



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
CARRERA ODONTOLOGÍA

**“La fotogrametría como alternativa para la obtención de modelos
3d en odontología”**

Trabajo de Titulación para optar al título de Odontóloga

Autor:

Mesa Revelo Madelyn Francisca

Tutor:

Dr. Xavier Guillermo Salazar Martínez

Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **Madelyn Francisca Mesa Revelo**, con cédula de ciudadanía **060476766-5**, autora del trabajo de investigación titulado: **“La fotogrametría como alternativa para la obtención de modelos 3d en odontología”**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 16 días del mes de febrero del año 2023



Madelyn Francisca Mesa Revelo

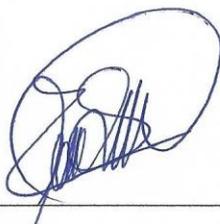
C.I. 060476766-5

AUTORA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, **Xavier Guillermo Salazar Martínez** catedrático adscrito a la Facultad de Ciencias de la salud por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación: **“La fotogrametría como alternativa para la obtención de modelos 3d en odontología”**, bajo la autoría de **Madelyn Francisca Mesa Revelo**; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 16 días del mes de febrero del año 2023.



Xavier Guillermo Salazar Martínez
C.I. 0603009101
DOCENTE - TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “**La fotogrametría como alternativa para la obtención de modelos 3d en odontología**” por **Madelyn Francisca Mesa Revelo**, con cédula de identidad número **060476766-5**, bajo la tutoría de **Dr. Xavier Guillermo Salazar Martínez**; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

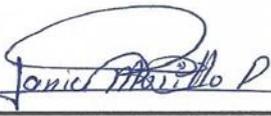
De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha de su presentación

A los 16 días del mes de febrero del año 2023

Dr. Xavier Guillermo Salazar Martínez
TUTOR DE TESIS



Dra. Tania Murillo Pulgar
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.



Dr. Cristian David Guzmán Carrasco
MIEMBRO DEL TRIBUNAL
(DELEGADO DECANO)



CERTIFICADO ANTIPLAGIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO CID
Ext. 1133

Riobamba 25 de enero del 2023
Oficio N° 114-2022-2S-URKUND-CID-2023

Dr. Carlos Alberto Albán Hurtado
DIRECTOR CARRERA DE ODONTOLOGÍA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
UNACH
Presente.-

Estimado Profesor:

Luego de expresarle un cordial saludo, en atención al pedido realizado por el **Xavier Guillermo Salazar Martínez**, docente tutor de la carrera que dignamente usted dirige, para que en correspondencia con lo indicado por el señor Decano mediante Oficio N° 1898-D-FCS-TELETRABAJO-2020, realice validación del porcentaje de similitud de coincidencias presentes en el trabajo de investigación con fines de titulación que se detalla a continuación; tengo a bien remitir el resultado obtenido a través del empleo del programa URKUND, lo cual comunico para la continuidad al trámite correspondiente.

No	Documento número	Titulo del trabajo	Nombres y apellidos del estudiante	% URKUND verificado	Validación	
					Si	No
1	D- 155759944	La fotogrametría como alternativa para la obtención de modelos 3d en odontología	Madelyn Francisca Mesa Revelo	10	x	

Atentamente,

CARLOS GAFAS GONZALEZ
Firmado digitalmente por CARLOS GAFAS GONZALEZ
Fecha: 2023.01.25 19:27:46 -05'00'

Dr. Carlos Gafas González
Delegado Programa URKUND
FCS / UNACH
C/c Dr. Gonzalo E. Bonilla Pulgar – Decano FCS

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo va dedicado a mis **PADRES**, **ABUELITOS** y a mi **NOVIO**.

A mis **PADRES**, Zoila Revelo y Marco Mesa, quienes a pesar de la distancia han estado pendientes de mí y me han apoyado en todas las decisiones que he tomado, enseñándome que para conseguir mis objetivos es importante poner empeño y que la educación será la herencia más valiosa que puedan darme. Ustedes a más de ser un apoyo económico para la culminación de mi carrera, me han apoyado emocionalmente en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil.

A mis **ABUELITOS**, Dora Chávez y Luis Poma, por su apoyo y comprensión, por estar junto a mí en cada paso, ustedes fueron testigos de los altibajos que se presentaron a lo largo de mi carrera, enseñándome a no rendirme fácilmente, y demostrarme que no importa cuántas veces me caiga, lo que realmente importa es si me vuelvo a levantar, gracias a ustedes soy la persona que soy hoy en día y estoy segura de que no lo habría podido hacer sin su apoyo.

Finalmente, a mi **NOVIO**, Daniel Bautista, por animarme siempre incluso en mis peores momentos, por creer siempre en mí y en mis capacidades, por no dejarme caer y ser uno de los pilares fundamentales no solo durante la realización de este proyecto si no en mi vida cotidiana, por permitirme crecer junto a él y cumplir nuestros sueños juntos.

Madelyn Francisca Mesa Revelo

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a mi tutor Dr. Xavier Salazar por ser una excelente guía no solo para el desarrollo de este proyecto de investigación si no a lo largo de toda mi formación profesional, por compartir sus conocimientos y estar siempre abierto a las inquietudes que se iban presentando.

Al laboratorio dental García y al Dr. Cristian Guzmán por facilitarme los recursos necesarios para la realización del presente trabajo de investigación.

A mi alma mater, la Universidad Nacional de Chimborazo por abrirme las puertas y permitirme ser miembro de esta prestigiosa institución, finalmente a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para la culminación del presente trabajo investigativo.

Madelyn Francisca Mesa Revelo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	15
1. INTRODUCCIÓN.....	15
2. Planteamiento Del Problema	17
3. Justificación	18
4. OBJETIVOS	19
4.1 General.....	19
4.2 Específicos	19
CAPÍTULO II.....	20
5. MARCO TEÓRICO	20
5.1 La planificación en odontología	20
5.1.1 Fases de la planificación.....	20
5.1.1.1 Recogida de datos de paciente:.....	20
5.1.1.2 Interpretación de datos, así como objetivos y pronóstico del tratamiento	20
5.1.1.3 Análisis de las opciones del tratamiento.....	21
5.1.1.4 Educación al paciente, así como presenta el plan de tratamiento y firma del consentimiento informado.	21
5.2 Modelos de estudio	21
5.2.1 Convencionales.....	21
5.2.2 Importancia de los modelos de estudio.....	21
5.2.3 Obtención de modelos convencionales.....	22
5.2.4 Digitalización de modelos	23
5.3 Escáner oral.....	24
5.4 La fotogrametría	25
5.4.1 Definición	25
5.4.2 Reseña histórica de la fotogrametría	25
5.4.3 Ventajas y desventajas de la fotogrametría	26
5.4.4 Clasificación de la fotogrametría.....	26
5.4.4.1 Instrumentos utilizados	26
5.4.4.2 Distancia del objeto	27
5.4.5 Método general de la fotogrametría.....	28
5.4.6 La fotogrametría en ciencias de la salud	28
5.4.7 Fotogrametría en odontología.....	29

5.4.8	Programas utilizados para Fotogrametría	30
5.4.9	Aplicaciones móviles de fotogrametría	31
CAPÍTULO III		33
6.	METODOLOGÍA	33
6.1	Tipo de investigación:.....	33
6.2	Diseño de la investigación	33
6.3	Población de estudio	33
6.4	Muestra	33
6.5	Criterios de selección.....	33
6.6	Entorno.....	33
6.7	Recursos.....	34
6.7.1	Materiales	34
6.7.2	Servicios	34
6.7.3	Humanos.....	35
6.8	Técnicas e instrumentos.....	35
6.8.1	Operacionalización de Variables	39
6.8.1.1	Variable independiente	39
6.8.1.2	Variable dependiente	39
CAPÍTULO IV		41
7.	RESULTADOS	41
8.	DISCUSIÓN	57
CAPÍTULO V		59
9.	CONCLUSIONES	59
10.	RECOMENDACIONES.....	60
11.	BIBLIOGRAFÍA	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparación entre modelos convencionales de yeso y modelos digitales	23
Tabla 2 Bienes	34
Tabla 3 Servicios	34
Tabla 4 Humanos.....	35
Tabla 5 Angulación vertical de la cámara	36
Tabla 6 La fotogrametría	39
Tabla 7 Planificación de tratamientos odontológicos.....	39
Tabla 8 Modelo 1.....	42
Tabla 9 Modelo 2.....	43
Tabla 10 Modelo 3.....	44
Tabla 11 Modelo 4.....	45
Tabla 12 Modelo 5.....	46
Tabla 13 Modelo 6.....	47
Tabla 14 Modelo 7.....	48
Tabla 15 Modelo 8.....	49
Tabla 16 Modelo 9.....	50
Tabla 17 Modelo 10.....	51
Tabla 18 Modelo 11.....	52
Tabla 19 Modelo 12.....	53
Tabla 20 Modelo 13.....	54
Tabla 21 Modelo 14.....	55
Tabla 22 Modelo 15.....	56

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Set de fotografiado.....	36
Imagen 2. Fotografías realizadas con la cámara a diferente angulación horizontal	36
Imagen 3. Software de fotogrametría Agisoft Metashape	37
Imagen 4. Fotos orientadas en el software.....	37
Imagen 5. Nube de puntos densa	37
Imagen 6. Malla creada.....	37
Imagen 7. Modelo finalizado	37
Imagen 8. Modelo inicial de yeso.....	37
Imagen 9. Modelo 3D creado con Agisoft Metashape	37
Imagen 10. Máscara colocada en el modelo 3D	38
Imagen 11. Edición del modelo con la herramienta Draw	38
Imagen 12. Modelo editado	39
Imagen 13. Modelo sólido #1	42
Imagen 14. Malla mejorada, modelo #1	42
Imagen 15. Modelo sólido #1	42
Imagen 16. Malla mejorada, modelo #1	42
Imagen 17. Modelo sólido #2	43
Imagen 18. Malla mejorada, modelo #2	43
Imagen 19. Modelo sólido #2	43
Imagen 20. Malla mejorada, modelo #2	43
Imagen 21. Modelo sólido #3	44
Imagen 22. Malla mejorada, modelo #3	44
Imagen 23. Modelo sólido #3	44
Imagen 24. Malla mejorada, modelo #3	44
Imagen 25. Modelo sólido #4	45
Imagen 26. Malla mejorada, modelo #4	45
Imagen 27. Modelo sólido #4	45
Imagen 28. Malla mejorada, modelo #4	45
Imagen 29. Modelo sólido #5	46
Imagen 30. Malla mejorada, modelo #5	46
Imagen 31. Modelo sólido #5	46
Imagen 32. Malla mejorada, modelo #5	46

Imagen 33. Modelo sólido #6	47
Imagen 34. Malla mejorada, modelo #6	47
Imagen 35. Modelo sólido #6	47
Imagen 36. Malla mejorada, modelo #6	47
Imagen 37. Modelo sólido #7	48
Imagen 38. Malla mejorada, modelo #7	48
Imagen 39. Modelo sólido #7	48
Imagen 40. Malla mejorada, modelo #7	48
Imagen 41. Modelo sólido #8	49
Imagen 42. Malla mejorada, modelo #8	49
Imagen 43. Modelo sólido #8	49
Imagen 44. Malla mejorada, modelo #8	49
Imagen 45. Modelo sólido #9	50
Imagen 46. Malla mejorada, modelo #9	50
Imagen 47. Modelo sólido #9	50
Imagen 48. Malla mejorada, modelo #9	50
Imagen 49. Modelo sólido #10	51
Imagen 50. Malla mejorada, modelo #10	51
Imagen 51. Modelo sólido #10	51
Imagen 52. Malla mejorada, modelo #10	51
Imagen 53. Modelo sólido #11	52
Imagen 54. Malla mejorada, modelo #11	52
Imagen 55. Modelo sólido #11	52
Imagen 56. Malla mejorada, modelo #11	52
Imagen 57. Modelo sólido #12	53
Imagen 58. Malla mejorada, modelo #12	53
Imagen 59. Modelo sólido #12	53
Imagen 60. Malla mejorada, modelo #12	53
Imagen 61. Modelo sólido #13	54
Imagen 62. Malla mejorada, modelo #13	54
Imagen 63. Modelo sólido #13	54
Imagen 64. Malla mejorada, modelo #13	54
Imagen 65. Modelo sólido #14	55
Imagen 66. Malla mejorada, modelo #14	55

Imagen 67. Modelo sólido #14	55
Imagen 68. Malla mejorada, modelo #14	55
Imagen 69. Modelo sólido #15	56
Imagen 70. Malla mejorada, modelo #15	56
Imagen 71. Modelo sólido #15	56
Imagen 72. Malla mejorada, modelo #15	56

RESUMEN

La fotogrametría es una técnica para obtener modelos tridimensionales a partir de la captura de fotografías en diferentes ángulos, alturas y posiciones con la finalidad de producir como mínimo 5 intersecciones entre las mismas. El presente trabajo de investigación pretende considerar a la fotogrametría como una alternativa útil para la obtención de modelos 3D en odontología, este proyecto tuvo como objetivo la creación de modelos tridimensionales digitales a partir de un modelo de estudio en yeso, proponiendo un protocolo basado en 4 etapas (Preparación, Captura de fotografías, digitalización y Edición) empezando con la reconstrucción del objeto y terminando con la edición del mismo, mediante herramientas que sean de fácil acceso para profesionales y estudiantes, tales como la cámara adaptada de un iPhone 12, un set de fotografiado construido según las necesidades del operador y dos software de uso libre el primero para la reconstrucción (Agisoft Metashape Standard) y el segundo para la edición de los modelos obtenidos (Blender). Se utilizaron 15 modelos de estudio en yeso previamente seleccionados según los criterios expuestos en la metodología de los mismos que se obtuvieron un promedio de 60 fotografías en 3 diferentes alturas 98, 92 y 82 cm respectivamente, las mismas que una vez exportadas a Agisoft Metashape Standard dieron como resultado modelos con detalles que permiten el reconocimiento de estructuras anatómicas básicas para la planificación de cualquier tratamiento odontológico. Gracias a las herramientas de edición y modelado de Blender se logró mejorar la malla de cada modelo, incrementando el número de triángulos existentes, regularizando las superficies logrando un objeto más liso. Este programa permite a demás simular tratamientos Odontológicos gracias a los distintos tipos de pinceles y brochas.

Palabras clave: Fotogrametría, malla, digitalización, reconstrucción, modelo 3D, modelado.

ABSTRACT

Photogrammetry is a technique for obtaining three-dimensional models from capturing photographs at different angles, heights, and positions to produce at least five intersections among them. This research work aims to consider photogrammetry as a valuable alternative for obtaining 3D models in dentistry; this project aimed to create three-dimensional digital models from a study model in plaster, proposing a protocol based on four stages (Preparation, Capture of photographs, digitization, and Editing) starting with the preparation of the model, digitalization and edition) starting with the reconstruction of the object and ending with its edition, using tools that are easily accessible to professionals and students, such as the adaptive camera of an iPhone 12, a photographic set built according to the operator's needs, and two free use software, the first one for the reconstruction (Agisoft Metashape Standard) and the second one for the edition of the obtained models (Blender). Fifteen plaster study models were used, previously selected according to the criteria exposed in the methodology. An average of 60 photographs were obtained at three different heights, 98, 92, and 82 cm, respectively, which, once exported to Agisoft Metashape Standard, resulted in models with details that allow the recognition of basic anatomical structures for the planning of any dental treatment. Thanks to Blender's editing and modeling tools, it was possible to improve the mesh of each model, increasing the number of triangles, regularizing the surfaces, and achieving a smoother object. This program also allows simulation dental treatments thanks to the different types of brushes and paintbrushes.

Keywords: Photogrammetry, mesh, digitalization, reconstruction, 3D model, modeling.



Reviewed by:
Mgs. Hugo Romero
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 0603156258

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo de investigación se abarca temas de gran importancia para el mejoramiento de técnicas de planificación de los procedimientos odontológicos en los distintos campos como lo son: la ortodoncia, periodoncia, rehabilitación oral y estética, lo que servirá de herramienta para el mejoramiento de la atención en las clínicas dentales tanto públicas como privadas garantizando así tratamiento de buena calidad y con un pronóstico favorable.

Tal como expone Rodrigues (1), la planificación ha sido un tema que se ha ignorado durante muchos años, dificultando así el planteamiento de las opciones de tratamiento que más se ajusten a las necesidades del paciente. Durante el desarrollo de su estudio expone diversas fases que se deben tomar en cuenta durante la realización de este, empezando por una exploración clínica exhaustiva recolectando la mayor cantidad de información que se pueda del paciente, para lo cual se necesitará del apoyo de diferentes auxiliares de estudio como los son la radiografía, los modelos de estudio además de exámenes complementarios. Con el avance de la tecnología, los auxiliares de diagnóstico se han ido modernizando al punto de llegar a la era digital donde la obtención de una impresión en 3D de los tejidos de la cavidad oral facilita de sobremanera este procedimiento. (2)

La manera más común últimamente introducida al medio para la obtención de registros en tres dimensiones son los escáneres intra y extraorales lo cual representa una alternativa moderna e innovadora para el análisis digital de modelos de la cavidad oral, pero su alto costo ha hecho que muchos odontólogos pasen por alto su enorme utilidad, por este motivo, se ha estudiado diversas maneras para la digitalización en odontología. Una de las nuevas alternativas que se está introduciendo en el área de las ciencias de la salud es la fotogrametría, la misma que según Santamaria et al (3). Es el proceso mediante el cual una fotografía o imagen que normalmente está en dos dimensiones se convierte en una imagen de tres mediante la superposición de las mismas lo cual permite el establecimiento de medidas de una manera fiel y confiable.

La fotogrametría en el área de la salud ha sido aplicada tanto para diagnóstico como para seguimiento de tratamientos realizados y es una técnica que reduce los costos en comparación con los ya mencionados ya que se la puede realizar con la ayuda de la cámara de un celular de gama media alta. (4)

Nosotros como profesionales del área de la salud, debemos estar en constante educación con el fin de renovar nuestras técnicas de tratamiento y así brindar una atención de calidad que satisfaga los requerimientos del paciente y que se promueva la salud de la cavidad oral.

El presente trabajo será de tipo aplicado, descriptivo y de corte transversal, usando la técnica de observación e instrumentos como los programas de digitalización, edición, fotografías,

etc., con la finalidad de brindar a los estudiantes una nueva herramienta para la planificación de sus tratamientos de una manera accesible y de bajo costo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La planificación de tratamientos mediante modelos digitalizados de la cavidad oral se ha limitado únicamente al uso de escáneres intraorales, los cuales son un método útil, pero a la vez muy costoso, esto provoca que varios profesionales opten por otras alternativas menos fiables, dejando de lado un sinnúmero de posibilidades innovadoras que pueden servir como alternativa a estos instrumentos y son mucho más accesibles para la consulta.

Uno de los métodos tradicionales que comúnmente se aplica para la planificación y evaluación de tratamientos tanto estéticos, protésicos o restaurativos es la radiografía, ya sea panorámica o periapical, ignorando que esta estructura nos proporciona una imagen de 2 dimensiones dificultando la evaluación de todas las caras presentes en el diente, además de no presentar una relación confiable y proporcional con los dientes adyacentes dada a la sobreposición de imágenes que se presenta en la misma.

Con la implementación de la tecnología 3d, la odontología ha avanzado enormemente ya que gracias a diferentes programas se puede realizar una planificación eficaz y confiable de todo el procedimiento a realizarse en un paciente, este método permite evaluar la arcada en sus tres dimensiones, caras y ángulos existentes, facilitando el diseño y ubicación exacta del tratamiento ya sea quirúrgico, restaurativo o protésico. (5)

La fotogrametría es una herramienta mediante la cual se puede crear modelos en tres dimensiones a partir de fotografías y así obtener un duplicado de las características tanto morfológicas como dimensionales del objeto que estamos analizando (6). En 1870, la fotogrametría fue implementada como una nueva técnica para diseños cartográficos, usada principalmente para la reproducción de terrenos o montañas. No fue hasta el año de 1990 que se introdujo la fotogrametría digital como una fuente confiable para la obtención de datos (7). En odontología, este método, no ha sido ampliamente estudiado, pero se conoce que es utilizado para la digitalización de modelos que facilite la correcta planificación de cirugía de implantes, abarcando detalles que van desde el diseño de los dientes a ser reemplazados hasta el lugar en donde serán ubicados posteriormente. (4) (5)

3. JUSTIFICACIÓN

Con el avance de la tecnología, se hace necesaria la actualización de los métodos convencionales de planificación de tratamientos en el campo odontológico, por esto, es importante que tanto nuevas como anteriores generaciones amplíen sus conocimientos referentes al tema, para de esta manera lograr un proceso innovador mediante la implementación de herramientas digitales que brinden mayor precisión y facilidad de reproducción de los detalles (8).

La presente investigación se enfocará en nuevos métodos de planificación digital que han surgido en los últimos años permitiendo a los estudiantes de las diferentes clínicas de la carrera de odontología de la Universidad Nacional De Chimborazo, beneficiarios directos, analizar y planificar de mejor manera sus posibles planes de tratamiento de una manera fácil y confiable sin la necesidad de recurrir a métodos mucho más costosos y de difícil acceso como estudiantes.

Como beneficiario indirecto se tomará en cuenta a la carrera de odontología ya que gracias al presente trabajo investigativo se podrá brindar las herramientas útiles a futuras generaciones para una planificación sistemática que garantice la calidad de los tratamientos realizados y será precursor de nuevos estudios que se realicen partiendo de las bases propuestas en el presente.

El proyecto es factible ya se brindarán las facilidades tanto intelectuales como materiales para el desarrollo de la investigación, así como el asesoramiento de docentes con experiencia en el ámbito de la digitalización, los mismos que aportarán conocimientos relevantes para el desarrollo integral del mismo. En cuanto a factibilidad económica, el estudiante es perfectamente capaz de solventar cualquier tipo de gasto que se presente durante el desarrollo de esta tales como transporte, materiales e instrumentos tanto físicos como digitales que serán indispensables para el propósito de la investigación. El tiempo que será requerido está dentro de lo establecido y se espera que los resultados aporten de sobremanera al mejoramiento de la calidad de atención a pacientes.

El tema de estudio es importante ya que a nivel del Ecuador y generalmente en América Latina no existen estudios suficientes sobre el mismo y que mediante el desarrollo de este se implementará nuevas opciones de intervención con el propósito de que los estudiantes sean capaces de analizar todas las opciones que se pueden plantear al paciente para satisfacer sus necesidades. La puesta en práctica del presente proyecto brindará una solución novedosa a la falta de recursos digitales para la planificación de tratamientos para los estudiantes de la carrera de odontología de la Universidad Nacional de Chimborazo.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Crear modelos 3D mediante el uso de fotogrametría para el análisis y planificación de tratamientos odontológicos

4.2 Específicos

- Describir a la técnica de fotogrametría.
- Caracterizar el proceso que se lleva a cabo para la obtención de un modelo 3D con esta técnica.
- Trasladar el modelo 3D a un software de modelado.

CAPÍTULO II

5. MARCO TEÓRICO

5.1 La planificación en odontología

Una de las fases más importantes que tiene todo tratamiento ya sea médico u odontológico es el de planificación, especialmente en el ámbito odontológico, sin embargo la importancia que se le ha dado a este tema es escasa siendo casi nula por lo que para muchos de los estudiantes y odontólogos es motivo de autoeducación siendo la principal razón de aparición de dudas o incertidumbre acerca del orden de los procedimientos que se deben realizar para llegar a una planificación adecuada y que se ajuste a los requerimientos del paciente. (1)

La falta de educación sobre este tipo de temas tanto en el pregrado como en posgrados ha hecho que la planificación de tratamientos se convierta en todo un desafío para el clínico, lo mismo que puede conducirlo a la frustración y obligarlo a tomar decisiones basándose en su intuición o conocimiento personal siendo una opción poco favorable para resolver el problema que presenta el paciente en la consulta odontológica. (1)

Para garantizar el éxito de un tratamiento odontológico es indispensable que el profesional analice todas las posibilidades y alternativas que podría tener un paciente, lo mismo que se logra gracias a una secuencia ordenada de actividades clínicas, las mismas que empieza con un exámen minucioso ayudándonos de exámenes complementarios y auxiliares de diagnóstico como el caso de las radiografías intra y extraorales, los modelos de estudio, fotografías, etc. una vez analizado estos elementos, se podría llegar a un diagnóstico acertado y que pueda resolver las necesidades del paciente de manera eficaz y brindando un trabajo de calidad. (9)

5.1.1 Fases de la planificación

El proceso de planificación, según Rodríguez (1) comprende de 4 pasos importantes, los mismos que son:

5.1.1.1 Recogida de datos de paciente:

Es la primera fase de la planificación en donde el clínico pretende recoger la mayor cantidad de información que presenta el paciente a ser atendido en la consulta, en donde se observará cualquier alteración que tenga variación con la salud y normalidad de los tejidos, para que este proceso sea confiable, la información debe ser lo más veraz posible, es importante recolectar sus quejas o molestias además de lo que él espera del tratamiento a realizar. (1)

5.1.1.2 Interpretación de datos, así como objetivos y pronóstico del tratamiento

Es importante que los datos sean comprobados y confiables, asegurándonos mediante los auxiliares de diagnóstico, exámenes complementarios además de cuestionarios que ayuden a identificar la zona del problema.

Una vez realizada esta información se puede realizar una lista de problemas además de plantear los objetivos a los que pretendemos llegar con la finalidad de garantizar un tratamiento de calidad. (1)

5.1.1.3 Análisis de las opciones del tratamiento

La tercera fase se encarga del análisis de todas las posibles opciones de tratamiento que se pueden realizar en el paciente, así como las ventajas y desventajas que presentan los mismos en la cavidad oral además del sistema estomatognático, funcionalidad y estética. Se plantea un tratamiento ideal, así como tratamientos alternativos considerando la posición económica del paciente. (1)

5.1.1.4 Educación al paciente, así como presenta el plan de tratamiento y firma del consentimiento informado.

Una vez que realizado el paso anterior, se presenta el plan de tratamiento elegido al paciente al mismo tiempo que se proporciona todo tipo de información con el fin de aclarar las dudas que se presenten a lo largo del tratamiento, es importante que el paciente tenga conocimiento de todas las especialidades y subespecialidades que van a intervenir en la atención integral del mismo. (1)

5.2 Modelos de estudio

5.2.1 Convencionales

Los modelos de estudio se podrían definir como un registro exacto de la cavidad oral de un paciente a partir de una impresión en negativo de esta, este modelo puede ser construido a base de yeso como convencionalmente se ha realizado en la consulta y laboratorios odontológicos. (10) (11)

Los modelos de estudio son auxiliares de diagnóstico anatómo fisiológicos de las arcadas tanto superior como inferior, estos pueden ser dentados o desdentados según las características del paciente. Son bastante útiles ya que permiten el análisis de las estructuras de la cavidad oral en sus tres dimensiones, así como el estudio de la oclusión y relación entre los maxilares y dientes antagonistas. (12) (13).

5.2.2 Importancia de los modelos de estudio

Los modelos de estudio son importantes ya que brindan la posibilidad de observar la cavidad oral del paciente fuera de la misma y evaluarla en tres dimensiones. Los modelos de estudio, al ser una réplica exacta de la cavidad oral del paciente representan de una manera clara la anatomía y morfología dental, así como la forma de los arcos y sus respectivas curvas. (12) (13).

Con la ayuda de los modelos de diagnóstico se puede dar seguimiento a tratamientos, así como comparar el estado inicial con el final para así demostrar que ha existido un cambio notorio en la boca. (9) (14).

Sirven de complemento para el diagnóstico ya que gracias a estos se puede visualizar y medir espacios, lo que es muy útil para tratamientos de ortodoncia además que gracias a su montaje en el articulador permiten reproducir los movimientos articulares y observar las relaciones dentarias que existente entre los dientes. (9)

5.2.3 Obtención de modelos convencionales

Vélez Y botero (9), proporciona un protocolo completo para la obtención de modelos de estudio que tiene los siguientes pasos:

- 1) Tener listo los materiales que se van a utilizar para la obtención de la impresión primaria tales como: cera, alginato, agua, dosificadores, yeso, vibrador de yeso, cuchillo para yeso, lijas, espátula metálica y plástica.
- 2) Probar las cubetas disponibles en la boca del paciente, de preferencia que sean metálicas perforada para favorecer a su retención, verificar que las mismas lleguen en el maxilar superior hasta la tuberosidad del maxila y en la cubeta inferior hasta el triángulo retromolar.
- 3) Se puede colocar partes de cera base en los bordes de la cubeta con la finalidad de copiar frenillos y fondo de surco.
- 4) Ubicar al paciente de manera que este semisentado y se evite la producción de náuseas.
- 5) Mezclar el alginato o material de impresión según las indicaciones del fabricante y realizar la impresión de preferencia iniciando con la del maxilar inferior. Para esto el operador deberá ubicarse frente al paciente y colocar la parte anterior de la cubeta primero y después presionar los lados intentando que su posición sea paralela al plano de oclusión.
- 6) Revisar la impresión, su fidelidad y la usencia de irregularidades y burbujas.
- 7) Desinfectarla el tiempo recomendado según el tipo de material utilizado.
- 8) En una taza de caucho se procede a mezclar el agua y el yeso y se lo coloca en la cubeta con la impresión previamente obtenida, esto se lo realiza de manera progresiva y siempre colocando sobre el vibrador para eliminar cualquier tipo de burbujas o exceso de aire que presente el yeso.
- 9) Dejarlo secar y retirar la impresión de manera cuidadosa del yeso para evitar romperla.

- 10) Se elimina los excesos de yeso en la trimadora, de preferencia humedeciéndolos constantemente en agua.
- 11) Se lo puede colocar en zócalos o darle la forma de este con el yeso.

5.2.4 Digitalización de modelos

Este proceso consiste en la transferencia de la información obtenida físicamente mediante un modelo de yeso u otro material de vaciado o estructura de la cavidad oral directamente a un plano digital conservando sus dimensiones y características originales. (10)

La técnica de digitalización de manera general se basa en dos procesos fundamentales que son ejecutados por el instrumento utilizado para su creación ya sea un escáner o un acamar digital.

Según Flores (2) los procesos que suceden en esta técnica son principalmente dos:

- 1) **Muestreo:** es el proceso mediante el cual la imagen previamente obtenida se convierte en líneas y se descompone en su unidad básica que son los pixeles-
- 2) **Cuantificación:** El programa le otorga una numeración teniendo en cuenta el grado de luz y el color que presenten.

Una vez que el proceso se ha realizado exitosamente, la imagen obtenida ocupa espacio amplio en el ordenador por qué se hace necesario la compresión de estas a un formato más liviano como lo es el JPEG y el TIFF, siempre y cuando las características principales y relevantes de la estructura que estamos analizando sean conservados de la menor manera posible y que esta imagen sea útil para la planificación de tratamiento en el campo odontológico. (2)

Una vez digitalizado el modelo, en el ordenador es posible mirarlo a 360° además de la posibilidad de girarlo a voluntad permitiendo así un análisis a profundidad y detallado de las posibles opciones de tratamiento y como las mismas se ajustarán a las necesidades del paciente, facilitando el trabajo tanto al operador como al paciente al momento de toma una decisión.

El uso de esta relativamente nueva alternativa se está introduciendo en el área de la ortodoncia ya que presenta ventajas como el ahorro de tiempo de trabajo, almacenamiento fácil y seguro además de longevo, transferencia de los datos de manera rápida y sin complicaciones de un ordenador a otro sin alterar la integridad de este. (13) (14) (15).

Tabla 1 Comparación entre modelos convencionales de yeso y modelos digitales

Modelo de yeso	Modelo digital
Ventajas	
Bajo costo	Fácil reproducción
Fáciles de producir	Fácil almacenamiento

Se pueden montar fácilmente en articulador	No existe riesgo de fractura del material
	Mas exacto
Desventajas	
Difícil reproducción	Alto costo
Difícil almacenamiento: gran tamaño y peso	Proceso largo y complejo de producción
Riesgo de pérdida o fractura	No se pueden montar en el articulador
	Limitaciones del sistema en registrar dientes en erupción durante la etapa de dentición mixta

Extraída de: Vélez. Análisis de modelos (9)

5.3 Escáner oral

Son dispositivos ópticos diseñados inicialmente por el Dr. Werner Mörmann, introducidos en la década de los ochenta cuyo fin principal era la odontología restauradora. En la actualidad son ampliamente utilizados en el área médica y odontológica para la obtención de un objeto tridimensional (3D) de manera rápida y simple. (16)

Los escáneres están compuestos principalmente por dos elementos, un hardware o cámara manual, la misma que es la responsable de la obtención primaria de la imagen a través de la emisión de luz sobre la estructura que se quiere digitalizar y un software, aquí las imágenes transportadas son procesadas mediante la formación de una nube de puntos y la malla propiamente dicha que será sobre la cual se trabaje posteriormente. (17) (18)

Estos dispositivos se basan fundamentalmente en la triangulación de las imágenes obtenidas por el hardware, en este proceso cada punto obtenido deberá ubicarse en el espacio correspondiente, para esto es necesario definir una coordenada cartesiana (x, y o z) determinado así la distancia del objeto además de su posición. Posteriormente, para la creación de malla, cada punto obtenido deberá unirse con una línea recta de manera que se formen triángulos de diversos tamaños, dependiendo de la forma que tenga el modelo, mientras más grandes sean los triángulos, la superficie más plana es. (17)

Existen principalmente dos tipos de escáneres intraorales entre los que se mencionan a los siguientes:

In office: o escáneres directos, los mismos que como su nombre lo explica permite diseñar el tratamiento que se va a realizar en la consulta odontológica sin necesidad de depender de un laboratorio para la confección del mismo, entre los que se encuentran los sistemas CEREC AC, E4D Y Carestram. (16) (18)

Out office: o indirectos, son aquellos que contrario a los in office, depende un laboratorio para la confección de la restauración a realizar, mediante la exportación virtual del modelo u obtenido en consulta con el escáner. (16) (18)

Entre las principales ventajas que supone el uso de estos dispositivos están la de disminución del tiempo de trabajo, reduce la molestias ocasionadas al paciente además de representar un buen marketing a la hora de promocionar los tratamientos que se realizan en la consulta, pero los altos costos de los mismos hacen que no sea posible la planificación tridimensional en todos los consultorios odontológicos además de la dificultad de uso en etapas iniciales del aprendizaje, por lo que odontólogos se han visto en la necesidad de buscar alternativas más accesibles para la planificación. (16)

5.4 La fotogrametría

5.4.1 Definición

La fotogrametría, según Santamaria et al. (3) es definida como un método de obtención de una imagen o plano en 3D partiendo de múltiples fotografías de un objeto, mediante esta técnica se obtiene información confiable a cerca de su forma y dimensiones.

Por otro lado, la Sociedad Americana de Fotogrametría la define como “el arte, ciencia y tecnología de obtención de relieves de objetos físicos y el medio a través de procesos de registros, medidas e interpretación de imágenes fotográficas, patrones de energía radiante electromagnética y otros fenómenos”. (19)

5.4.2 Reseña histórica de la fotogrametría

La fotogrametría surge con el nacimiento de la fotografía convencional en 1816 en manos de Daeguere, el mismo que brindó las herramientas necesarias a François Arago para que a partir de este invento se aplique en el área topográfica, la misma que predomina en este tema: (19)

El coronel francés Aimé Laussedat, considerado como el padre de la fotogrametría, nombrándola inicialmente como metrofotografía fue el precursor de esta técnica mediante la creación de instrumentos especializados para realizar levantamientos fotogramétricos. (19)

En 1899 se redacta el primer escrito sobre fotogrametría en español, el mismo que llevaba por nombre Topografía Fotográfica, desarrollado por Iriarte y Navarro. En 1901 se abre un nuevo camino para este campo implementando la estereofotogrametría. (19)

A partir de 1913 con la celebración de primer congreso de fotogrametría, esta técnica ha ido evolucionando y mejorando para solucionar los problemas que van apareciendo con el pasar de los años y el avance de la tecnología, permitiendo mejorar y expandir sus aplicaciones no solo en el campo de la ingeniería civil si no en áreas alejadas del mismo como lo es la medicina, odontología, etc. (19)

5.4.3 Ventajas y desventajas de la fotogrametría

Ventajas

- Mediante las fotografías se puede obtener una representación a escala bastante confiable y completa del objeto a ser analizado
- Es un proceso rápido, que reduce el tiempo de trabajo.
- Su costo es relativamente bajo
- Los instrumentos y equipos se caracterizan por ser fáciles de manejar como es el caso de cámaras y programas digitales.
- El estudio del objeto posterior a la construcción del modelo en 3D, no altera el modelo u objeto a ser estudiado, y una vez digitalizado permite un sinnúmero de posibilidades de observación y análisis de las características del objeto. (20)

Desventajas

- Se debe realizar un estudio de campo con la finalidad de identificar las zonas que no permitirán una visualización satisfactoria.
- Una vez realizado el proceso es importante e indispensable que se realice una comparación del modelo convencional y el modelo 3d en la computadora.
- Si se requiere un nuevo levantamiento de información, es necesario que se realice la toma de nuevas fotografías y así repetir el procedimiento. (6)

5.4.4 Clasificación de la fotogrametría

La fotogrametría se puede dividir en dos grandes grupos siguiendo las siguientes características.

5.4.4.1 Instrumentos utilizados

- **Fotogrametría análoga:**

Utiliza fotografías convencionales directamente las mismas que los convierte en modelos estereoscópicos mediante levantamiento un manejo y recolección de información de manera manual con la ayuda de una a mesa trazadora para después construir un modelo espacial a partir de un restituidor óptico mecánico. (6) (21) (22)

- **Fotogrametría analítica**

Gracias a la aparición de las computadoras, la fotogrametría fue evolucionando y mediante este tipo de técnica, la imagen o fotograma se reconstruye gracias a softwares informáticos que le brindan las características geométricas al objeto en sí. La toma de información es

netamente análoga pero el modelado geométrico será producido por técnicas computacionales: (6) (21) (22)

- **Fotogrametría digital**

Con la evolución de las computadoras y programas informáticos, la fotogrametría se ha simplificado considerablemente además de la creación de objetos tridimensionales de manera automática. En este proceso las imágenes son ingresadas en el computador previamente digitalizadas y el operador deberá ingresar a demás puntos referenciales necesarios para que el proceso de orientación matemática se dé correctamente. El proceso de reconstrucción de las imágenes ingresadas en el sistema se realizará de una forma automática ya que se procede a la comparación y correlación de estas: (6) (21) (22)

5.4.4.2 Distancia del objeto

- **Fotogrametría espacial**

Este tipo de fotogrametría es realizada mediante los satélites espaciales, los mismos que realizan mediciones en imágenes captadas por el mismo. (23)

- **Fotogrametría aérea**

Utiliza fotografías tomadas, como su nombre lo explica desde una cámara que es aerotransportada por lo tanto el eje de captura de dicha imagen será vertical. (6)

- **Fotogrametría terrestre**

Más utilizada en arquitectura ya que los fotogramas son obtenidos en objetos conocidos dentro de la corteza terrestre y su ubicación siempre será horizontal al objeto que se va a capturar: (6) (21) (22)

- **Fotogrametría de objetos cercanos**

Este tipo de técnica de fotogrametría es la aplicada básicamente en campos más alejados a la arquitectura o topografía ya que se enfocan en la captura de objetos específicos que no se encuentran a una distancia considerable y se enfoca en la resolución de problemas muy centrados y definidos: (6) (21) (22)

Por lo mencionado anteriormente, este tipo de técnica es aplicada para estudios relacionados al campo de las ciencias de la salud, enfocándonos en protocolos odontológicos como el caso de la extracción de modelos digitales en 3d a partir de un modelo convencional de yeso.

5.4.5 Método general de la fotogrametría

La fotogrametría surge como una necesidad de obtención de modelos en tres dimensiones a partir de una imagen de dos, para que basándolos en las mismas se pueda obtener información acerca del tamaño, dimensión y posición del objeto. (24)

Como primer punto se realizan la toma de diversas fotografías sucesivas que varíen en cuanto a ángulos y posiciones con el fin de que se produzca una intersección. Conforme lo que expone Espín (24) quien cita a Von Gruber, se necesita como mínimo de 5 intersecciones.

Idealmente el operador deberá moverse alrededor del objeto que deseamos capturar formando círculos, es indispensable que el objeto no sea movido de su posición original caso contrario se producirán inconsistencias. El objetivo del mismo es crear por lo menos dos imágenes superpuestas con un total de 60-80%. Para obtener imágenes funcionales, es importante evitar sombras o áreas con poca iluminación acercando el objeto al lente de la cámara que lo está capturando. (25)

5.4.6 La fotogrametría en ciencias de la salud

En el campo de las ciencias de la salud, la fotogrametría ha ido introduciéndose especialmente para el seguimiento de tratamientos o a su vez planificación de estos. En los últimos años esta técnica ha sido adoptada por dermatólogos, oftalmólogos, traumatólogos y odontólogos. (16) (17)

En el área de oftalmología se ha usado la fotogrametría como método auxiliar diagnóstico, sirviendo para evaluar el nervio óptico en pacientes pediátricos. En un estudio realizado por Halina et al. Quien cita a Romano, después de un estudio exhaustivo in vivo de la afección del nervio óptico debido al subdesarrollo mismo, con el apoyo de Takamoto y Schartz, determinaron que la fotogrametría es una técnica útil para el diagnóstico de dicha patología ya que es capaz de estudiar y medir el grosor de las fibras nerviosas de la retina además de proponer esta técnica por sus resultados confiables y reproducibles. (21)

Los dermatólogos también han sido uno de los profesionales en el área de la salud que han incorporado a la fotogrametría como un método de diagnóstico en su consulta ya que después de diversos estudios desarrollados a nivel de la superficie de la piel puede ser una importante herramienta para el diagnóstico temprano de un tipo de cáncer de piel llamado melanoma ya que al producir una comparación de una piel sin afección o sana con una que presenta este cáncer, la textura de la misma se verá alterada. (21)

De igual manera en las ciencias forenses esta técnica ha sido aplicada para facilitar el análisis de estructuras afectadas para indagar sobre la posible causa de muerte, es útil en el estudio de marcas de mordeduras lo que facilita al odontólogo forense el reconocer las características del culpable ya que permite evaluar dirección, fuerza y velocidad de la lesión producida y

facilita la comparación de la misma con la posible arma homicida contribuyendo así a la resolución de un crimen. (21)

Salazar et al. (26), quienes utilizaron la técnica de fotogrametría para obtener una reconstrucción digital confiable del rostro de una paciente víctima de cáncer con la finalidad de crear una prótesis facial a base de silicona.

Otra aplicación el área médica es la que Sarahui de Jesús et al. (4) aplicaron en su investigación, los mismos que realizaron la reconstrucción de un corazón y segmentos triangulares del cuello conteniendo estructuras como el musculo esternocleidomastoideo con la finalidad de que sirva como una herramienta de estudio además de facilitar el diagnóstico médico gracias a la facilidad de manipulación y observación.

Fonseca, Fonseca, Pelliccioni y Pannacci. (27), en su estudio, usaron la fotogrametría con la finalidad de reconstruir el rostro de un niño con paladar hendido y labio leporino para de esta manera brindar mayor información en la historia clínica además de ayudar a dar un seguimiento completo al caso.

5.4.7 Fotogrametría en odontología

Las técnicas de planificación en odontología han ido evolucionando, tanto que, desde el punto de vista digital, se ha llegado a la confección de modelos en 3D gracias a escáneres intraorales, modelos de yeso, escaneo facial y la anterior mencionada fotogrametría. (22)

Para el diseño de un tratamiento ya sea restaurativo, ortodóntico o protésico, es indispensable que se estudie el diente en base a la relación que tiene en estructura y función con el sistema masticatorio, esto para que se pueda determinar la superficie de trabajo garantizando así la calidad necesaria para la preparación. (28)

El estudio convencional con modelos de yeso representaría, en comparación a esta técnica un retraso la planificación ya que se convierte en un procedimiento tedioso y que ocupará mucho más tiempo que el necesario, mientras que con la fotogrametría el procedimiento para obtener vistas de los diferentes ángulos del diente con respecto a la cavidad oral es más rápida y efectiva. (28)

Según Landwerlin et al. (22) Para la aplicación de esta técnica se utilizan dos pequeñas cámaras que capturan dos imágenes con un ligero desplazamiento para luego mediante la triangulación se pueda construir un modelo en tres dimensiones del objeto.

La reconstrucción del modelo mediante la fotogrametría se trata de encontrar las características que se interrelacionaban teniendo como base los pixeles de las distintas imágenes capturadas por las cámaras digitales. (28)

5.4.8 Programas utilizados para Fotogrametría

- **COLMAP**

Es un programa de fotogrametría de tipo aéreo de corto alcance que puede manejarse como se lo realiza con cualquier otro tipo de programa que posea una interfaz gráfica, este programa sigue los principios básicos de esta técnica permitiendo reconstruir un objeto en tres dimensiones a partir de un conjunto de fotografías captada a partir de una cámara o configuraciones estéreo facilitando la transformación de las imágenes obtenidas.

El programa trabaja con elementos tales como nube de puntos para la creación de una malla sencilla y rápida, para la creación de una malla refinada será indispensable trabajar con programas de complemento como Meshlab, el mismo que permite gestionar mallas grandes y desestructuradas, brindando herramientas para su edición, limpieza y reparación en caso de ser necesario.

El formato que ofrece los archivos que se trabajan en este programa son los de ply y vrm además de contar con licencia gratuita. (29)

- **Meshroom**

Es un software de código abierto desarrollado por AliceVision, que posee varios nodos para desarrollar de mejor manera el modelo 3D, estos nodos son configurados según las necesidades del creador ya sea de resolución o textura dependiendo el elemento a ser transformado, es un programa de fácil uso, que activa todos los pasos necesarios en un solo botón.

Es una aplicación de tipo aérea de corto alcance que brinda archivos en formatos tales como abc, obj, con licencia gratuita. (29) (30)

- **Regard 3D**

Es un programa basado en la fotogrametría cuyo enfoque principal es el de “structure from motion” lo que significa que es capaz de convertir una cierta cantidad de fotografías secuenciales tomadas desde diferentes ángulos de un objeto en específico en un modelo en tres dimensiones. (29) (30)

Es de tipo aéreo de corto alcance brindando formatos tales como obj y ply con licencia gratuita, a pesar de ello es un software muy completo y poderoso, dificultando un poco su manejo y configuración, al igual que la mayoría de los programas de este tipo se basa en el método de nube de puntos para crear una malla. Es recomendado para personas que no tienen mucha experiencia en el campo de fotogrametría. (29) (30)

- **3DF Zephyr**

Es un software profesional de fotogrametría que reconstruye automáticamente un objeto sin importar el instrumento utilizado para la obtención de la imagen, permitiendo exportar el resultado a diferentes formatos según la necesidad del operador, además de facilitar el trabajo en programas de modelado tipo CAD. En su programación se presentan asistentes que guían durante todo el proceso facultando a los principiantes tanto el uso como la configuración según las necesidades. El proceso inicial que brinda este software es automático siendo posible editar las configuraciones preestablecidas y añadir formas usando otras imágenes como referencia de manera que el resultado sea más preciso y realista. (29)

Este programa es de tipo aéreo de corto alcance brindando una gran variedad de formatos entre los que destacan ply,obj,fbx,pdf 3D, u3d,dae,pts,ptx,xyz,txt,las,e57, posee versión de licencia gratuita con limitación de 50 imágenes y versión de pago. (29) (30)

- **Agisoft Metashape**

Es uno de los mejores softwares independientes de fotogrametría cuyo principio es la captura de imágenes aéreas de corto alcance, procesándolas en datos que permitirán obtener un modelo en tres dimensiones sin importar la escala del mismo. Este software presenta características similares a la de los anteriormente mencionados, es amigable y de fácil uso para principiantes en fotogrametría, así cualquiera puede crear un objeto en tres dimensiones siguiendo los pasos que el este programa brinda ya sea con su configuración predeterminada o modificándola según las necesidades del operador. Este software al igual que los anteriores permite exportar el modelo en formatos como: ply, obj,fbx,pdf 3D, u3d, etc. Agisoft Metashape de acuerdo al tipo de computadora utilizada permite trabajar con un mínimo de 30 fotos y un máximo de 400 dependiendo del RAM que posea la máquina, lo que permitirá un mejor detalle a la hora de la construcción del objeto. (31)

5.4.9 Aplicaciones móviles de fotogrametría

- **Trnio**

Es una aplicación para dispositivos con un sistema operativo iOS, la que permite formar objetos 3D mediante la unión de distintas fotografías de un objeto mientras el operador camina alrededor de él, es capaz de capturas de des pequeños objetos hasta grandes entornos con un gran detalle y precisión, además que permite al usuario cargar fotografías desde el carrete y crear su modelo en tres dimensiones, el formato que permite exportar en esta aplicación es el de obj, si el operador desea transformar a otro es indispensable el uso de Meshlab. (32) (33)

- **Scandy Pro**

Aplicación para usuarios de sistema operativo iOS, que permite la captura de un objeto permitiendo una vista previa del mismo durante el proceso, trabaja con el método LiDAR la

misma que facilita este proceso brindándole más precisión y realismo. El operador deberá el teléfono de manera que no se produzca ningún movimiento, el objeto deberá ir girando para que de esta manera el lente de la cámara lo capte totalmente sin crear impresiones o interferencias. El resultado del escaneo se encuentra en formato STL y puede ser exportado a Meshmixer para realizar la edición o modificación necesaria, es de licencia gratuita. (32) (33)

- **Qlone**

Es una aplicación de escáner 3D disponible para sistema operativo iOS y Android que como ventaja principal está la captura de imagen en alta definición, que permite exportarla y editarla según las necesidades del operador. Es indispensable para seguir un proceso correcto se utilice una alfombra especial que fácilmente se la consigue en la web, este elemento facilitara la ubicación de la cámara del operador eliminando áreas que no serán necesaria al momento de crear el objeto en tres dimensiones, el resultado final está en formato OBJ o STL los mismos que se pueden exportar y facilitar la edición. Es de licencia gratuita y muy útil para personas que no tiene experiencia en este campo. (32) (33)

- **Heges**

Permite realizar modelos 3D de cualquier objeto mediante el uso de la cámara de un celular con sistema operativo iOS que cuenten con la tecnología de reconocimiento facial o LiDAR. El proceso es mediante la captura de la imagen de diferentes ángulos de preferencia con el objeto inmóvil y de manera lenta.

El creador recomienda realizar varios escaneos para aumentar la precisión y realismo del objeto. Debido a que presenta capacidad de escaneo infinito, se pueden capturar grandes espacios sin problema, el resultado final del objeto está en formatos como STL PLY, es de licencia gratuita y de fácil uso para principiantes. (32) (33)

CAPÍTULO III

6. METODOLOGÍA

6.1 Tipo de investigación:

El presente trabajo de investigación fue de tipo aplicada, descriptiva y observacional, de corte transversal.

6.2 Diseño de la investigación

El diseño del trabajo de investigación fue de tipo cualitativo y correlacional ya que se analizó la causa y efecto que presenta la creación de modelos 3d con fotogrametría para la planificación de tratamientos odontológicos.

6.3 Población de estudio

La población de estudio consistió en quince modelos de estudio obtenidos por profesionales en el área de odontología y mecánica dental, los mismos que fueron proporcionados por personal de clínicas odontológicas particulares como Dr. Cristian Guzmán y el laboratorio dental García, de los procedimientos realizados durante el segundo semestre del año 2022.

6.4 Muestra

Se seleccionaron quince modelos de estudio mediante una técnica de muestreo no probabilística por conveniencia.

6.5 Criterios de selección

- Modelos de estudio completos
- Modelos de estudio bien realizados, bien trimados y sin burbujas
- Modelos de estudio en buen estado, sin fracturas.
- Modelos de estudio dentados
- Modelos de estudio de pacientes adultos
- Modelos vaciados con yeso piedra, extraduro o de ortodoncia.
- Modelos con buen detalle de márgenes gingivales y dientes en buen estado

6.6 Entorno

Universidad nacional de Chimborazo y Laboratorio dental García.

6.7 Recursos

6.7.1 Materiales

Tabla 2 Bienes

Cantidad	Descripción	Precio	Total
1	Computador sistema operativo Intel CORE i7	\$800	\$800
1	Dispositivo de almacenamiento USB	\$10	\$10
1	Celular de gama media alta	\$800	\$800
3	Luces led	\$30	\$90
1	Trípodes para cámara o celular	\$50	\$50
1	Set de fotografiado realizado por el autor	\$10	\$10

6.7.2 Servicios

Tabla 3 Servicios

Descripción	Costo	Total
Internet	\$35	\$150
Software utilizado en fotogrametría Agisoft Metashape	Licencia gratuita \$ 0	Licencia gratuita \$ 0
Software de edición Meshmixer	\$0	\$0
Aplicación móvil para edición de fotografías PicsArt	\$5 al mes	\$35
Electricidad	\$20	\$100
Movilizaciones a los consultorios y laboratorios	\$10	\$50
Total	\$70	\$335

6.7.3 Humanos

Tabla 4 Humanos

Integrantes	Estudiante responsable: Madelyn Mesa
	Docente tutor: Dr. Xavier Salazar

6.8 Técnicas e instrumentos

La técnica que fue utilizada es este trabajo fue la observación, el instrumento el uso de cámara fotográfica de un teléfono celular de gama media alta iPhone 12, software de fotogrametría Agisoft Metashape de licencia gratuita y Meshmixer, para la edición del modelo tridimensional obtenido.

A demás para que este estudio pueda ser fácilmente reproducido se realizó la construcción de un protocolo que consta de las siguientes fases:

Etapa 1 preparación.

Se realiza la selección de los modelos a ser utilizados, de preferencia los más fieles a la anatomía del paciente, como recomendación modelos realizados a base de una impresión definitiva con silicona de adición y vaciados en yeso extraduro, obtenidos de diferentes laboratorios dentales. Se comienza con el diseño de un set de fotografiado con las características adecuadas para la captura de las fotografías, el mismo que debe constar de un trípode para colocar el smartphone o cámara con la que se va a realizar la captura, buena iluminación con dos lámparas brindando luz directa al modelo a ser capturado, evitando en lo posible luz natural eliminando sombras en el set que puedan alterar el proceso de digitalización, un fondo opaco de manera que el objeto resalte y un pedestal giratorio donde estará el modelo de estudio, además de una mesa donde se colocará el set.

Etapa 2 captura de las fotografías.

Con los materiales previamente colocados en la mesa de trabajo para la captura de fotografías, el trípode se coloca a 3 diferentes alturas empezando con 98 cm siguiendo con 92 y 82 respectivamente, set de fotografiado a 94 cm de altura y modelo a una altura de 90cm, colocamos el smartphone en el soporte de manera que la angulación vertical corresponda a la altura del trípode (tabla 1), permitiendo una visibilidad completa del objeto a capturar en cada posición, empezamos con la captura de fotografías de los distintos ángulos del objeto con una variación horizontal de 5-10° de manera que se produzcan al menos 40 capturas del objeto (figura 2), originando un mínimo de 20 intersecciones o cruces entre las fotografías, siendo un paso muy importante para que el software de fotogrametría reconozca la imagen y la ubique en espacio durante la confección de la nube de puntos. En cada altura se realizan un mínimo de 8 fotografías.

Tabla 5 Angulación vertical de la cámara

Altura en cm	Angulación vertical de la cámara
98 cm	-46°
92cm	-1°
82 cm	2°

Fuente: Elaborada por el Madelyn Mesa.



Imagen 1. Set de fotografiado

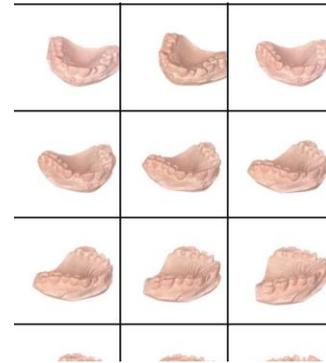


Imagen 2. Fotografías realizadas con la cámara a diferente angulación horizontal

Etapa 3 digitalización.

Una vez realizada la captura de las imágenes del modelo, se debe verificar que sean de buena calidad, es decir sin sombras, con una buena iluminación y angulación correcta según cada altura, el software no aceptará imágenes borrosas o distorsionadas. La imagen debe cubrir totalmente el objeto a ser reconstruido, es recomendable eliminar el fondo con un programa de edición asegurándose de no perder la calidad de las mismas. Una vez seleccionadas las fotografías según los criterios anteriormente mencionados se deberá exportar las imágenes desde el Smartphone (iPhone 12) a la computadora con el software de fotogrametría (Agisoft Metashape Standard) previamente instalado.

Al abrir el software se despliega una ventana con las opciones que necesitaremos a lo largo del proceso de digitalización, empezando en flujo de trabajo, eligiendo nuevo proyecto donde estará la opción de cargar las imágenes previamente seleccionadas, se continuará el proceso con la configuración predeterminada que nos ofrece el programa orientando las imágenes en 360°, en esta opción, las fotos que el programa aceptó se colocan de acuerdo a la posición en la que fueron capturadas con la cámara (Figura 4). Una vez cargadas, se creará una nube de puntos dispersa obteniendo un modelo de 3 dimensiones incipiente (Figura 5) ; completado este paso, el software procede a establecer la malla, la misma que es una representación poligonal utilizada para definir de mejor manera un objeto 3D, pudiendo estar formada por triángulos o cuadriláteros respectivamente (Figura 6), posteriormente se creará la textura finalizando con el proceso de fotogrametría restando únicamente exportar el modelo en los formatos OBJ, STL, VRLM, etc., según los requerimientos del profesional (Figura 7).

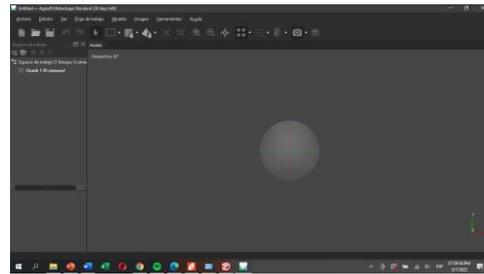


Imagen 3. Software de fotogrametría Agisoft Metashape

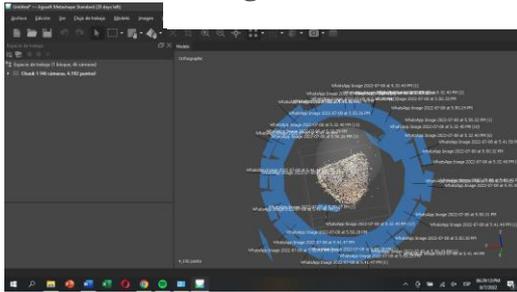


Imagen 4. Fotos orientadas en el software

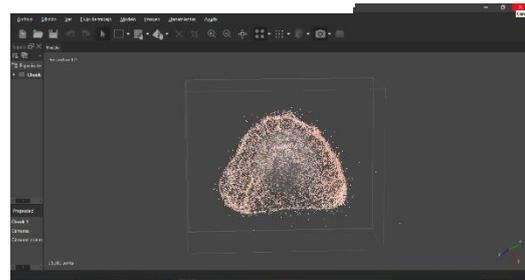


Imagen 5. Nube de puntos densa

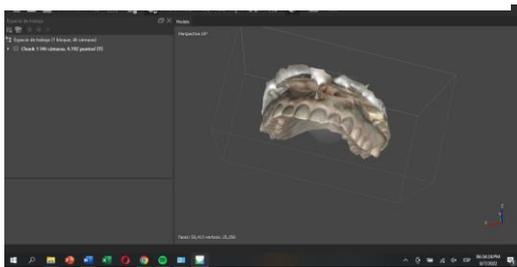


Imagen 6. Malla creada

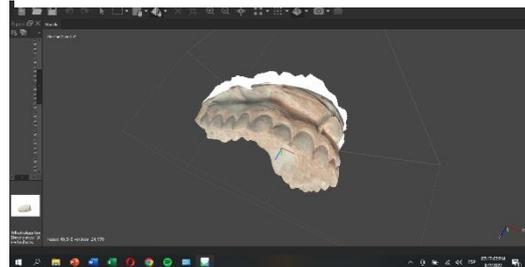


Imagen 7. Modelo finalizado



Imagen 9. Modelo inicial de yeso

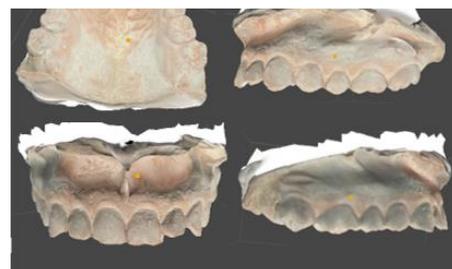


Imagen 8. Modelo 3D creado con Agisoft Metashape

Etapa 4 edición

Antes de exportar el objeto al software de edición y modelado es recomendable realizar correcciones previas en un programa llamado 3D Builder, el mismo que al ser un software de edición de modelos tridimensionales detectará las imperfecciones e irregularidades del objeto, las modificará para brindar más precisión, creando una base y cerrando el modelo por la parte superior facilitando el reconocimiento del objeto.

Como último paso se exporta el modelo corregido el programa de edición y modelado 3D Blender para de esta manera mejorar la malla obtenida, seleccionamos la opción modificadores, se desplegará una ventana con diferentes opciones para editar el objeto, se selecciona la opción de subdividir superficie y se incrementa el nivel según los requerimientos del operador, esta parte del proceso de edición permite dar más detalle al modelo obtenido ya que al aplicarla, el número y triángulos de la malla incrementara eliminando irregularidades y permitiendo obtener una superficie más lisa y precisa.

Una vez mejorada la malla de cada modelo, se procede al modelado del mismo, en este caso se optó por eliminar uno o dos dientes de los modelos simulando tratamientos de exodoncia a través del mismo software (Blender), seleccionando la opción esculpir, la misma que se encontrará en la parte superior de la ventana, donde se desplegará múltiples opciones de brochas o herramientas para la edición del modelo, para este trabajo se optó por la opción Draw (dibujar) seleccionando el modo sustraer, de esta manera cada parte del modelo en la que se haga clic se eliminará permitiendo de esta manera retirar el diente seleccionado y aplanar la zona ayudando a imitar de mejor manera la anatomía del reborde. Es recomendable trabajar con máscaras (Imagen 10), estas son herramientas que permiten seleccionar y delimitar la zona en la que se desea trabajar, protegiendo al resto del modelo de una edición inintencional que altere los demás dientes o estructuras anatómicas presentes.

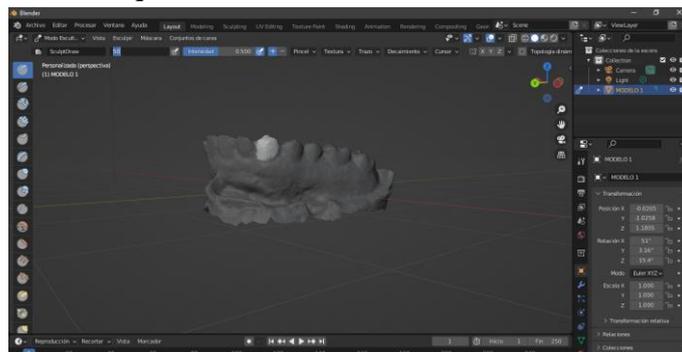


Imagen 10. Máscara colocada en el modelo 3D

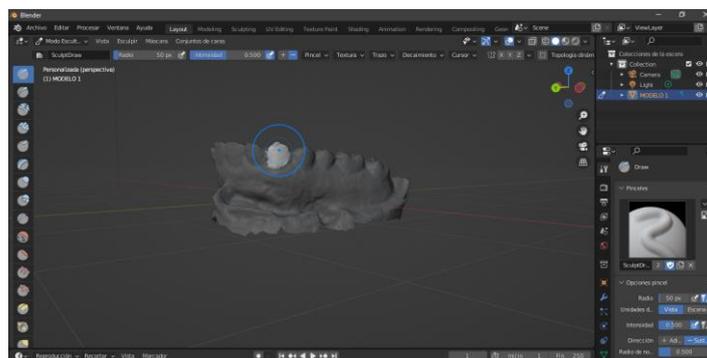


Imagen 11. Edición del modelo con la herramienta Draw

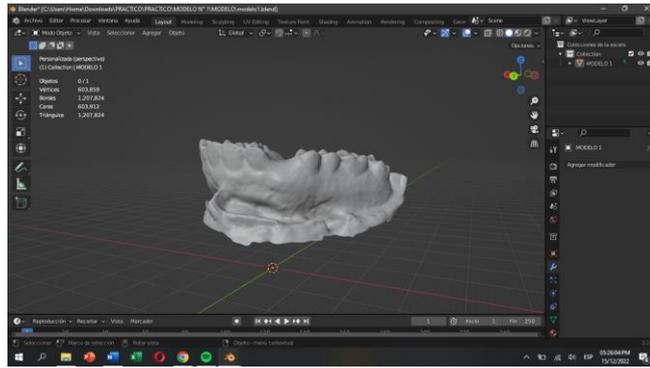


Imagen 12. Modelo editado

6.8.1 Operacionalización de Variables

6.8.1.1 Variable independiente

Tabla 6 La fotogrametría

Caracterización	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
La fotogrametría se ha utilizado para la obtención de modelos digitales en tres dimensiones en el campo del a odontología, permitiendo así evaluar las estructuras de una manera más detallada reuniendo características parecidas a las que proporcionan los escáneres intraorales a un menor costo y accesible	Fidelidad en reproducción de las características	Alta Media Baja	Observación	Cámara digital Programa de fotogrametría Agisoft Metashape

6.8.1.2 Variable dependiente

Tabla 7 Planificación de tratamientos odontológicos

Caracterización	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
-----------------	-----------	-----------	---------	-------------

<p>La planificación en odontología es un proceso importante para determinación de los planes diagnóstico que tiene cada paciente, debe ser individualizado y con el objetivo de garantizar un trabajo de calidad, sin embargo, es un proceso poco profundizado llegando a convertirse en un verdadero reto tanto para profesionales como estudiantes, por lo que se hace necesaria la implementación de nuevas tecnologías que faciliten el proceso.</p>	<p>Pronóstico de los tratamientos sometidos a planificación</p>	<p>Favorable Reservado Desfavorable</p>	<p>Observación</p>	<p>Fotografías Modelos digitales Modelos convencionales Exámenes complementarios</p>
--	---	---	--------------------	---

CAPÍTULO IV

7. RESULTADOS

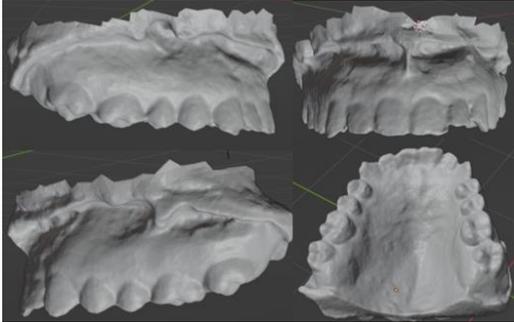
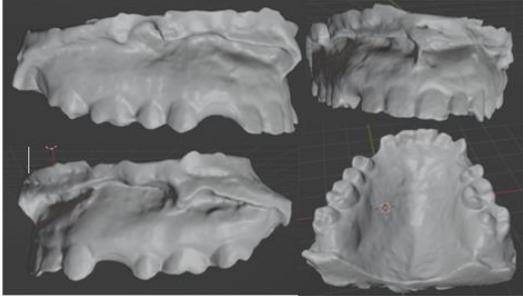
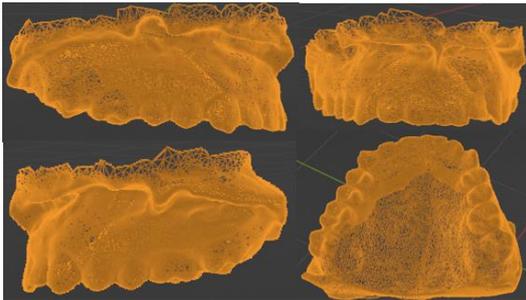
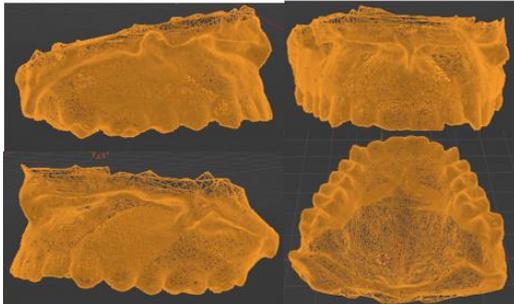
Se obtuvo un total de 15 modelos de yeso previamente seleccionados siguiendo los criterios de inclusión previamente expuestos en la metodología, los mismos que fueron preparados para la toma de fotografías capturando un promedio de 60 imágenes por cada uno, evidenciando características diferentes de acuerdo a la calidad y detalles de los modelos.

Inicialmente se realizó la toma de las fotografías con 2 diferentes alturas (98cm; 82 cm), logrando un modelo con poco detalle y malla deficiente, haciendo difícil diferenciar con claridad características anatómicas importantes como los márgenes gingivales o caras oclusales de los dientes anteriores y posteriores observándose irregular y de baja calidad por lo que para obtener un mejor resultado se optó por incluir una tercera altura para capturar mejor los detalles del modelo.

Con el incremento de una nueva altura (92cm) se logró obtener una malla mejorada, elevando el número de caras poligonales del objeto, mostrando modelos en 3 dimensiones con características mucho más claras y definidas, entre las que se puede destacar el frenillo labial, márgenes gingivales, cúspides y caras tanto vestibulares como palatinas de los dientes presentes, acrecentando su calidad además y similitud con el modelo de yeso utilizado para la reconstrucción digital

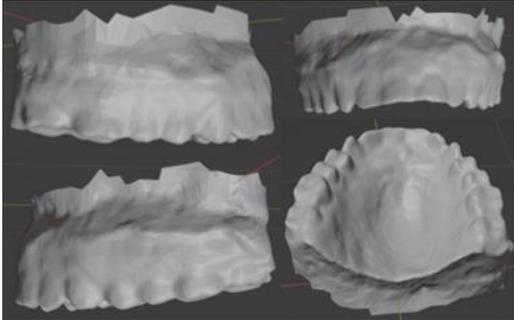
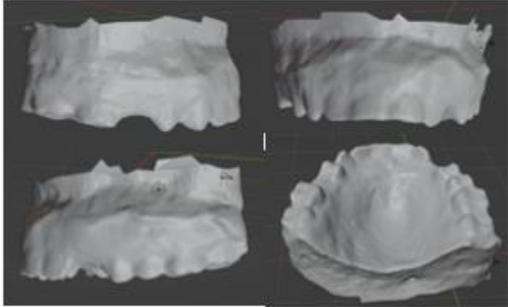
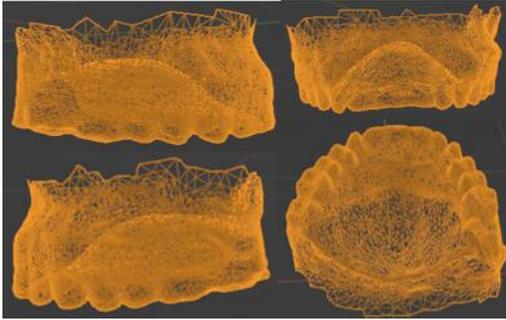
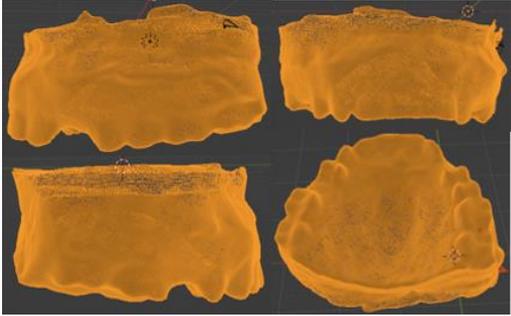
Inicialmente la malla obtenida fue mejorada individualmente de manera que el número de triángulos presentes en estas incrementó según el criterio del operador además, es necesario constatar que los puntos y caras de los modelos se encuentren en el espacio correspondiente, permitiendo elevar el detalle y fiabilidad de los modelos digitalizados, además de la eliminación de superficies irregulares que dificulten el reconocimiento del objeto reconstruido, este paso fue realizado según lo expuesto en la metodología gracias al software de edición Blender, el cual además de permitir mejorar la malla tiene herramientas para la edición y modelado, lo que permite simular tratamientos como exodoncias, restauraciones, carillas, etc. Cada modelo presentado a continuación posee al menos un diente eliminado por dicho software con la finalidad de simular tratamientos de exodoncia realizados.

Tabla 8 Modelo 1

Modelo N° 1		
N° de Fotografías capturadas	82cm	16
	92cm	12
	98cm	18
	Total	46
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 13. Modelo sólido #1		Imagen 15. Modelo sólido #1
		
Imagen 14. Malla mejorada, modelo #1		Imagen 16. Malla mejorada, modelo #1
		
N° de triángulos de la malla		
49 848		1 207 824

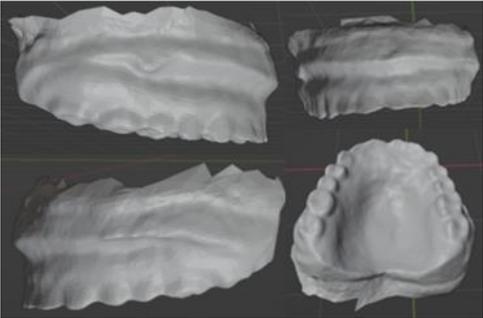
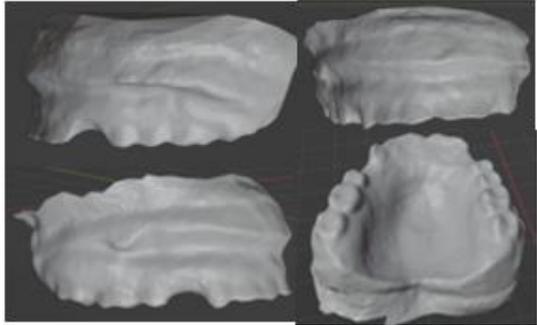
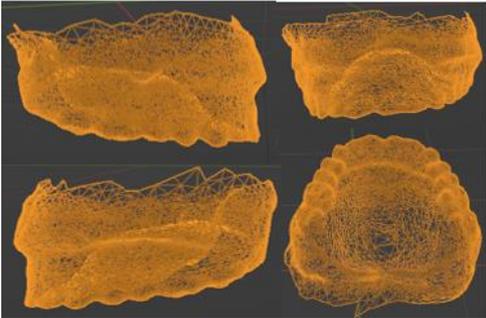
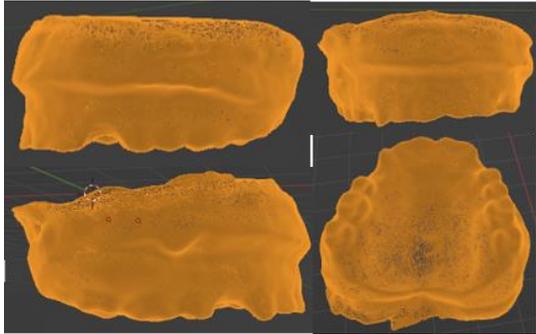
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 9 Modelo 2

Modelo N° 2		
N° de Fotografías capturadas	82cm	13
	92cm	13
	98cm	13
	Total	39
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 17. Modelo sólido #2		Imagen 19. Modelo sólido #2
		
Imagen 18. Malla mejorada, modelo #2		Imagen 20. Malla mejorada, modelo #2
		
N° de triángulos de la malla		
14 877		1 207 824

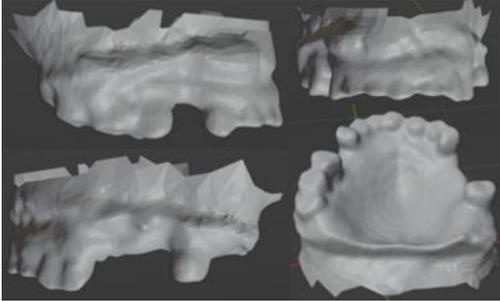
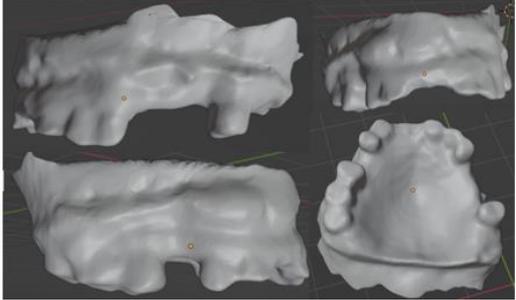
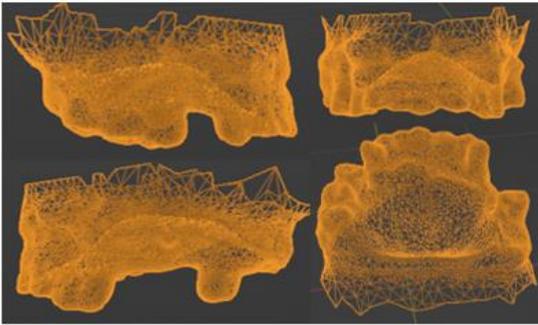
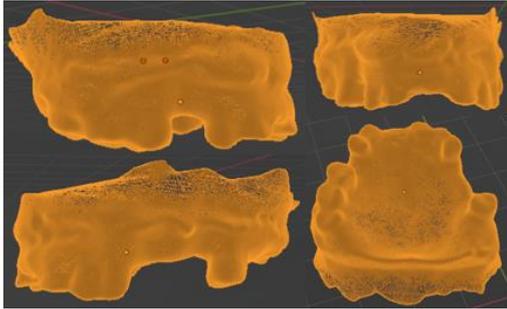
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 10 Modelo 3

Modelo N° 3		
N° de Fotografías capturadas	82cm	24
	92cm	20
	98cm	15
	Total	59
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 21. Modelo sólido #3		Imagen 23. Modelo sólido #3
		
Imagen 22. Malla mejorada, modelo #3		Imagen 24. Malla mejorada, modelo #3
		
N° de triángulos de la malla		
12 273		300 240

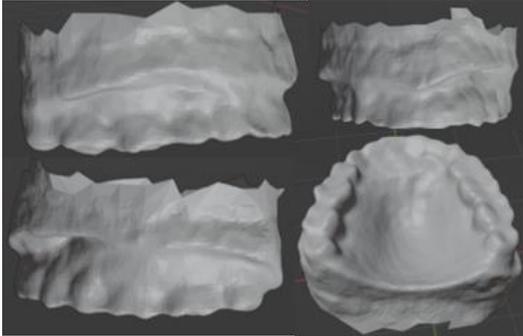
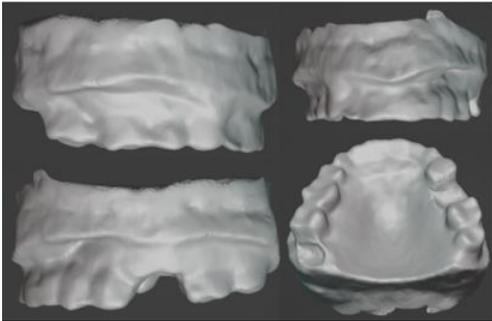
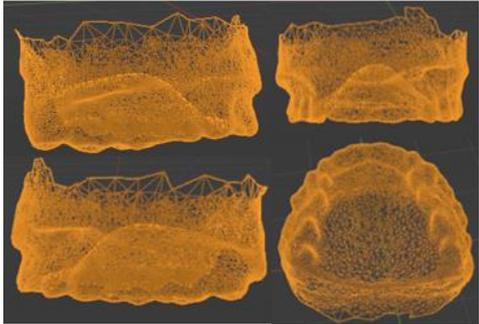
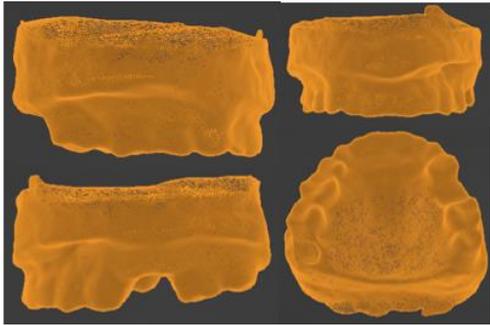
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 11 Modelo 4

Modelo N° 4		
N° de Fotografías capturadas	82cm	14
	92cm	28
	98cm	15
	Total	57
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 25. Modelo sólido #4 		Imagen 27. Modelo sólido #4 
Imagen 26. Malla mejorada, modelo #4 		Imagen 28. Malla mejorada, modelo #4 
N° de triángulos de la malla		
10 947		266 496

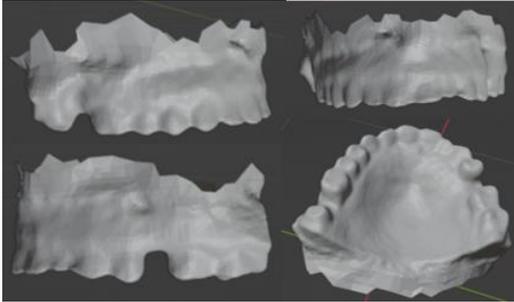
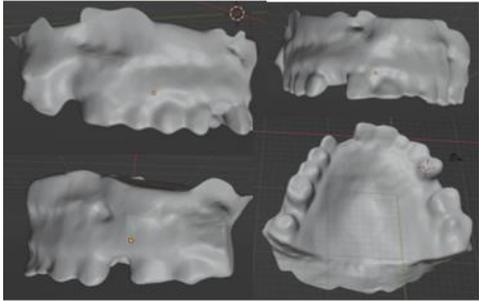
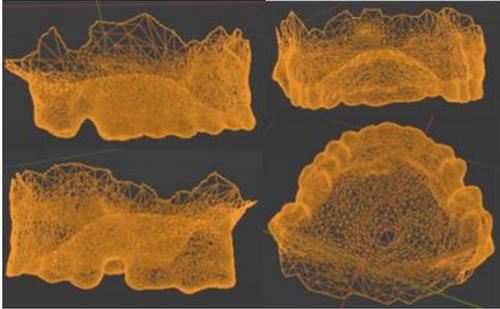
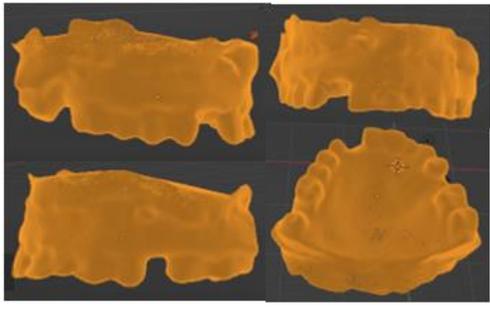
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 12 Modelo 5

Modelo N° 5		
N° de Fotografías capturadas	82cm	17
	92cm	19
	98cm	19
	Total	65
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 29. Modelo sólido #5		Imagen 31. Modelo sólido #5
		
Imagen 30. Malla mejorada, modelo #5		Imagen 32. Malla mejorada, modelo #5
		
N° de triángulos de la malla		
11 759		285 792

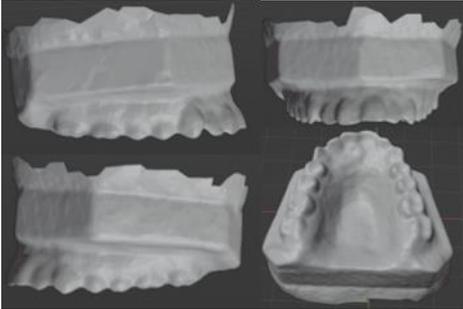
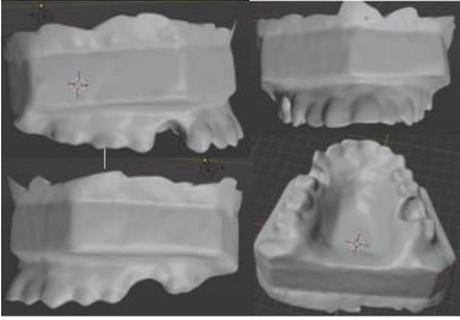
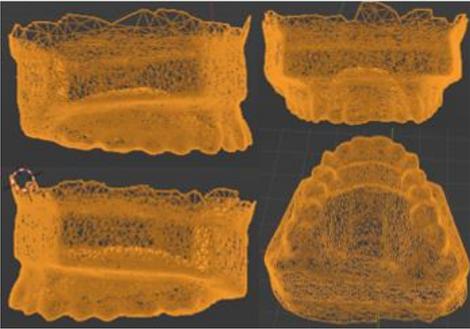
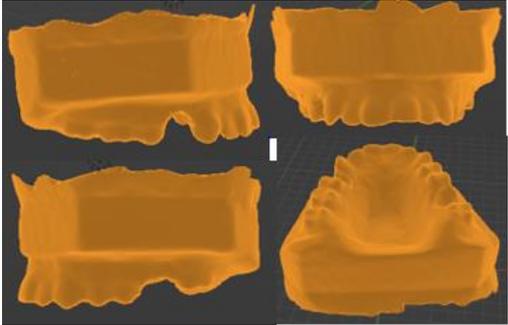
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 13 Modelo 6

Modelo N° 6		
N° de Fotografías capturadas	82cm	26
	92cm	16
	98cm	14
	Total	56
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 33. Modelo sólido #6		Imagen 35. Modelo sólido #6
		
Imagen 34. Malla mejorada, modelo #6		Imagen 36. Malla mejorada, modelo #6
		
N° de triángulos de la malla		
9 941		990 144

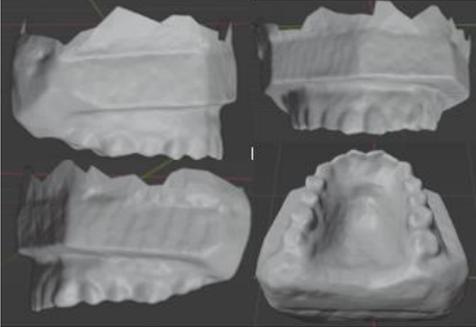
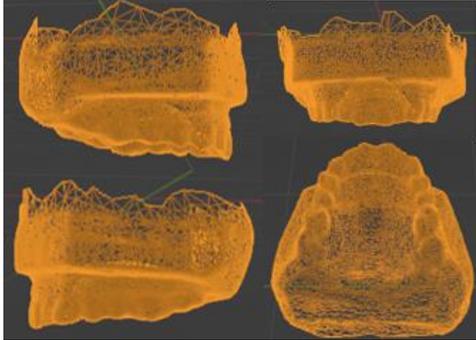
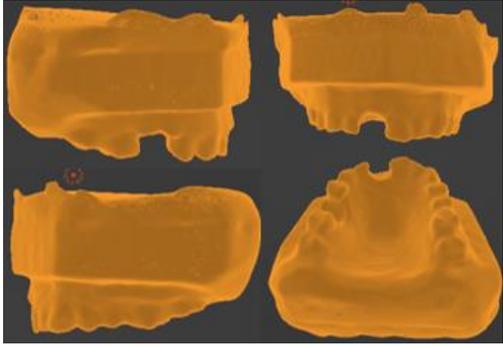
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 14 Modelo 7

Modelo N° 7		
N° de Fotografías capturadas	82cm	25
	92cm	21
	98cm	19
	Total	65
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 37. Modelo sólido #7		Imagen 39. Modelo sólido #7
		
Imagen 38. Malla mejorada, modelo #7		Imagen 40. Malla mejorada, modelo #7
		
N° de triángulos de la malla		
13 712		5 342 208

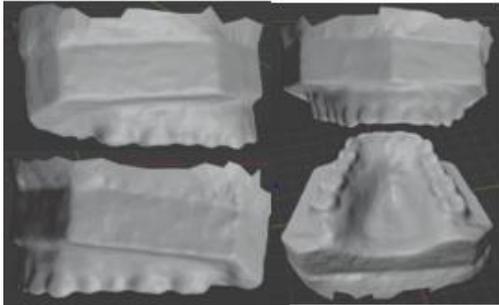
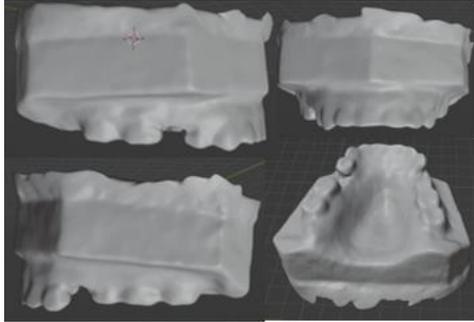
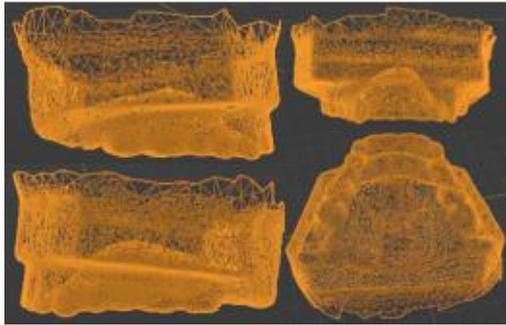
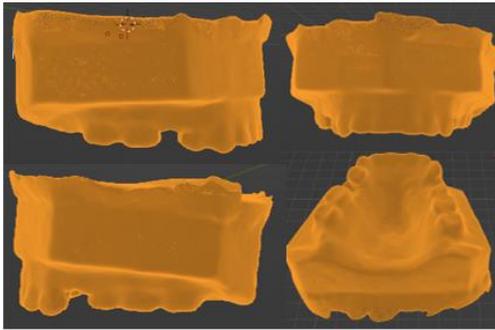
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 15 Modelo 8

Modelo N° 8		
N° de Fotografías capturadas	82cm	20
	92cm	30
	98cm	16
	Total	66
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 41. Modelo sólido #8		Imagen 43. Modelo sólido #8
		
Imagen 42. Malla mejorada, modelo #8		Imagen 44. Malla mejorada, modelo #8
		
N° de triángulos de la malla		
12 877		1 252 992

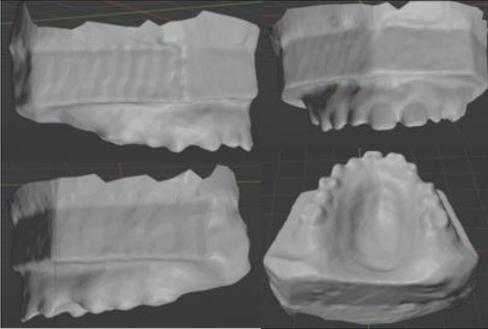
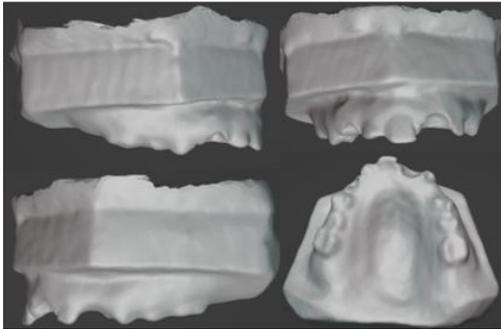
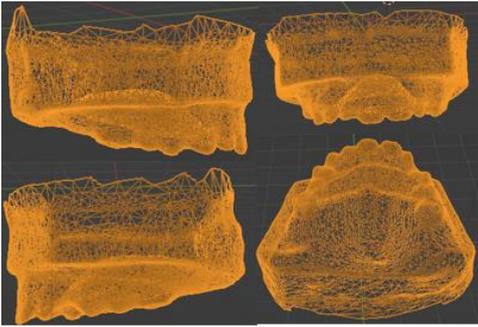
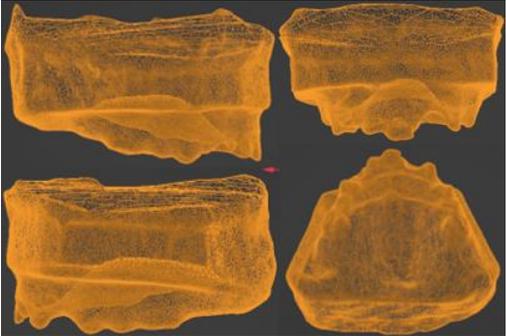
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 16 Modelo 9

Modelo N° 9		
N° de Fotografías capturadas	82cm	24
	92cm	30
	98cm	16
	Total	70
Modelo 3D Inicial	Modelo mejorado y editado	
Imagen 45. Modelo sólido #9	Imagen 47. Modelo sólido #9	
		
Imagen 46. Malla mejorada, modelo #9	Imagen 48. Malla mejorada, modelo #9	
		
N° de triángulos de la malla		
12 494	1 212 096	

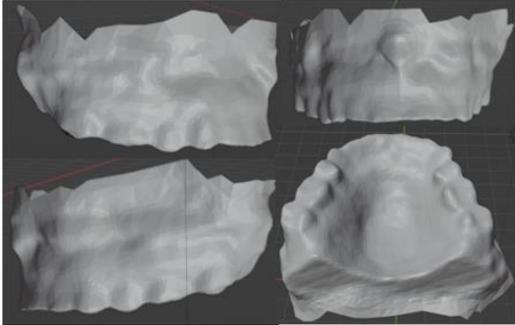
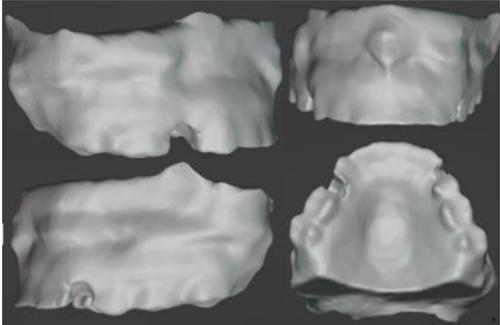
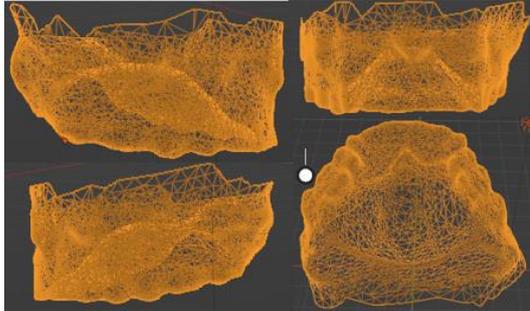
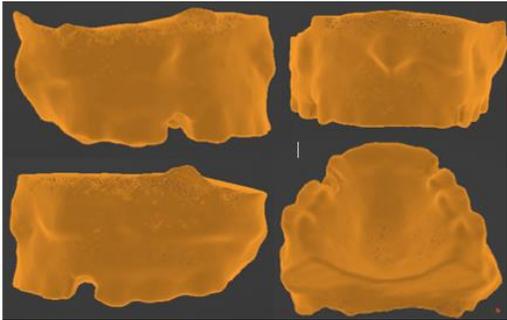
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 17 Modelo 10

Modelo N° 10		
N° de Fotografías capturadas	82cm	18
	92cm	17
	98cm	16
	Total	51
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 49. Modelo sólido #10		Imagen 51. Modelo sólido #10
		
Imagen 50. Malla mejorada, modelo #10		Imagen 52. Malla mejorada, modelo #10
		
N° de triángulos de la malla		
12 052		73 152

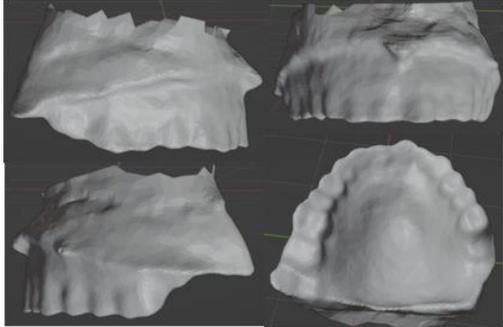
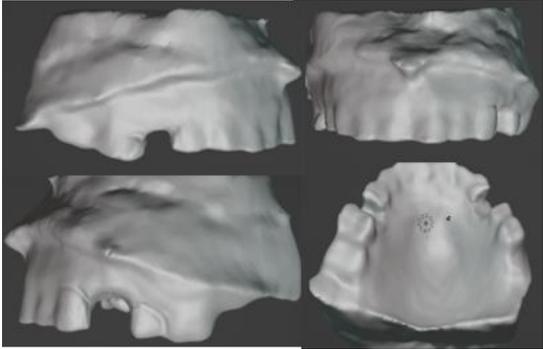
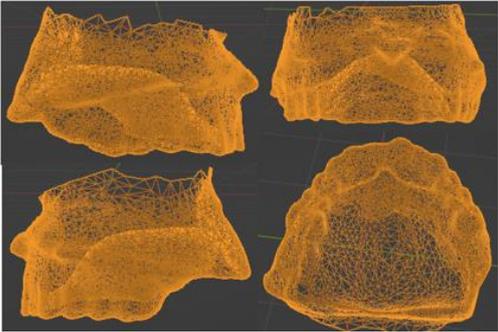
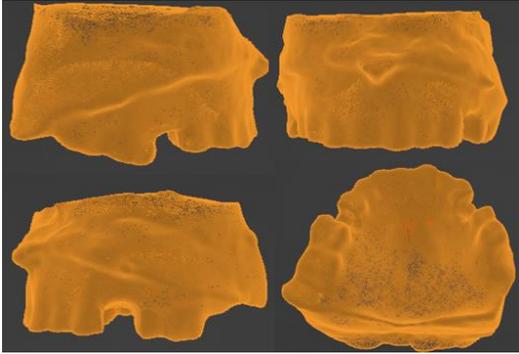
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 18 Modelo 11

Modelo N° 11		
N° de Fotografías capturadas	82cm	21
	92cm	27
	98cm	16
	Total	64
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 53. Modelo sólido #11		Imagen 55. Modelo sólido #11
		
Imagen 54. Malla mejorada, modelo #11		Imagen 56. Malla mejorada, modelo #11
		
N° de triángulos de la malla		
8 460		825 792

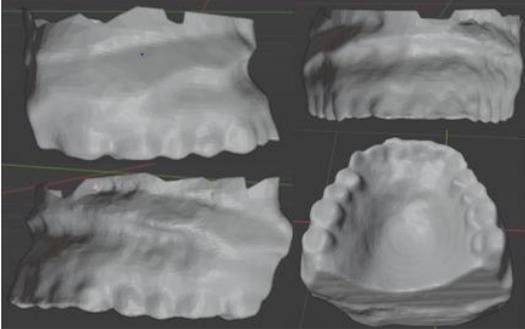
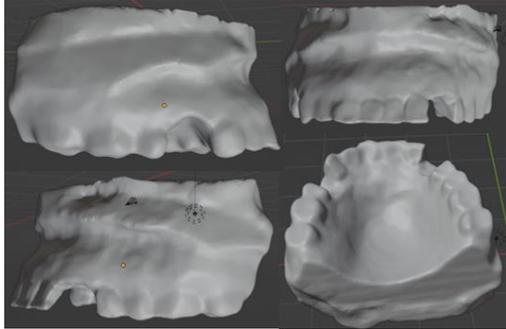
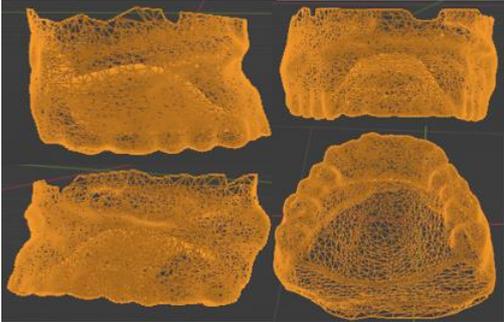
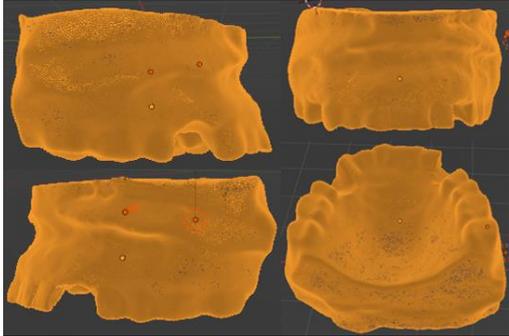
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 19 Modelo 12

Modelo N° 12		
N° de Fotografías capturadas	82cm	18
	92cm	27
	98cm	28
	Total	73
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 57. Modelo sólido #12		Imagen 59. Modelo sólido #12
		
Imagen 58. Malla mejorada, modelo #12		Imagen 60. Malla mejorada, modelo #12
		
N° de triángulos de la malla		
11 154		260 808

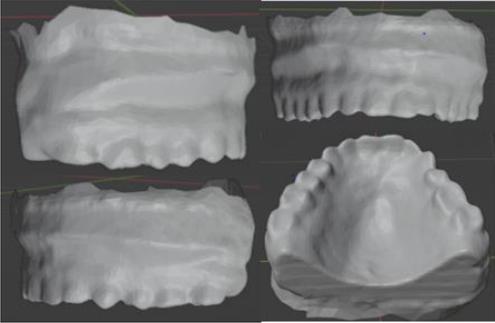
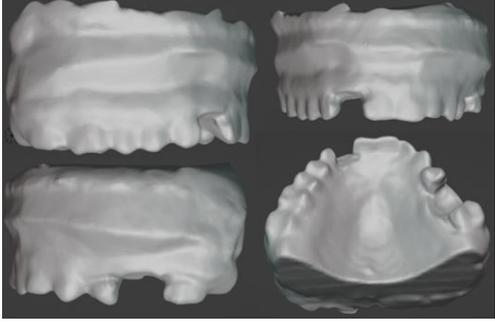
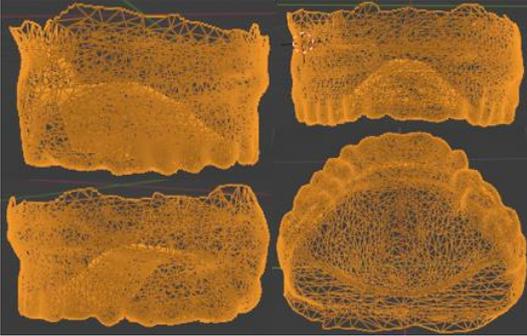
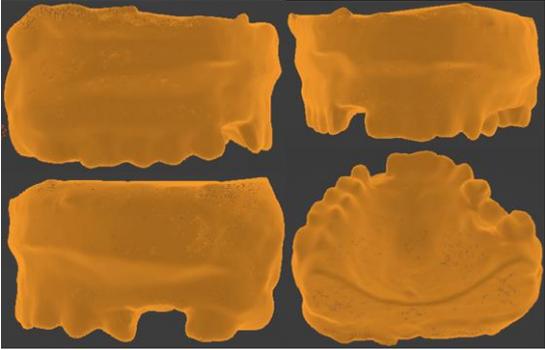
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 20 Modelo 13

Modelo N° 13		
N° de Fotografías capturadas	82cm	24
	92cm	30
	98cm	15
	Total	69
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 61. Modelo sólido #13		Imagen 63. Modelo sólido #13
		
Imagen 62. Malla mejorada, modelo #13		Imagen 64. Malla mejorada, modelo #13
		
N° de triángulos de la malla		
11 228		273 552

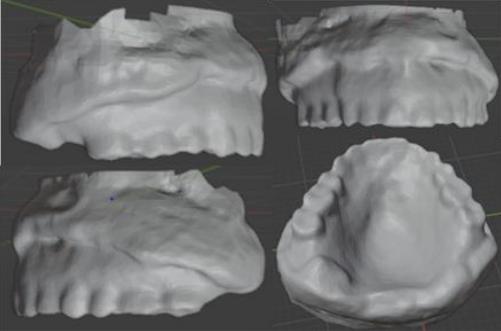
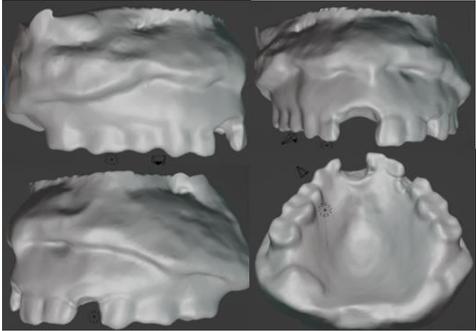
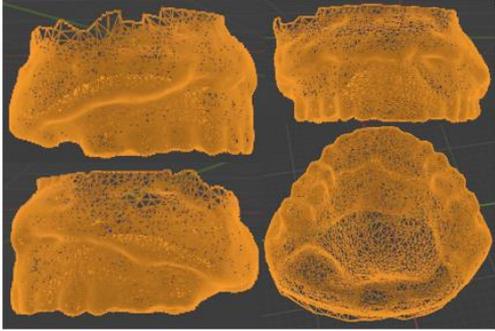
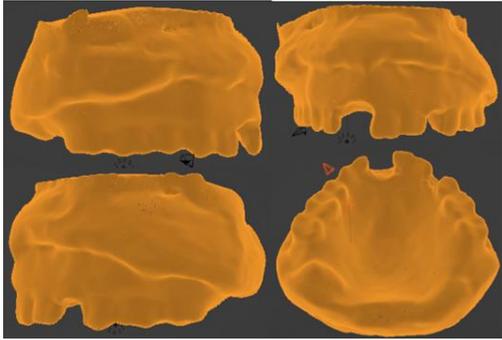
Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 21 Modelo 14

Modelo N° 14		
N° de Fotografías capturadas	82cm	26
	92cm	21
	98cm	16
	Total	63
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 65. Modelo sólido #14		Imagen 67. Modelo sólido #14
		
Imagen 66. Malla mejorada, modelo #14		Imagen 68. Malla mejorada, modelo #14
		
N° de triángulos de la malla		
9 878		956 352

Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

Tabla 22 Modelo 15

Modelo N° 15		
N° de Fotografías capturadas	82cm	26
	92cm	21
	98cm	20
	Total	67
Modelo 3D Inicial		Modelo mejorado y editado
Imagen 69. Modelo sólido #15		Imagen 71. Modelo sólido #15
		
Imagen 70. Malla mejorada, modelo #15		Imagen 72. Malla mejorada, modelo #15
		
N° de triángulos de la malla		
13 583		1 319 808

Fuente: Elaborada por Madelyn Mesa

8. DISCUSIÓN

Hoy en día la planificación odontológica consiste un elemento fundamental a la hora de elegir el tratamiento ideal para cada paciente, sin embargo, según lo expuesto por Rodrigues (1) muchos profesionales omiten este paso debido a diversas razones como lo son la falta de información, escasez de recursos o simplemente no le dan la importancia necesaria, lo que hace que la mayoría de las veces los tratamientos realizados sean netamente intuitivos fundamentados en la exploración clínica.

Actualmente la tecnología ha hecho que tanto la proyección como la realización de tratamientos odontológicos se simplifiquen brindando opciones tales como la planificación digital con escáneres orales que según lo expuesto por Gonzales (16) han sido recientemente implementados en el área médica y odontológica con el fin de obtener un modelo tridimensional de manera fácil y rápida.

Según lo expuesto por Mallado (17) y Pazmiño (18), estos dispositivos compuestos por un hardware (cámara) y un software de reconstrucción a través de un haz de luz digitalizan el objeto que el operador necesite ya sean arcadas dentarias, área facial del paciente, tejidos u órganos mediante la triangulación, disminuyendo en gran parte el tiempo invertido y permitiendo al operador evaluar una infinidad de opciones a la hora de seleccionar el tratamiento a realizar, no obstante los altos costos de los escáneres son la principal desventaja provocando que los profesionales continúen con alternativas tradicionales como los modelos de estudio en yeso, radiografías y fotografías, limitando las opciones del mismo cerrándole la puerta a la tecnología que poco a poco está tomando protagonismo en la odontología moderna. (16)

Una alternativa poco conocida a los reconocidos escáneres que se describe en el presente trabajo es la fotogrametría, la misma que permite obtener un modelo tridimensional de manera fácil, con una representación confiable y sin alterar el objeto inicial, con instrumentos al alcance de cualquier profesional de la salud como una cámara fotográfica un ordenador a través de un software. Según lo expuesto por Santamaría et al. (3) y Espín (24), la fotogrametría es una técnica que fundamentada en la captura de múltiples fotografías de un objeto en diferentes angulaciones, alturas y posiciones de manera que se produzcan un mínimo de 5 puntos de intersección en las mismas, con la finalidad de que el software utilizado para la reconstrucción las ubique en la posición que corresponde y mediante la triangulación se cree una malla del modelo representado.

En el presente trabajo investigativo se obtuvo fotografías capturadas en 3 alturas, 82cm, 92 cm y 98 cm respectivamente coincidiendo con Salazar et al (26). El mismo que en sus diversos trabajos al utilizar una técnica similar a la aplicada en el presente refiere que se puede conseguir excelentes resultados capturando fotografías con 3 alturas diferentes logrando un modelo en el que se pueda diferenciar características anatómicas básicas útiles para planificación de sus tratamientos y la confección de prótesis faciales.

El objeto utilizado para la reconstrucción en este caso fue colocado sobre una base giratoria para facilitar la captura de imágenes permaneciendo inmóvil tanto el operador como la cámara fotográfica, difiriendo ampliamente con la técnica aplicada por Fonseca, Pelliccioni y Pannacci (27) y Salazar et al. (26) los mismos que coinciden en un protocolo en el que el objeto permanece inmóvil siendo el operador junto con la cámara fotográfica los que realizan los movimientos alrededor del mismo obteniendo las imágenes con una variación horizontal de 5° de manera que se capture la totalidad de ángulos y caras del mismo; la similitud de sus investigaciones es principalmente el objeto, ya que en estas, se utiliza a una persona como base para la reconstrucción, teniendo como finalidad la obtención de un modelo 3D de su rostro, facilitando la captura de detalles debido al contraste que existe en dichas superficies. Sin embargo, al utilizar a un modelo de estudio en yeso dadas sus características como tamaño, coloración y contraste, en este estudio se optó por realizar la captura de las imágenes con una cámara fija siendo el modelo el que produce el movimiento obteniendo mayor detalle y similitud en el mismo.

Un modelo obtenido a través de la fotogrametría no podría ser mayormente comparado con uno obtenido conseguido un escáner intraoral ya que las diferencias existentes entre los estos son diversas, teniendo entre las principales: la calidad del objeto 3D debido a que posee una malla mucho más detallada así como el tiempo utilizado para la obtención del mismo, siendo el escáner más eficaz prescindiendo de pasos como la confección de un modelo de estudio, eliminando errores como la contracción de los materiales de impresión o alteraciones al momento del vaciado (34) ; sin embargo, la fotogrametría representa un gran paso para iniciar con la planificación digital principalmente en estudiantes de odontología, o cualquier otra rama de las ciencias de la salud, brindando un cuerpo tridimensional como características básicas necesarias para un análisis correcto de la cavidad oral de un individuo, el mismo que puede ser utilizado para confección de tratamientos protésicos e incluso estéticos.

CAPÍTULO V

9. CONCLUSIONES

El presente trabajo investigativo ha permitido demostrar que la fotogrametría es una técnica utilizada para la obtención de modelos tridimensionales mediante objetos accesibles y de fácil uso para el operador, la misma que se basa en la toma de fotografías en distintas angulaciones y alturas de un objeto, permitiendo obtener una representación confiable del tamaño, dimensiones y posición del mismo con un nivel de distorsión bajo ligado principalmente a la calidad de las fotografías capturadas, siendo útil para la reconstrucción de objetos de distintos tamaños.

Se determinó que la fotogrametría a pesar de ser especialmente aplicada en arqueología, o arquitectura, en la actualidad está siendo introducida en ciencias aplicadas en la salud como medicina y odontología ya sea para la realización de tratamientos, seguimiento de casos o para obtener la representación confiable de una estructura para el estudio de anatomía y facilitar el diagnóstico de patologías, esta técnica puede ser utilizada en odontología para la planificación de tratamientos protésicos, estéticos e inclusive servir de apoyo para cirugías guiadas para la colocación de implantes.

Es importante tomar en cuenta que para realizar un correcto proceso de fotogrametría es necesario contar con un espacio previamente designado con este propósito el mismo que debe constar de buena iluminación, para de esta manera capturar todas las características importantes de manera que el software le sea posible reconocer las imágenes y posicionarlas en el lugar que fueron capturadas previamente ya que el éxito de este proceso dependerá directamente de la calidad de las imágenes capturadas mas no de la cantidad de las mismas.

Gracias a la realización de este trabajo investigativo se concluye que la fotogrametría permite la obtención d un modelo tridimensional con elementos de fácil acceso como un smartphone y softwares de uso libre de fotogrametría, edición y modelado, brindando un modelo con una malla de mediana calidad que permite la observación de estructuras anatómicas importantes, impulsando a que estudiantes y profesionales se introduzcan en el campo de la planificación digital, disminuyendo el tiempo de trabajo en consulta y sirviendo de auxiliar a la hora de proyectar de mejor manera las opciones de tratamiento al paciente.

10. RECOMENDACIONES

El presente trabajo investigativo, al a ser un proyecto ambicioso e innovador, puede motivar a que futuros estudiantes realicen mejoras en el mismo ya que es un tema poco conocido y aplicado, por lo tanto, es recomendable que existan más opciones que mejoren el protocolo de captura y reconstrucción planteado, de manera que disminuya el tiempo e incremente la calidad de los modelos obtenidos.

Otra recomendación importante es contar con un set de fotografiado que contraste con el objeto a ser reconstruido de manera que se pueda capturar de mejor manera los rasgos del objeto, por lo que es importante también que el modelo muestre todas las características que deseamos reproducir para lo cual se recomienda la utilización de modelos obtenidos con una técnica de impresión con silicona de adición y vaciados en yeso extra duro o yeso de ortodoncia, mismos que guardan mayor fidelidad al momento de realizar el vaciado.

11. SE RECOMIENDA MOTIVAR A DOCENTES Y ESTUDIANTES A APLICAR NUEVOS AUXILIARES PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN DE TRATAMIENTOS UTILIZANDO MEDIOS TECNOLÓGICOS E INNOVADORES DE FÁCIL ACCESO COMO EL EXPUESTO EN ESTA INVESTIGACIÓN YA QUE DE ESTA MANERA SE LOGRA FOMENTAR EL INTERÉS EN EL MUNDO DE LA ODONTOLOGÍA DIGITAL, LA MISMA QUE ESTÁ TOMANDO GRAN RELEVANCIA EN LA ACTUALIDAD.

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Rodrigues A. Treatment Planning in Restorative Dentistry and Implant Prosthodontics. En Treatment Planning in Restorative Dentistry and Implant Prosthodontics. Estados Unidos de America; 2020.
2. Flores S. Analisis de Bolton utilizando un metodo de medicion digital y el metodo de medicion manual. En Analisis de Bolton utilizando un metodo de medicion digital y el metodo de medicion manual. Lima; 2010. p. 43.
3. Santamaria, Jacinto; Sanz, Teofilo. La Fotogrametria. En Fundamentos de fotogrametria. Rioja; 2005. p. 9.
4. Saharahui A. Fotogrametría: cómo crear modelos tridimensionales de bajo costo, con características realistas y fácil manipulación, para su uso en la enseñanza y el diagnóstico médico. Investigación en Educación Médica. 2019;; p. 101-106.
5. Negrillo CM. Gaceta Dental. [Online]; 2018. Acceso 1 de Marzode 2021. Disponible en: <https://gacetadental.com/2018/04/el-impacto-de-la-planificacion-digital-de-la-sonrisa-en-odontologia-71831/>.
6. Jauregui L. Introducción a la Fotogrametría. [Online]. Acceso 1 de Marzo de 2021. Disponible en:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Fotogrametr%EDa/CAPITULO1.pdf>.

7. Cheli AE. Introduccion a la especialidad. En Introduccion a la fotogrametrís y su evolucion.; 2011. p. 15-24.
8. Zhunio CPV. Digitalización Aplicada en Prótesis Dental: Revisión Sistemática de la Literatura. En Coronel CGA.. Cuenca; 2019. p. 15-17.
9. Velez N. Análisis de modelos. En Manual de historia clínica odontológica del escolar. 3rd ed. Colombia; 2016. p. 195-262.
- 10 Abdo D. En Uso de la digitalización de modelos de estudio dentales con fines . ortodonticos. Riobamba; 2020. p. 19-40.
- 11 Williams, Acosta, Meneses. Modelos de estudio. En Manual de procedimientos de . Laboratorio en ortodoncia.; 2017. p. 4-7.
- 12 Pinos A. Modelos de Estudio. En Diagnostico de modelos de yeso vs digitales: . Exactitud y fiabilidad en la comparacion del analisis de bolton y sus mediciones correpondientes. Cuenca; 2015. p. 26-37.
- 13 Jebb. Analisis de modelos. En Jebb.; 2003. p. 1-7.
.
- 14 Pacori E. Modelos digitales: Sistema CAD en rehabilitación oral. En. Lima; 2006. p. . 11-22.
- 15 Fraire , Lerman , Mateu , Sales. Fotogrametría del perfil facial en ortodoncia. Revista . de la Facultad de Odontología UBA. 2013; 28(64).
- 16 Gonzáles CB. Escáner Intraoral. En Gonzáles CB. Aplicaciones del escáner Intraoral . en las Distinas Ramas de la Odontología Contemporánea. Toluca; 2020. p. 19-27.
- 17 Mallado MB. Que son los escáneres introarales. En Mallado MB. Presición de los . escáneres intraorales en las rehabilitaciones orales completas sobre implantes. Sevilla; 2018. p. 2-8.
- 18 Pazmiño MJY. Impresiones Digitales Intraorales. Revisión Sistemática. En Pazmiño . MJY.. Guyaquil; 2021. p. 3-4.
- 19 Ciro B. Antecedentes. En Ciro B. Principio Básicos de la Fotogrametría Actual. . México D.F; 2005. p. 3.
- 20 Otero, Ezquerra, Rodríguez. En Fotogrametría. p. 2-11.
.

- 21 Halina MN. Photogrammetry and Its Potential Application in Medical Science on the . Basis of Selected Literature. Wroclaw Medical University. 2015;; p. 737-741.
- 22 Landwelin O. A challenge in dental computerised photogrammetry. Dental Tribune . International. 2019;; p. 30-40.
- 23 Quirós E. En Introducción a la fotogrametría y Cartografía aplicadas a la ingeniería . civil. España: Universidad de Extremadura. Servicio de Publicaciones; 2014. p. 46-139.
- 24 Espín M. Etapas de la fotogrametría. En Diseño de un ambiente Virtual Mediante el . empleo de procesos fotogramétricos terrestres de corto alcance del conjunto arquitectónico de la ciudad de Conocoto. Conocoto; 2013. p. 18-163.
- 25 Mikolas Z. Fotogrametría: escaneo 3D con solo su teléfono o cámara. [Online].; 2018. . Acceso 20 de Octubre de 2021. Disponible en:
https://blog.prusaprinters.org/photogrammetry-3d-scanning-just-phone-camera_7811/.
- 26 Salazar R, Cárdenas A, Seelaus R, Lopes Da Silva J, Lauria L. Color translation from . monoscopic photogrammetry +ID Metodology into a Polyjet final 3D facial prosthesis. F1000 Research. 2022;; p. 1-15.
- 27 Fonseca E, Pelliccioni , Pannaci T. Protocolo para la reconstrucción tridimensional . digital de rostros de pacientes con hendidura labio palatina por fotogrametría. Memorias del IV Congreso Venezolano de Bioingeniería. 2015;; p. 21-25.
8. Knyaz Z. Photogrammetric Techniques for dentistry analysis, planning and visualisation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science. 2008; 37: p. 783-788.
- 29 Übel Mv. All3DP. [Online].; 2021. Acceso 20 de Octubre de 2021. Disponible en:
<https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software/>.
- 30 Lucía.C. 3Dnatives. [Online].; 2019. Acceso 20 de Octubre de 2021. Disponible en:
<https://www.3dnatives.com/es/mejores-sofware-programas-fotogrametria-190920192/>.
- 31 Agisoft. Agisoft. [Online]; 2022. Acceso 1 de Octubre de 2022. Disponible en:
<https://www.agisoft.com/>.
- 32 Jerome C. A113DP. [Online].; 2021. Acceso 20 de Octubre de 2021. Disponible en:
<https://all3dp.com/es/2/app-escaner-3d-android-iphone-escaneo-3d/>.
- 33 Diego T. Bitfab. [Online].; 2020. Acceso 20 de Octubre de 2021. Disponible en:
<https://bitfab.io/es/blog/escanear-3d-movil/>.

- 34 Medina P, Ordoñez P, Ortega G. Precisión de los sistemas de impresión digital . intraoral en odontología restauradora: Una revisión de la literatura. *International Journal of Dental Sciences*. 2020;; p. 64-75.
- 35 Steve Diaz PA. Diferenciación de fotogrametría en distancias faciales anteriores con . smartphone y cámara DSLR estandarizadas a estudiantes de estomatología de la Universidad Alas Peruanas Filial Ica 2018. *Ciencia y Desarrollo. Universidad Alas Peruanas*. 2020; 5.
- 36 A. Lanis PL. Selecting the appropriate digital planning pathway for computer-guided . implant surgery. *International Journal of Computrized Dentistry*. 2017; 20(1).
- 37 Lung A. Diagnóstico, planificación y restablecimiento multidisciplinar de la función y . estética dental. A propósito de dos casos. En *Diagnóstico, planificación y restablecimiento multidisciplinar de la función y estética dental. A propósito de dos casos*. Zaragoza; 2017. p. 1-2.
- 38 Manuel Restrepo, Laura Castellanos. Comparación de medidas dentales y . transversales realizadas en modelos de yeso con calibrador digital, y en modelos digitales con el software o3d. *Revista CES Odontología*. 2015; 28(2): p. 59-68.