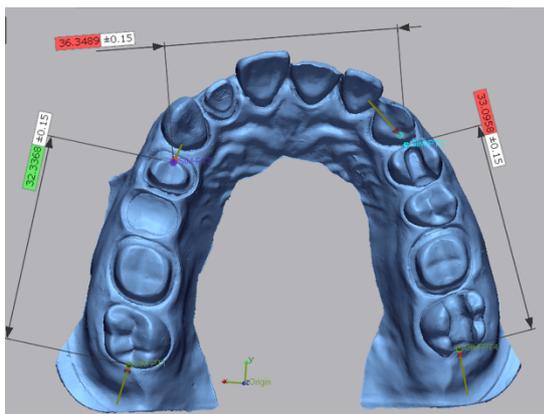
InEos x5 escaneo 3.



InEos x5 escaneo 4.

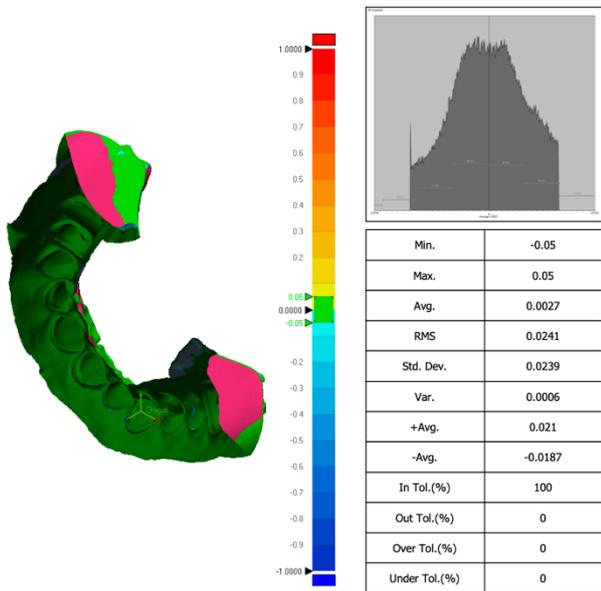


InEos x5 escaneo 5.

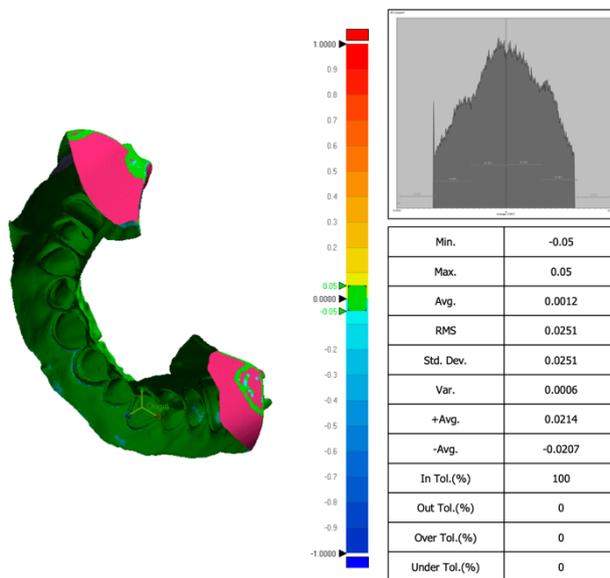


ANEXO E: ANALISIS 3D DE LAS MALLAS DIGITALES EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – OMNICAM VS INEOS X5.

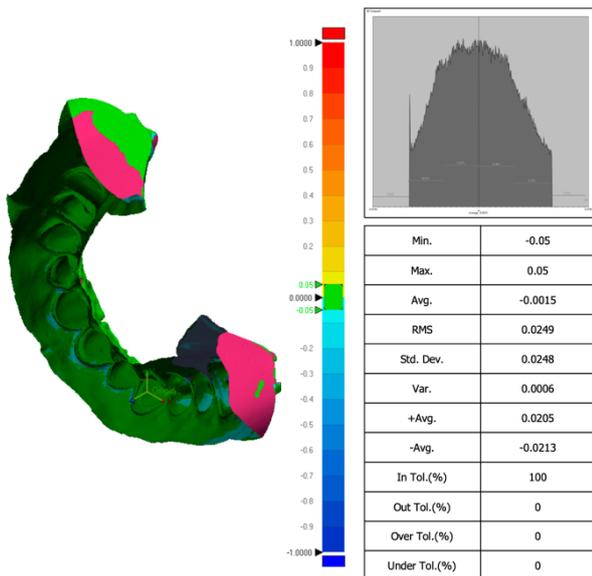
Omniscam escaneo 1



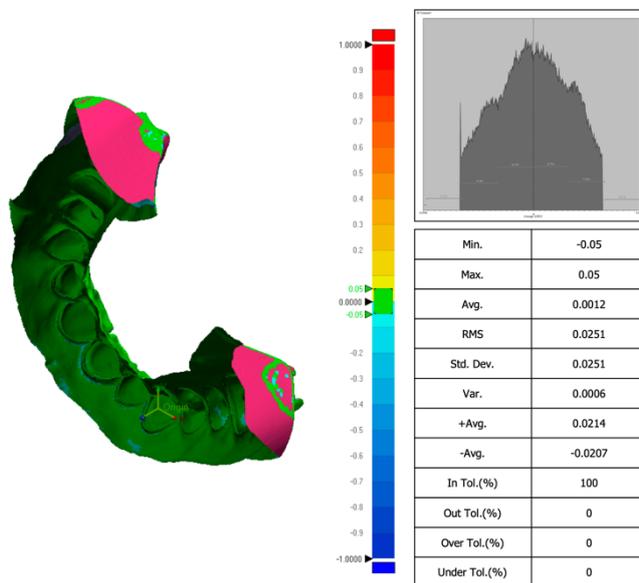
Omniscam escaneo 2

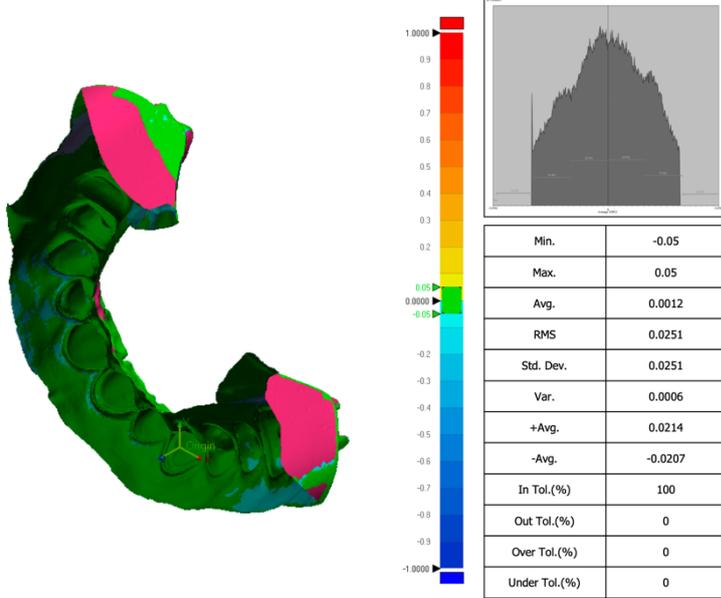


Omniscam escaneo 3



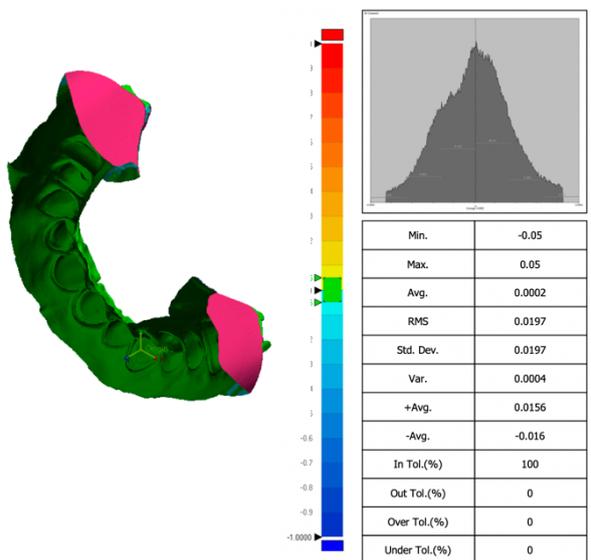
omniscam escaneo 4



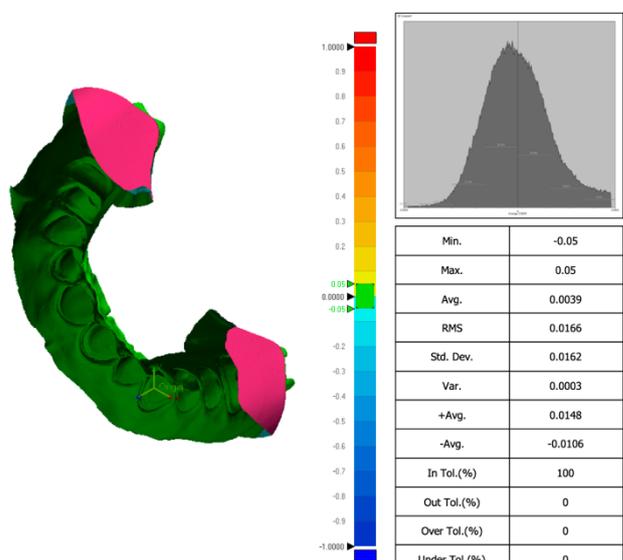
Omniscam escaneo 5

ANEXO F: ANALISIS 3D DE LAS MALLAS DIGITALES EN IMPRESIONES DE ARCO COMPLETO – PRIMESCAN VS INEOS X5.

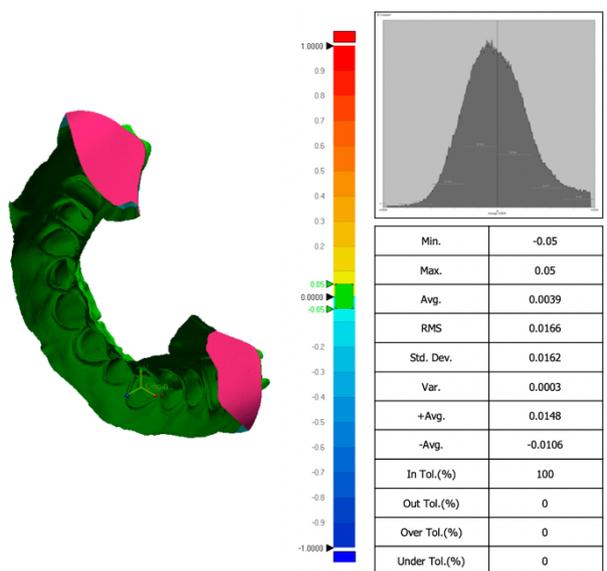
Primescan escaneo 1.



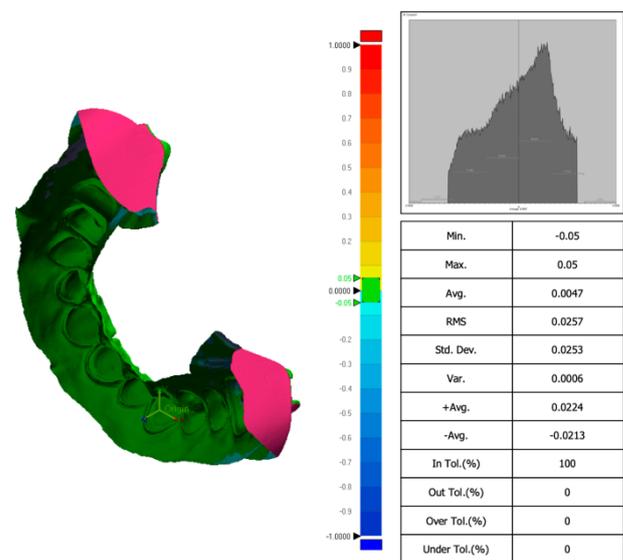
Primescan escaneo 2.



Primescan escaneo 3.



Primescan escaneo 4.



Primescan escaneo 5.