

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas

Creación de un repositorio digital 3D para la preservación de la colección
osteológica de la Espol

ADMI-1192

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Licenciado En Arqueología

Presentado por:

Juan José Ortiz Ortiz

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico el presente proyecto con amor y gratitud a mi familia: a mi padre, Hitler I. Ortiz; a mi madre, Zara; a Luigi, Sarita, las Gemelas, Diego y David.

A mis amigos, M.F Plúas, N.A Tobar. JB Orozco. A mis queridas mascotas: Irina, Maceteratzo, Malú, Yuyo, Yuka, Emilia, Carlitos, Leonardo, Toñita, Karol y Manchas.

Finalmente, dedico este trabajo en memoria de Blancocho (2016-2019) y, en especial, de mi querido amigo Chimbi (27/12/19 - 13/12/24).

Sus recuerdos siempre vivirán en mi memoria.

Agradecimientos

Al grupo de profesores de Arqueología de la ESPOL, al director de Materia Integradora MSc. Andrés Mosquera, a mi docente tutor MA. Daniel Rivas, les expreso mi más sincero agradecimiento por haberme ayudado en cada sección de este proyecto. Asimismo, agradezco al equipo de Agisoft LLC, cuya generosidad al otorgarme una licencia de Agisoft Metashape fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

Declaración Expresa

Yo Juan José Ortiz Ortiz acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 2 de octubre del 2024.



Juan José Ortiz Ortiz

0926546789

Evaluadores

Andrés Alexander Mosquera Perugachi

Profesor de Materia

Daniel Gonzalo Rivas Álava

Tutor de proyecto

Resumen

Este proyecto está enfocado en la conservación y difusión del patrimonio bioarqueológico a través de la digitalización 3D de la colección osteológica de la ESPOL. La falta de un registro digital de esta colección limita el acceso a la información, el análisis comparativo y la colaboración con otras instituciones.

Con el objetivo de crear una base de datos organizada y accesible, se implementó un protocolo de fotogrametría utilizando una cámara DSLR y el software Agisoft Metashape. Este proceso permitió generar modelos 3D detallados de las muestras óseas, preservando su morfología, textura y color. Los modelos obtenidos facilitan el análisis desde múltiples ángulos y su integración en plataformas de visualización y edición.

La metodología empleada ha demostrado ser eficaz para abordar los desafíos y parámetros técnicos asociados con la digitalización de materiales óseos mediante software computacional. Los resultados obtenidos posicionan a la colección osteológica de la ESPOL como un referente local en la digitalización del patrimonio bioarqueológico en Sudamérica. Al facilitar el acceso online a la información y fomentar la investigación, este proyecto contribuye al avance de la arqueología digital local y en la región.

Palabras Clave: Fotogrametría, Bioarqueología, Preservación Digital, Patrimonio Cultural.

Abstract

This project focuses on the conservation and dissemination of bioarchaeological heritage through the 3D digitization of ESPOL's osteological collection. The lack of a digital record of this collection limits access to information, comparative analysis, and collaboration with other institutions.

To create an organized and accessible database, a photogrammetry protocol was implemented using a DSLR camera and Agisoft Metashape software. This process allowed the generation of detailed 3D models of the bone samples, preserving their morphology, texture and color. The models obtained facilitate analysis from multiple angles and their integration into visualization and editing platforms.

The methodology employed has proven to be effective in addressing the challenges and technical parameters associated with the digitization of bone materials using computational software. The results obtained ESPOL's osteological collection as a local benchmark in the digitization of bioarchaeological heritage in South America. By facilitating online access to information and encouraging research, this project contributes to the advancement of digital archaeology locally and in the region.

Keywords: *Photogrammetry, Bioarchaeology, Digital Preservation, Cultural Heritage.*

Índice general

Evaluadores	5
Resumen	6
<i>Abstract</i>	7
Índice general	8
Abreviaturas	11
Índice de tablas	12
Índice de figuras	12
Capítulo 1	14
1. Introducción	15
1.1 Descripción del Problema	16
1.2 Justificación del Problema.....	17
1.3 Objetivos	18
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	18
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	18
1.4 Antecedentes	19
1.4.1 Arqueología 3D En Sudamérica.....	19
1.4.2 Arqueología 3D En Ecuador	20
1.4.3 Antecedentes De La Muestra Osteología De Espol	21
Capítulo 2	22
2 Marco Teórico	23
2.1 <i>La Arqueología Digital: Una Garantía Para La Preservación Patrimonial Arqueológica</i>	23
2.2 <i>La Digitalización 3D Como Herramienta A Disposición Del Registro Arqueológico</i>	26
2.3 <i>La Fotogrametría Como Herramienta Para La Documentación De Bienes Patrimoniales Arqueológicos</i>	27
2.4 <i>Flujo De Trabajo Fotogramétrico En Contextos Arqueológicos: De Fotografías A Modelos 3D Mediante Software Especializado</i>	29

2.5	<i>Limitaciones Y Desafíos Multidisciplinarios E Interdisciplinarios De La Fotogrametría Arqueológica 3D En La Digitalización Del Patrimonio Cultural</i>	30
Capítulo 3		32
3	Metodología	33
3.1	Selección De Muestras Osteológicas	33
3.2	<i>Protocolo Básico De Parámetros De Capturan fotográfica Para Modelado 3D Fotogramétrico</i>	36
3.2.1	<i>Calibración De La Cámara</i>	36
3.2.2	<i>Modo De Cámara Y Enfoque</i>	36
3.2.3	<i>Cerrar El Diafragma</i>	36
3.2.4	<i>Distancia Focal Fija</i>	37
3.2.5	<i>ISO</i>	37
3.2.6	<i>Velocidad De Obturación</i>	37
3.2.7	<i>Formato De Imagen</i>	37
3.2.8	<i>Rotación Del Objeto A Ser Modelado</i>	37
3.3	<i>Captura Fotográfica De Las Muestras</i>	38
3.3.1	<i>Resolución de la imagen</i>	39
3.3.2	<i>Calidad fotográfica</i>	39
3.3.3	<i>Profundidad de color</i>	39
3.4	<i>Configuración De La Toma Fotográfica De Larga Exposición</i>	40
3.4.1	<i>Longitud focal</i>	40
3.4.2	<i>Apertura</i>	40
3.4.3	<i>Tiempo De Exposición</i>	40
3.4.4	<i>ISO</i>	40
3.4.5	<i>Flash</i>	40
3.4.6	<i>Compensación de exposición (EXP)</i>	40
3.5	<i>Flujo De Procesamiento Digital De Imágenes En Agisoft Metashape 2.1.4</i>	41
3.5.1	<i>Creación De Chunk De Imágenes</i>	42

3.5.2	<i>Alineación de las fotografías</i>	43
3.5.3	<i>Construcción Nube de Puntos</i>	45
3.5.3.1	<i>Generación de Nube de Puntos Esparsa</i>	45
3.5.3.2	<i>Generación de Nube de Puntos Densa</i>	46
3.5.4	<i>Construcción Malla</i>	47
3.5.5	<i>Generación Del Modelo 3D</i>	48
3.5.6	<i>Texturizado</i>	49
Capítulo 4		50
4	Resultados	51
4.1	<i>Base De Datos Organizada</i>	51
4.2	<i>Generación De Modelos Tridimensionales De Las Muestras Osteológicas Mediante Agisoft Metashape 2.1.4</i>	53
4.3	<i>Modelos 3D De La Colección Osteológica De La Espol En SketchFab</i>	56
Capítulo 5		57
5	Conclusiones Y Recomendaciones	58
5.1	<i>Conclusiones</i>	58
5.2	<i>Recomendaciones</i>	59
Bibliografía		61

Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral DAE
RAW	Raw Data (unprocessed data in its original format)
GNSS	Global Navigation Satellite System (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou)
JPG	Joint Photographic Experts Group
3DS	3D Studio Max (3D model format)
FBX	Filmbox (3D model format)
PLY	Polygon File Format (3D model format)
OBJ	Wavefront Object (3D model format)
STL	STereoLithography (3D model format)
SVG	Scalable Vector Graphics (image format)
PSZ	Photoshop Document (image format)
ArcGIS	Geographic Information System software by Esri
AutoCAD	Computer-aided design (CAD) software by Autodesk
COLLADA	COLLABorative Design Activity (3D model format)
Stanford PLY	Polygon File Format (specifically for Stanford University)
Autodesk FBX	Filmbox format by Autodesk
Autodesk DXF	Drawing Exchange Format by Autodesk
Google Earth KMZ	Keyhole Markup Language (KMZ) file for Google Earth
LAS	Laser Airborne Scanner (point cloud data format)
E57	Efficient 57 (point cloud data format)
XYZ	Coordinate format (X, Y, Z coordinates)
LAZ	Compressed LAS format
PTS	Points (point cloud data format)
PTX	Point Exchange (point cloud data format)
LiDAR	Light Detection and Ranging
PV	Patrimonio Virtual
PD	Patrimonio Digital
SIG	Sistemas de Información Geográfica

Índice de tablas

Tabla 1 Tabla De La Muestra Seleccionada Para Modelado 3D (30 Restos Óseos Humanos)	34
Tabla 2 Conteo Y Distribución De Muestra Cénaim - San Pedro (2017-2018)	35
Tabla 3 Porcentaje De Fotografías Alineadas Por Metashape Según La Cantidad De Fotografías Agregadas Al Chunk Por Cada Muestra	44

Índice de figuras

Ilustración 1 Sony Alpha DSLR-A350	38
Ilustración 2 Trípode Universal Pequeño	38
Ilustración 3 Vista 1	39
Ilustración 4 Vista 2	39
Ilustración 5 Vista 3	39
Ilustración 6 Vista 4	39
Ilustración 7 Agisoft Metashape 2.1.4	41
Ilustración 8 Proceso de Creación De Chunk De Imágenes.....	42
Ilustración 9 Proceso De Agregación De Imágenes Desde La Carpeta De Cada Muestra	42
Ilustración 10 Vista Final Con Las Imágenes Agregadas Al Área De Trabajo De Metashape 2.1.4	42
Ilustración 11 Configuración Usada (20 - 100 fotografías)	43
Ilustración 12 Alineación Correcta De 19 Fotografías Frontales De Una Misma Muestra	43
Ilustración 13 83 Fotografías Agregadas Al Chunk Con Resultado De 83 Fotografías Alineadas (100% Efectividad)	44
Ilustración 14 Configuración Puntos Esparsa	45
Ilustración 15 Configuración Puntos Esparsa	45
Ilustración 16 Configuración De Nube De Puntos Densa	46
Ilustración 17 Creación De Una Nube De Puntos Densa En Máxima Calidad.....	46
Ilustración 18 Malla 3D Final De Una Muestra De Vertebra Lista Para Ser Modelada A 3D	47
Ilustración 19 Vista De La Malla Poligonal En Una Muestra De Calcáneo	47
Ilustración 20 Vista De La Malla Poligonal En Una Muestra De Cráneo	47
Ilustración 21 Modelo 3D Generado A Partir De 83 Imágenes Procesadas	48
Ilustración 22 Configuración De Parámetros Para La Generación Del Modelo 3D	48

Ilustración 23 Modelo 3D Con Nivel De Superficie Detallado	48
Ilustración 24 Resultado De Texturizado Máxima Calidad Aplicada En Cráneo.....	49
Ilustración 25 Configuración De Parámetros Para Creación De Texturizado	49
Ilustración 26 Resultado De Texturizado Básico Aplicado A Vértebra	49
Ilustración 27 Fotografías Originales Con Sus Respectivos Metadatos Muestra #X – Vista #X – Foto #X.....	51
Ilustración 28 Fotografías Editadas Codificadas: Edit-Muestra #X – Vista #X – Foto #X.....	52
Ilustración 29 Base de Datos 3D OBJ +PSX+MTL+XTML	52
Ilustración 30 Fotografía Original De Muestra Ósea #4	53
Ilustración 31 Modelo Digital 3D Final De La Muestra 4	53
Ilustración 32 Modelo 3D Final De La Muestra #4 Vista Lateral	54
Ilustración 33 Modelo 3D Vista de Elevación	54
Ilustración 34 Muestra Final De Una Muestra Ósea En Un Visor 3D	55
Ilustración 35 Vista Previa De Los Modelos 3D.....	55
Ilustración 36 Vista Previa De Modelos 3D.....	55
Ilustración 37 Muestra #4 3D.....	56
Ilustración 38 Resultados Parciales Digitalizados Como Modelos 3D.....	56
Ilustración 39 Muestra #1 3D.....	56
Ilustración 40 Muestra #11 3D.....	56
Ilustración 41 Alineamiento De Fotografías Mediante Modo Secuencial	59
Ilustración 42 Resultado Fallido Al Alinear Imágenes Fotográficas	60
Ilustración 43 Resultado Incorrecto: 0/22 - N/A No Aligned.....	60

Capítulo 1

1. Introducción

La conservación de los bienes patrimoniales óseos siempre ha sido importante dentro de la arqueología. La colección osteológica de la ESPOL enfrenta un problema en lo que respecta a la falta de registro digital. Este dificulta el acceso online a información, el análisis comparativo virtual, la colaboración con otras instituciones poseedoras de colecciones digitales y la incorporación de nuevas tecnologías a la arqueología.

Para esto, se propone la digitalización tridimensional mediante fotogrametría como método para crear réplicas digitales precisas de las muestras óseas, y así garantizar la preservación a largo plazo, ampliar el acceso a la información y fomentar la investigación. Los objetivos del proyecto fueron crear una base de datos organizada, establecer un protocolo óptimo de fotogrametría, abordar los desafíos técnicos del software en el procesamiento de imágenes óseas y generar modelos 3D de las muestras de la colección ósea de la Espol.

La metodología consistió en capturar imágenes de alta resolución con una cámara DSLR y procesarlas en el programa Agisoft Metashape 2.1.4 para generar modelos 3D detallados con texturas realistas. Los modelos obtenidos son de alta precisión en morfología, textura y color. Estos facilitarán el análisis y la visualización desde múltiples ángulos de la muestra. Además, la exportación de estos modelos como formato OBJ permitirá su uso en otras plataformas para edición y digitalización de objetos complejos como material osteológico.

Este proyecto busca como objetivo posicionar la colección osteológica de la ESPOL como referente local en la digitalización del patrimonio bioarqueológico y contribuir al avance de la arqueología digital en Sudamérica. Debido a que actualmente la mayoría de los arqueólogos dependen del uso de las computadoras y en alguna parte del desarrollo de su profesión adherirán a la parte base integral de sus proyectos los sistemas computacionales.

1.1 Descripción del Problema

La digitalización propuesta de los bienes óseos patrimoniales se debe principalmente a un vacío significativo en la documentación 3D en lo que respecta a las muestras óseas. Actualmente la ausencia de una biblioteca o base de datos digital 3D de los restos óseos de la muestra osteológica de la Espol representa una brecha que limita la accesibilidad al público de los resultados de las investigaciones bioarqueológicas de Espol. Además, dificulta la posibilidad de realizar análisis morfométrico o comparativos digitales con muestras propias o de otras instituciones y expone las muestras originales a riesgos de deterioro, pérdida y sostenibilidad a largo plazo limitando el acceso a la información sin necesidad de manipular las muestras óseas.

Esta situación limita la capacidad de la colección de participar en redes internacionales de investigación y frena la adopción de nuevas tecnologías en el campo de la antropología biológica. De esta forma, se ve afectada la generación de nuevo contenido innovador e investigativo, especialmente en un contexto donde el uso de herramientas digitales ha sido limitado. Esta carencia ha provocado que no se puedan realizar análisis comparativos a gran escala dentro de la colección o con colecciones de otras instituciones.

Además de los desafíos digitales, la conservación de la colección osteológica de la Espol enfrenta riesgos asociados a la humedad, a pesar de almacenarse en ambientes controlados. La condensación, el crecimiento bacteriano y las alteraciones de color pueden surgir debido a fluctuaciones de temperatura propias de zonas cálidas. La fragilidad de los huesos, por su composición porosa, los vuelve susceptibles a daños físicos causados por manipulación, transporte y almacenamiento inadecuados. La composición química del hueso también se altera con el tiempo, incrementando su vulnerabilidad. Adicionalmente, el deterioro de etiquetas y la desorganización de la información asociada a las muestras representan una amenaza significativa para la preservación a largo plazo de la colección.

1.2 Justificación del Problema

La ausencia de una infraestructura digital 3D adecuada e innovadora en el ámbito de la investigación arqueológica plantea desafíos que obstaculizan la creación, generación y avance del conocimiento digital científico. Uno de los desafíos existentes es el limitado acceso a la información arqueológica digital, esto dificulta la búsqueda, recuperación y análisis de datos sobre las distintas colecciones cerámicas y óseas, ralentizando los procesos de investigación y limitando la capacidad de generar nuevos conocimientos interactivos.

La inaccesibilidad a muestras óseas físicas restringe las posibilidades de estudio y comparación investigativa. Por otro lado, la ausencia de herramientas digitales para compartir y analizar datos impide la colaboración efectiva entre investigadores a nivel local e internacional. Esto provoca una imposibilidad de realizar análisis comparativos a gran escala y de acceder a recursos digitales de otras instituciones.

Por otra parte, existe el siempre presente riesgo de pérdida de información física, esto se debe a que la falta de digitalización expone los datos a riesgos de deterioro y pérdida. Además, se compromete la validez y la reproducibilidad de los estudios y la imposibilidad de crear copias de seguridad que garanticen la preservación a largo plazo de la información poniendo en peligro el patrimonio científico y cultural.

La digitalización 3D se presenta como una solución fundamental para superar estos desafíos, ya que permite ampliar el acceso a la información facilitando la búsqueda, recuperación y análisis de datos a nivel local como global. Además, fomenta la colaboración científica permitiendo el intercambio de datos y la realización de análisis colaborativos. De esta forma se preserva el conocimiento garantizando la durabilidad de los datos y facilitando la creación de copias digitales de seguridad. Finalmente, la digitalización 3D se perfila como una innovación en la investigación arqueológica, principalmente habilitando el uso de nuevas tecnologías, técnicas de análisis y la generación y publicación de nuevos conocimientos a través de los medios digitales.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Digitalizar bienes patrimoniales de colección osteológica de la Espol mediante fotogrametría para crear un repositorio digital que facilite la conservación, el estudio y la accesibilidad del patrimonio bioarqueológico garantizando su preservación a largo plazo.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Generar una base de datos organizada de cada muestra procesada con sus respectivas imágenes originales y etiquetadas.
2. Establecer un protocolo de fotogrametría óptimo para la digitalización de material óseo.
3. Considerar parámetros óptimos en software de procesamiento fotogramétrico para características particulares de los huesos (color, textura, fragilidad) para optimizar el proceso de digitalización.

1.4 Antecedentes

1.4.1 *Arqueología 3D En Sudamérica*

El proyecto de Conte y Robledo (2020) en Argentina ha sido un ejemplo de cómo la fotogrametría puede ser usada para digitalizar y preservar el patrimonio arqueológico. El enfoque en la creación de modelos 3D detallados de morteros, aleros y excavaciones ha sido un buen aporte en la publicación de los metadatos obtenidos en un repositorio digital. Así, se garantiza el acceso público a los resultados de la investigación de este sitio.

El trabajo realizado en la aplicación de tecnologías 3D en los sitios arqueológicos del valle de Ongamira, Córdoba, Argentina. Aplicó la Fotogrametría en excavaciones y morteros arqueológicos (Conte & Robledo, 2020) , fue llevado a cabo en las localidades de Estancia Dos Lunas, Estancia Ongamira Turismo Rural, Parque Natural Ongamira 1, Dos Lunas 2, La Chacra de la Mula Negra 1. Se digitalizaron aleros, excavaciones realizadas en los aleros, morteros individuales y una roca base. El método usado fue la fotogrametría para capturar varias imágenes de los bienes arqueológicos desde diferentes ángulos. Se usó una cámara réflex digital Nikon D3300 con un objetivo de 18-55mm en modo manual. El software empleado fue VisualSFM y Meshlab para procesar las imágenes y generar los modelos 3D.

Entre los resultados mediante el uso del software se generaron detallados modelos 3D de las excavaciones, morteros y aleros. Se creó la representación tridimensional o nube de puntos de cada objeto con su respectiva malla e información sobre textura y color. Además, se crearon tablas detalladas de las características de los modelos 3D. Finalmente, los metadatos de los modelos 3D fueron cargados en el repositorio digital Suquía, permitiendo el acceso público y abierto.

1.4.2 Arqueología 3D En Ecuador

En Ecuador, el trabajo de Fernando Palacios en el Valle Del Upano Complejo La Esperanza, Edén 1 y Sitio Proaño (Palacios, 2023) demuestra el potencial de la fotogrametría aérea con drones para el estudio de sitios arqueológicos complejos. Además, el proyecto de la Galería 3D del Museo CIMS en Salango destaca cómo la fotogrametría puede ser utilizada para crear experiencias educativas interactivas que acerquen el público al patrimonio arqueológico.

El proyecto realizado por Palacios aplicó la fotogrametría aérea en el área del valle del Upano en los siguientes sitios arqueológicos: Complejo La Esperanza de la parroquia San Isidro a orillas del río Jurumbaino, Complejo Edén 1 ubicado a 14.7 km al norte de Macas y a 2 km al sur de Edén exactamente en la parroquia San Isidro. Además del Sitio Proaño en el área urbana de la parroquia General Proaño. Para este proyecto se usó un vehículo aéreo no tripulado (UAV), específicamente un dron multirotor DJI Phantom 4 Pro v2.0 con sistema de posicionamiento global (GPS/GLONASS) equipado con sensor CMOS de 1 pulgada y una cámara de 20 megapíxeles.

El proceso de vuelo se realizó mediante software PIX4Dcapture, con rutas de vuelo automáticas y cada vuelo a 100mts de altura sobre el terreno. Las capturas fotográficas o fotogramétricas se generaron según el método Structure from Motion (SfM) el cual se basó en varias imágenes aéreas capturadas desde diferentes ángulos para la estimación de la estructura 3D mediante software PIX4D Mapper.

Los resultados permitieron generar una nube de puntos de alta resolución que ayudaron a georreferenciar con precisión el sitio. Así, permitieron la visualización de la topografía y distribución espacial de los montículos. Además, se aplicó un análisis morfométrico mediante los Sistemas de Información Geográfica (SIG) obteniendo resultados como la superficie, el volumen y la altura de los montículos. De esta forma se identificó la existencia de plazas centrales y se llegó a la conclusión de que existió una organización social compleja el sitio. Además, A partir del

volumen calculado de los montículos, la distancia a la cantera y la posible fuerza de trabajo se pudo estimar el tiempo necesitado para la construcción de los montículos.

La Galería 3D del Museo CIMS (Centro de Investigación Museo Salango, 2020) fue creada mediante captura fotogramétrica por Andrés Garzón-Oechsle del Florida Atlantic University, Mercy Pincay, Gilda Rodríguez y Yomaira Pincay de la Comuna Salango. La galería está basada en las muestras de su amplia colección física de bienes patrimoniales arqueológicos encontrados en excavaciones locales.

La Galería 3D del CIMS complementa las investigaciones iniciadas por Presley Norton, Alicia Kurk, Debbie Simmons entre otros. Está dirigida al público con una misión de carácter educativo, permite explorar de forma virtual el pasado de Salango. Sus modelos 3D son altos en detalles de diseño y forma, por lo que permiten al público interactuar con el objeto (Galería 3D – Museo Salango, n.d.).

1.4.3 *Antecedentes De La Muestra Osteología De Espol*

Los estudios de Arellano y Rivas sobre contextos funerarios (Arellano N. , 2023) y deformación craneal en la cultura Valdivia son relevantes ya que proporcionan un contexto sobre las prácticas mortuorias y las modificaciones corporales en esta cultura. Demuestran la importancia del análisis de restos óseos humanos para comprender aspectos sociales, económicos y culturales. El estudio de análisis los contextos funerarios del sitio arqueológico Real Alto, durante la fase Valdivia III, su objetivo fue entender la complejidad social existente. Llegó a la conclusión de que la complejidad social de Real Alto fue multifacética debido a que no estuvo limitada mediante la estructura social, más bien, involucró la subsistencia, política y economía del sitio. El trabajo realizado por Rivas analiza la práctica de la deformación craneal intencional en varios entierros de la cultura Valdivia (Rivas D. , 2021). Llegó a la conclusión de que esta práctica tuvo un inicio en las primeras fases Valdivia. Menciona como principales hipótesis los factores económicos, el significado social, la comunicación o la expresión de estética y belleza.

Capítulo 2

2 Marco Teórico

2.1 La Arqueología Digital: Una Garantía Para La Preservación Patrimonial Arqueológica

La arqueología digital se define como el uso de las variadas tecnologías informáticas existentes para recopilar, manipular y almacenar datos arqueológicos (Morgan, 2022). También se la define como una disciplina de investigación científica cuyo objetivo es el desarrollo de métodos para la aplicación y generación de métodos digitales mediante computadoras que permitan gestionar los bienes patrimoniales arqueológicos (Bendicho & SEAV-ICOMOS, 2017).

La arqueología digital se refiere a la conversión del patrimonio arqueológico cultural físico a un formato digital, con el propósito de preservar el patrimonio cultural mediante la creación de copias digitales que serán almacenadas en la nube mediante servidores de Plataformas de Gestión de Contenidos Digitales (DAM) tales como Amazon S3, Google Cloud Storage, Microsoft Azure Blob Storage, entre otros. Por otro lado, la arqueología virtual es la creación del entorno digital en donde se representará el objeto o bien patrimonial digitalizado. Su propósito es que el público en general pueda acceder a ese patrimonio digital desde cualquier sitio mediante una conexión a internet (Acevedo & Staropoli, 2023)

En 2019 se aceleró la generación de conocimientos científico tecnológico de los distintos grupos científicos de investigación privados y públicos con el objetivo de hacer pública la ciencia mediante la interconectividad (Acevedo & Staropoli, 2023). Durante la pandemia del COVID-19 (2020), se dio énfasis a una nueva forma de generar conocimiento accesible debido al aislamiento social impuesto (Martire, 2022)

La arqueología digital está sustentada técnicamente en un marco de cartas internacionales¹ que establecen una serie de parámetros específicos aplicables en los campos de investigación, documentación publicada y sobre todo orientada a la conservación del patrimonio material arqueológico (Staropoli y otros, 2023). El alcance de esta metodología permite desarrollar formas de aplicación de distintos indoles cuya finalidad es la visualización de las investigaciones o resultados asistidos mediante la tecnología. Así, el objetivo es garantizar la gestión digital integral de la conservación del patrimonio arqueológico (Izeta y otros, 2021).

La aplicación de la arqueología digital permite una alfabetización digital, es decir, provee una capacidad para acceder, analizar, y gestionar los datos arqueológicos digitalizados con mayor precisión. Esto, a su vez, permite comunicar los resultados de las investigaciones y proyectos arqueológicos de una manera interactiva para el público. Además, la alfabetización digital permite equipar a los futuros arqueólogos de las herramientas necesarias para comprender, interpretar y utilizar los datos provenientes de sus investigaciones con el fin de hacer accesibles los resultados a todo el público (Kansa & Kansa, 2021)

La arqueología digital integra herramientas digitales para estudiar, preservar y divulgar el patrimonio arqueológico. Esta disciplina se ha destacado por explorar aplicaciones prácticas de tecnologías informáticas (Huggett, 2015). Mediante análisis de datos, la arqueología digital emplea herramientas como inteligencia artificial, realidad virtual aumentada, escaneo 3D y plataformas virtuales para reconstruir y presentar de forma inmersiva bienes patrimoniales al público (Izeta y otros, 2021)

¹ Carta de Sevilla (SEAV-ICOMOS 2017)

La arqueología digital crea un patrimonio virtual, donde las representaciones digitales pueden ser analizadas, manipuladas y compartidas (Staropoli y otros, 2023). En otras palabras, se generan réplicas digitales de sitios y objetos arqueológicos, accesibles para su estudio y difusión.

La arqueología digital, no se trata principalmente de dominar una aplicación o metodología específica, tampoco volverse completamente competente en una plataforma digital tecnológica única. Al contrario promueve las cuestiones arqueológicas fundamentales tales como la argumentación desde un pensamiento crítico, esto debido a que la alfabetización de datos implica la capacidad de leer, trabajar, analizar y argumentar con datos (Kansa & Kansa, 2021). El uso de dichos recursos digitales ofrece así una diversidad de herramientas cada vez más accesibles para generar un producto para la comunicación pública y académica. Los más usados por los arqueólogos digitales han sido los sistemas de información geográfica (SIG), estos basados en softwares como ArcGIS y AutoCAD con los cuales se modelan los mapas e ilustraciones geográficas de los sitios arqueológicos (Huggett, 2015).

2.2 La Digitalización 3D Como Herramienta A Disposición Del Registro Arqueológico

La digitalización de un objeto o bien patrimonial arqueológico es la generación de una réplica digital 3D. Esta replica digital tridimensional proporciona alto grado en detalles de textura y aspectos geométricos del objeto. El resultado de la digitalización 3D genera una visualización y representación virtual completa con detalles visuales y desde distintos ángulos del objeto o bien patrimonial (Santos y otros, 2017).

La generación de modelos 3D en arqueología se basa en métodos usando dispositivos digitales como el escáner óptico o láser, la fotogrametría digital terrestre o aérea, el escáner de luz estructurada, la videometría, el escáner de mano y el LiDAR. Todos estos se valen de captura y procesamiento digital de imágenes cuyo procesamiento permiten generar reconstrucciones 3D con la finalidad de una socialización virtual de los objetos registrados (Acevedo & Staropoli, 2023). Estos procesos digitales se llevan a cabo mediante softwares 3D como Agisoft, Autodesk 3D Studio Max y MeshLab, para procesos 2D en QGIS, ArcGIS y AutoCAD (Forte M. , 2014). Los resultados de los modelos tridimensionales replican de manera correcta los modelos reales, de este modo los objetos digitales pueden contener los datos reales necesarios para las interpretaciones correctas (Conte & Robledo, 2020).

Estas herramientas digitales de registro y representación son orientadas en función de maximizar la extracción de información del objeto estudiado para garantizar su protección y potenciar su valor cultural (Acevedo & Staropoli, 2023). De esta forma se logra generar propuestas arqueológicas comunicativas de fácil comprensión, permitiendo el enriquecimiento en las experiencias de intercambio de la construcción del conocimiento colectivo entre el público y los investigadores arqueológicos.

Actualmente el modelado 3D se lleva a cabo en diferentes regiones, es decir, se ha vuelto de interés global, además, entre las instituciones se abarcan distintos tipos de patrimonio cultural

arqueológico a digitalizar como método de respaldo para garantizar la supervivencia del patrimonio arqueológico cultural a largo plazo. Para esto se valen de los distintos proyectos de almacenamiento a manera de bibliotecas digitales en formatos 3D. Entre los proyectos existentes más conocidos a nivel internacional como Google Art Project, German Digital Library, Europeana y Google Books Library, estos proyectos se han orientado en la digitalización de libros, obras de arte, archivos históricos y material cultural a gran escala (Santos y otros, 2017).

2.3 La Fotogrametría Como Herramienta Para La Documentación De Bienes Patrimoniales Arqueológicos

De forma etimológica la palabra fotogrametría como tal proviene de los términos griegos photos cuyo significado es ‘luz’, gramma que se traduce como ‘escrito’ y finalmente metron que significa ‘medir’ (Barberà, 2017). Así que, se puede llegar a la conclusión de que la fotogrametría es la representación de forma gráfica de las dimensiones obtenidas de un objeto mediante la luz.

Si nos trasladamos al campo científico, la fotogrametría es la ciencia que se vale de uso de las fotografías para realizar distintas medidas sobre un determinado objeto o superficie terrestre, el ámbito de aplicación se ha extendido a varios sectores de las ingenierías y ciencias de la tierra tal como la arqueología (Quirós, 2015). La fotogrametría en la arqueología se define como una técnica digital que tiene como finalidad definir de manera precisa las dimensiones, forma y posición espacial de los objetos arqueológicos. Esto se logra mediante el uso de las medidas de referencia de una o varias fotografías del objeto arqueológico fotografiado (Cabrera-Revuelta, 2016), La fotogrametría se clasifica según la distancia de disparo fotográfico, a más de 1m de disparo se considera aérea, de 30cm hasta 1m se cataloga como de corto alcance, y de menos de 30cm se considera como estereofotogrametría (Forte M. , 2014),

En cuanto a los principios básicos de aplicación de la fotogrametría en los proyectos arqueológicos, se debe recordar que su expansión de uso se debe principalmente a que permite

recolectar imágenes como datos de alta calidad de una forma rápida sin perder calidad y precisión (Cordero, 2017). Sin embargo, para involucrarse en proyectos que usen esta herramienta, se debe tener en cuenta que la Fotogrametría parte de la eficiente captura de imágenes de alta calidad. Así que, para realizar Fotogrametría de alta precisión con elevado nivel de detalle, estas imágenes capturadas deben tener alta resolución en número de píxeles. Además, deben poseer nitidez y claridad con alto nivel de detalle. Este debe permitir distinguir formas, texturas, tonos y colores con precisión en detalles físicos de la morfología del modelo u objeto original usado (Luengo, 2017). Esto quiere decir que si queremos un resultado de alta calidad en diseños tridimensionales no debemos tener como base el software que usemos, sino más bien debemos partir de fotografías de alta calidad.

La fotogrametría no se orienta en la interpretación de fenómenos de ningún tipo, más bien su aplicación se vuelca netamente orientada en generar mapas o diseños tridimensionales de gran exactitud partiendo de medidas o superposiciones de planos cuyas mediciones se obtienen mediante las fotografías generadas o capturadas en condiciones específicas (Quirós, 2015). Lo que se espera de la aplicación de la fotogrametría en la arqueología es que se apliquen pasos y procedimientos establecidos, usar instrumentos de medición precisos, la técnica o metodología usada debe ser sistematizada. Para esto, se debe seguir un proceso ordenado, que sea reproducible al proyectarse su aplicación en otros proyectos y que sus resultados posean credibilidad (Barberà, 2017).

La ventaja principal de la Fotogrametría es su portabilidad en cuestión de equipos, en este caso la cámara y las baterías no son de gran tamaño ni peso, pueden ser usados en campo remoto y en laboratorios fijos. Su transportarse es sencillo y obtener permisos de préstamo también, esto reduce el tiempo de digitalización y aumenta el número de muestras capturadas y modeladas (Evin y otros, 2016).

La Arqueología Digital se perfila como una base sólida para el Patrimonio Virtual (PV), su importancia radica en que, para la preservación de los bienes patrimoniales frágiles, es necesario generar sólidos respaldos digitales. Estos respaldos digitales se convierten en Patrimonio Digital (PD), este tiene un alcance capaz de generar un bien patrimonial digital de un objeto o sitio arqueológico original que puede ya no existir, que esté actualmente intervenido o que fue transformado a través del tiempo (Acevedo & Staropoli, 2023).

2.4 Flujo De Trabajo Fotogramétrico En Contextos Arqueológicos: De Fotografías A Modelos 3D Mediante Software Especializado

Para empezar, es necesario mover o copiar las imágenes capturadas de la cámara al computador, de ser necesario corregir la exposición, contraste y brillo de las fotografías mediante algún software de edición fotográfico (Ballester, 2016).

El proceso de creación del modelo 3D empieza con el añadimiento de las imágenes al área del panel de trabajo del software, se procede a separarlas en bloques, esto se debe a que cada bloque será alineado por separado en el software escogido (Morch & Luengo, 2016).

Una vez que se ejecuta el alineamiento y fusión de los bloques de imágenes se formara un conjunto coherente de fotografías. Esto permitirá la creación de una nube de puntos densa que será una previsualización de la forma del objeto en 3D (Morch & Luengo, 2016). La nube de puntos tridimensional con el que el software crea el modelo 3D se construye a partir de los atributos volumétricos y colorimétricos del objeto, dependiendo del software que se use, estos se generaran en formatos PTX, XYZ, LAS, E57, PTS, TXT o LAZ (Ballester, 2016).

La unión de todos los puntos contenidos en la nube de puntos generará una malla poligonal, esta se usará si es necesario para una edición o corrección mediante modificación de puntos de su morfología. Esta malla poligonal se genera en formatos STL, DAE, FBX, SVG, 3DS, PLY u OBJ (Ballester, 2016). La malla poligonal define la superficie del objeto 3D, además, para dar un

acabado realista al objeto 3D, es necesario la creación de una textura, el software la creara en base a la calidad de las fotografías capturadas (Morch & Luengo, 2016).

Una vez que el modelo tridimensional del objeto ha sido generado mediante el software elegido, se puede finalizar el trabajo exportando o guardando el modelo 3D en formatos Autodesk DXF, 3DS, Wavefront OBJ, Autodesk FBX, PSZ, VRML, Stanford PLY, COLLADA, Adobe PDF o Google Earth KMZ (Morch & Luengo, 2016).

2.5 Limitaciones Y Desafíos Multidisciplinarios E Interdisciplinarios De La Fotogrametría Arqueológica 3D En La Digitalización Del Patrimonio Cultural

Al momento de generar el patrimonio digital surgen desafíos técnicos que generalmente se presentan al usar las herramientas tecnológicas existentes. La aplicación y generación del contenido 3D está limitado por la falta de los equipos tecnológicos necesarios para generar los modelos tridimensionales. El modelo o tipo de dispositivo a usar varia del bien patrimonial arqueológico a ser digitalizado y sobre todo del objetivo de la investigación, en muchos casos se generan costos de traslados de los dispositivos a los distintos lugares de investigación o del bien patrimonial al laboratorio donde será procesado. Esto da como resultado que no todos los sitios, objetos o vestigios arqueológicos sean modelados a 3D sino más bien se generen casos individuales de bienes patrimoniales arqueológicos digitalizados (Santos y otros, 2017)

Además de los dispositivos a usarse, también existen limitaciones de costos en los que respecta al software, es necesario adquirir una licencia del software para procesar los datos como nube de puntos y el servidor donde se hospeden o almacenen los datos que se vaya a utilizar, esta puede ser individual o de uso compartido mediante servidor o máquina virtual (Cordero, 2017).

Las digitalizaciones con el uso del escáner para digitalización 3D, generan costos de procesamiento, además, si no se cuenta con escáner propio, se generarán costos de traslado de las muestras y horas de captura. En conclusión, hablando de desafíos tecnológicos, se deben sumar el

costo de los equipos, el software de procesamiento de datos y el servidor donde serán publicadas o almacenadas los resultados digitales 3D de las muestras procesadas (Cordero, 2017).

Actualmente no existe la digitalización sistemática de colecciones arqueológicas enteras o completas, más bien, existe una concentración de digitalización de casos de carácter individual (Cordero, 2017). La limitación existente imposibilita que series enteras de objetos arqueológicas patrimoniales queden sin digitalizar y además las priva de ingresar a una base de datos existente o de la construcción de una nueva categoría con su propio acceso (Bendicho & SEAV-ICOMOS, 2017).

Los proyectos arqueológicos de digitalización 3D son de carácter interdisciplinar debido en algunas instancias del proyecto es necesario consultar a especialistas de otras ramas de las ciencias exactas sus opiniones e ideas respecto a los distintos resultados de los proyectos. Para evitar resultados inesperados o ambiguos obtener una reconstrucción precisa durante la reconstrucción arqueológica 3D, se debe contar con la participación o al menos la supervisión de arqueólogos que conozcan el sitio excavado y su contexto a detalle, así mismo en el caso de artefactos u objetos patrimoniales a ser digitalizados (Bendicho & SEAV-ICOMOS, 2017).

Finalmente, al emplear la arqueología digital como herramienta de investigación y conservación arqueológica, se debe tener como visualizaciones asistidas por ordenador como, la evaluación más eficaz reside en su validación por parte de los profesionales a quienes están dirigidas. Es decir, un número representativo de arqueólogos y especialistas afines deben evaluar la utilidad y pertinencia de estas herramientas en sus prácticas diarias. La calidad de una visualización asistida por ordenador en el ámbito arqueológico no se mide únicamente por su atractivo visual, sino principalmente por la rigurosidad científica con la que ha sido creada. El cumplimiento de los principios metodológicos establecidos garantiza que el resultado final sea una herramienta confiable y útil para la investigación y conservación del patrimonio (Bendicho & SEAV-ICOMOS, 2017)

Capítulo 3

3 Metodología

La metodología se centra en la digitalización de restos óseos humanos hallados en el Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM), ubicado en Santa Elena, Ecuador. Se seleccionaron 40 restos óseos pertenecientes a dos individuos femeninos, priorizando aquellas piezas con un alto grado de conservación (al menos el 85% de integridad).

El objetivo principal del proyecto es generar modelos 3D precisos y detallados de estas muestras osteológicas mediante fotogrametría, para facilitar su estudio y conservación a largo plazo.

3.1 Selección De Muestras Osteológicas

Las piezas osteológicas humanas fueron seleccionadas de acuerdo con las necesidades del proyecto de conservación, en este caso se escogieron muestras físicamente completas mínimo del 85%, es decir con un alto grado de conservación. Las muestras provienen del Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas (CENAIM) ubicado en comuna San Pedro, Santa Elena, Ecuador.

La muestra consistió en 40 restos óseos humanos, correspondientes a dos individuos de sexo femenino. Estos restos fueron hallados durante el rescate arqueológico en la ampliación realizado en el CENAIM entre los años 2016 y 2019. Es importante mencionar que los restos óseos que fueron rescatados en el año 2018 están asociados a cerámica asociada cultura manteña (600 d.C - 1532 d.C.). Por otro lado, los restos rescatados en 2017 no están asociados a ningún contexto. Finalmente fueron seleccionadas 30 muestras para modelamiento 3D debido al buen estado de conservación en el que se encontraban.

Tabla 1 Tabla De La Muestra Seleccionada Para Modelado 3D (30 Restos Óseos Humanos)

Muestra #	Origen	Año	Hueso	Sexo	Filiación Cultural
1	Cenaim - San Pedro	2018	Vértebra #16	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
2	Cenaim - San Pedro	2017	Calcáneo Izquierdo	Femenino	S/A
3	Cenaim - San Pedro	2018	Radio Derecho	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
4	Cenaim - San Pedro	2017	Tibia Derecha	Femenino	S/A
5	Cenaim - San Pedro	2017	Radio Izquierdo	Femenino	S/A
6	Cenaim - San Pedro	2017	Fémur Izquierdo	Femenino	S/A
7	Cenaim - San Pedro	2017	Clavícula Izquierda	Femenino	S/A
8	Cenaim - San Pedro	2018	Cúbito Izquierdo	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
9	Cenaim - San Pedro	2017	Fémur Derecho	Femenino	S/A
10	Cenaim - San Pedro	2017	Calcáneo Derecho	Femenino	S/A
11	Cenaim - San Pedro	2018	Vértebra 2	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
12	Cenaim - San Pedro	2018	Vértebra #18	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
13	Cenaim - San Pedro	2017	Cráneo	Femenino	S/A
14	Cenaim - San Pedro	2018	Tibia Izquierda	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
15	Cenaim - San Pedro	2018	Tibia Derecha	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
16	Cenaim - San Pedro	2018	Fémur Izquierdo	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
17	Cenaim - San Pedro	2017	Mandíbula	Femenino	S/A
18	Cenaim - San Pedro	2017	Vértebra #1	Femenino	S/A
19	Cenaim - San Pedro	2017	Cráneo Parcial	Femenino	S/A
20	Cenaim - San Pedro	2018	Fémur Derecho	Femenino	Asociado Cerámica Manteña
21	Cenaim - San Pedro	2017	Tibia Izquierda	Femenino	S/A
22	Cenaim - San Pedro	2017	Rótula Izquierda	Femenino	S/A
23	Cenaim - San Pedro	2017	Rótula Derecha	Femenino	S/A
24	Cenaim - San Pedro	2017	Peroné Izquierdo	Femenino	S/A
25	Cenaim - San Pedro	2017	Peroné Derecho	Femenino	S/A
26	Cenaim - San Pedro	2017	Astrágalo Izquierdo	Femenino	S/A
27	Cenaim - San Pedro	2017	Astrágalo Derecho	Femenino	S/A
28	Cenaim - San Pedro	2017	Metatarsos #2 Derecho	Femenino	S/A
29	Cenaim - San Pedro	2017	Metatarsos #4 Derecho	Femenino	S/A
30	Cenaim - San Pedro	2018	Vértebra #4	Femenino	Asociado Cerámica Manteña

Tabla 2 Distribución De Muestra Ósea Cenaím - San Pedro (2017-2018)

Muestra Ósea	Muestra # (2018)	Cantidad 2018	Muestra # (2017)	Cantidad 2017	Cantidad Total
Astrágalo Derecho	-	0	27	1	1
Astrágalo Izquierdo	-	0	26	1	1
Calcáneo Derecho	-	0	10	1	1
Calcáneo Izquierdo	-	0	2	1	1
Clavícula Izquierda	-	0	7	1	1
Costillas	35	1	-	0	1
Cráneo	-	0	13	1	1
Cráneo Parcial	-	0	19	1	1
Cúbito Derecho	-	0	31	1	1
Cúbito Izquierdo	8	1	-	0	1
Fémur Derecho	20	1	9	1	2
Fémur Izquierdo	16	1	6	1	2
Mandíbula	-	0	17	1	1
Metatarsos #2 Derecho	-	0	28	1	1
Metatarsos #4 Derecho	-	0	29	1	1
Pelvis	33	1	-	0	1
Peroné Derecho	-	0	25	1	1
Peroné Izquierdo	-	0	24	1	1
Radio Derecho	3	1	-	0	1
Radio Izquierdo	-	0	5	1	1
Rótula Derecha	-	0	23	1	1
Rótula Izquierda	-	0	22	1	1
Tarso	-	0	36, 38, 39	3	3
Tibia Derecha	15	1	4	1	2
Tibia Izquierda	14	1	21	1	2
Vértebra #1	-	0	18	1	1
Vértebra #16	1	1	-	0	1
Vértebra #18	12	1	-	0	1
Vértebra #2	11	1	-	0	1
Vértebra #4	30	1	-	0	1
Vértebra Lumbar	32, 34	2	37, 40	2	4
Total		14		26	40

3.2 Protocolo Básico De Parámetros De Capturan fotográfica Para Modelado 3D

Fotogramétrico

Es fundamental reconocer que la secuencia de procedimientos no es rígida, ya que está intrínsecamente ligada a la naturaleza de la muestra y las características del contexto de registro fotográfico

3.2.1 Calibración De La Cámara

Una ventaja de la fotogrametría es el uso de cámaras fotográficas profesionales convencionales, sin embargo, se deben configurar parámetros para evitar “las distorsiones geométricas de la imagen” (Buzón y otros, 2021). Las variables por configurar en los parámetros serán primordiales en el resultado final, su implementación permitirá conocer la precisión del modelo 3D o panorama generado por software. Esto permitirá comprender si han existido y aplicado protocolos técnicos durante el proceso fotogramétrico realizado in situ o campo, laboratorio y software. De esta forma se garantiza la aplicación de estos protocolos técnicos cuya aplicación de credibilidad y validez a los datos y resultados obtenidos (Luengo, 2017).

3.2.2 Modo De Cámara Y Enfoque

Es preferible usar el modo manual propio de la cámara, esto asegura tener un alto control en los ajustes de exposición de la captura tales como el punto de enfoque, la calidad ISO, la velocidad del obturador y apertura. Todo esto para evitar zonas desenfocadas (Ballester, 2016).

3.2.3 Cerrar El Diafragma

Se debe cerrar el diafragma aumentando el número en la variable f , es decir $f/16$ o $f/22$ para reducir la cantidad de luz que ingresa al sensor (Ballester, 2016). Es necesario utilizar un trípode y aumentar el ISO para que la imagen capturada se mantenga enfocada (Morch & Luengo, 2016)

3.2.4 *Distancia Focal Fija*

Para obtener calidad de imagen con apertura amplia, se debe usar una distancia focal fija de 35mm o 50mm, se sugiere mantener la misma distancia focal al usar el zoom de la cámara, esto para evitar distorsiones que afecten el proceso de modelado tridimensional (Ballester, 2016).

3.2.5 *ISO*

Para no tener errores en el modelo 3D ni problemas al momento de identificar detalles, se debe aplicar el ISO bajo para disminuir el ruido en la imagen generada (Ballester, 2016).

3.2.6 *Velocidad De Obturación*

Para obtener imágenes nítidas se debe congelar el movimiento, esto se logra con una velocidad de obturación rápida a 1/125 o 1/160 segundos (Ballester, 2016).

3.2.7 *Formato De Imagen*

A pesar de que las cámaras profesionales permiten obtener imágenes de alta calidad en formato raw, se recomienda cambiar el formato de captura a JPG. Este formato es de gran calidad para el modelado 3d. La única diferencia entre los formatos es que raw ocupa más datos que JPG (Ballester, 2016). Una correcta calibración de la cámara permitirá capturas eficientes y menos rectificación de imágenes durante el modelado con el software 3D (Buzón y otros, 2021).

3.2.8 *Rotación Del Objeto A Ser Modelado*

Se recomienda rotar el objeto sobre una base giratoria para asegurar un modelo fotogramétrico de 360° durante la captura de las imágenes. La idea es generar como mínimo dos conjuntos de fotos que se superpongan, esto permitirá capturar la morfología completa del objeto desde múltiples puntos de vista (Morch & Luengo, 2016).

3.3 Captura Fotográfica De Las Muestras

Se usó una cámara profesional Sony Alpha DSLR-A350 con un sensor de 14.2 megapíxeles, para cada muestra osteológica se tomaron una serie individual de 3 sesiones de capturas de 20 fotografías sobre una plataforma rotatoria con una rotación de 10cm entre cada foto. Esto dio como resultado un total de 60, 80 y 100 fotografías por cada muestra osteológica desde 3 y 4 puntos de vistas distintos.



Ilustración 1 Sony Alpha DSLR-A350

Imagen bajo licencia [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Ilustración 2 Trípode Universal Pequeño

Imagen bajo licencia [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Adicionalmente, se requirió de 4 sesiones de captura fotográfica de 20 fotografías desde 4 distintos puntos de vista sobre una plataforma rotatoria con una rotación de 10cm entre cada foto, Esto dio como resultado la captura total de 80 fotografías por cada muestra osteológica.

Ilustración 3 Vista 1



Ilustración 4 Vista 2



Ilustración 5 Vista 3



Ilustración 6 Vista 4

3.3.1 Resolución de la imagen

- 4592 × 2576 píxeles (máxima resolución del sensor de 14.2 megapíxeles de la Sony DSLR-A350)

3.3.2 Calidad fotográfica

- Fina JPEG estándar 72 ppp (píxeles por pulgada).

3.3.3 Profundidad de color

- 24 bits, estándar JPEG (8 bits por canal de color (rojo, verde y azul)).

3.4 Configuración De La Toma Fotográfica De Larga Exposición

3.4.1 Longitud focal

- **45 mm** o **67.5 mm** en términos de formato completo Full Frame, distancia focal estándar para retratos o tomas generales (recorte del sensor APS-C)

3.4.2 Apertura

- **f/22** apertura muy cerrada para maximizar la profundidad de campo amplia (escena enfocada).

3.4.3 Tiempo De Exposición

- **4 segundos** toma de larga exposición para capturar escenas estáticas con poca luz.

3.4.4 ISO

- **100** valor más bajo y limpio, resultado con el menor ruido posible en condiciones controladas con uso de un trípode normal.

3.4.5 Flash

- **Sin flash, obligatorio**, no se usó iluminación adicional para larga exposición e ISO bajo.

3.4.6 Compensación de exposición (EXP)

- **0** no se aplicaron ajustes de brillo adicionales. La cámara capturó la exposición tal como la midió.

3.5 Flujo De Procesamiento Digital De Imágenes En Agisoft Metashape 2.1.4

Para el proceso del modelado 3D de cada muestra osteológica, se usó el juego completo de los 3 y 4 ángulos tomados en cada sesión fotográfica de cada muestra osteológica individual. Estas fueron procesadas de forma independiente en Agisoft Metashape Profesional 2.1.4.



Ilustración 7 Agisoft Metashape 2.1.4

Se eligió Agisoft Metashape (PhotoScan), ya que es una solución completa y avanzada en análisis de fotogrametría orientada para generar modelos 3D e ideal para reconstrucción 3D. su uso es debido a la alta precisión para generar modelos tridimensionales a partir de una serie de fotografías tomadas desde diferentes ángulos.

Este se usó para llevar el registro de datos y metadatos digitales de cada muestra osteológica, posprocesamiento y edición de las imágenes, finalmente el renderizado de gráficos 3D. se siguió el protocolo sugerido mediante una serie de 4 pasos básicos fijos (Forte M. , 2014)

1. Creación de Chunk de imágenes (60, 80 y 100 por cada muestra)
2. Alineación de las fotografías.
3. Construcción de la malla (geometría).
4. Construcción o generación de modelo 3D
5. Texturizado.
6. Exportación de la ortofoto o modelo 3D final.

3.5.1 Creación De Chunk De Imágenes

Para este paso, se ubicó el apartado Chunk, posteriormente se seleccionó agregar imágenes, para esto se agregaron entre 60, 80 y 100 fotos por cada muestra desde la respectiva carpeta de cada muestra.

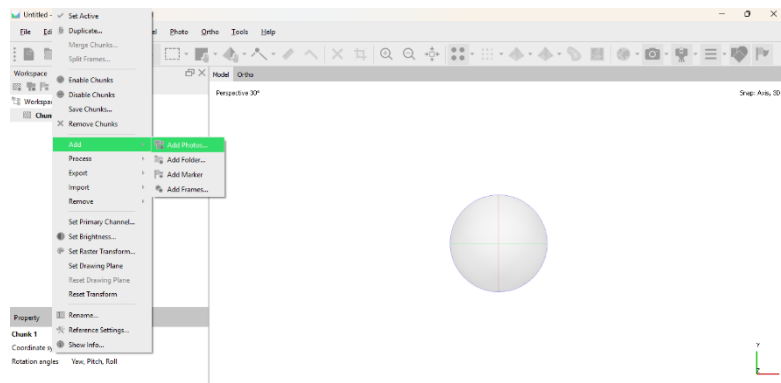


Ilustración 8 Proceso de Creación De Chunk De Imágenes

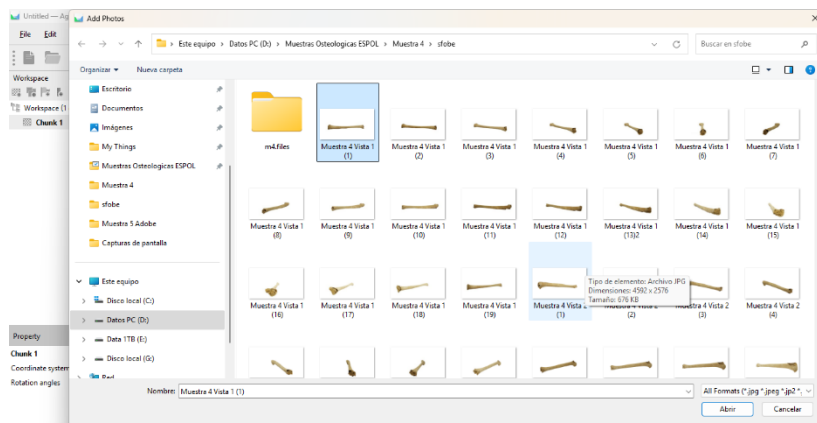


Ilustración 9 Proceso De Agregación De Imágenes Desde La Carpeta De Cada Muestra

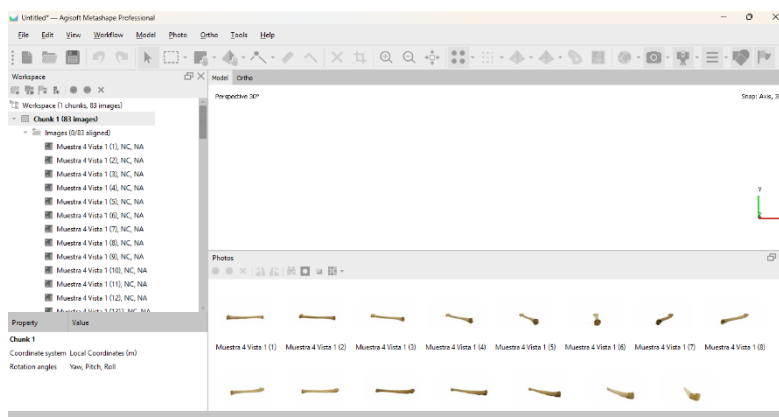
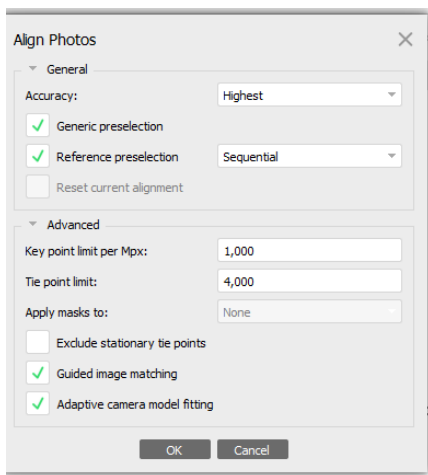


Ilustración 10 Vista Final Con Las Imágenes Agregadas Al Área De Trabajo De Metashape 2.1.4

3.5.2 Alineación de las fotografías

En este paso Metashape identifica automáticamente y empareja los puntos comunes y característicos como esquinas y texturas existentes entre las diferentes fotografías. Esto se hace con el objetivo de calcular la orientación y la posición relativa (en este caso fija) de la cámara al momento de tomar cada imagen. Esto permite reconstruir la escena en 3D.



De las múltiples configuraciones de modo que posee Metashape, se eligió la calidad más alta, la preselección de las imágenes se configuro en modo de *referencia secuencial*, esto debido a que las fotografías capturadas seguían una secuencia de movimiento de 10cm por cada foto capturada. Se eligió un Ajuste *adaptivo de modelo de cámara y emparejamiento guiado* automático del punto de captura de las fotografías.

Ilustración 11 Configuración Usada (20 - 100 fotografías)

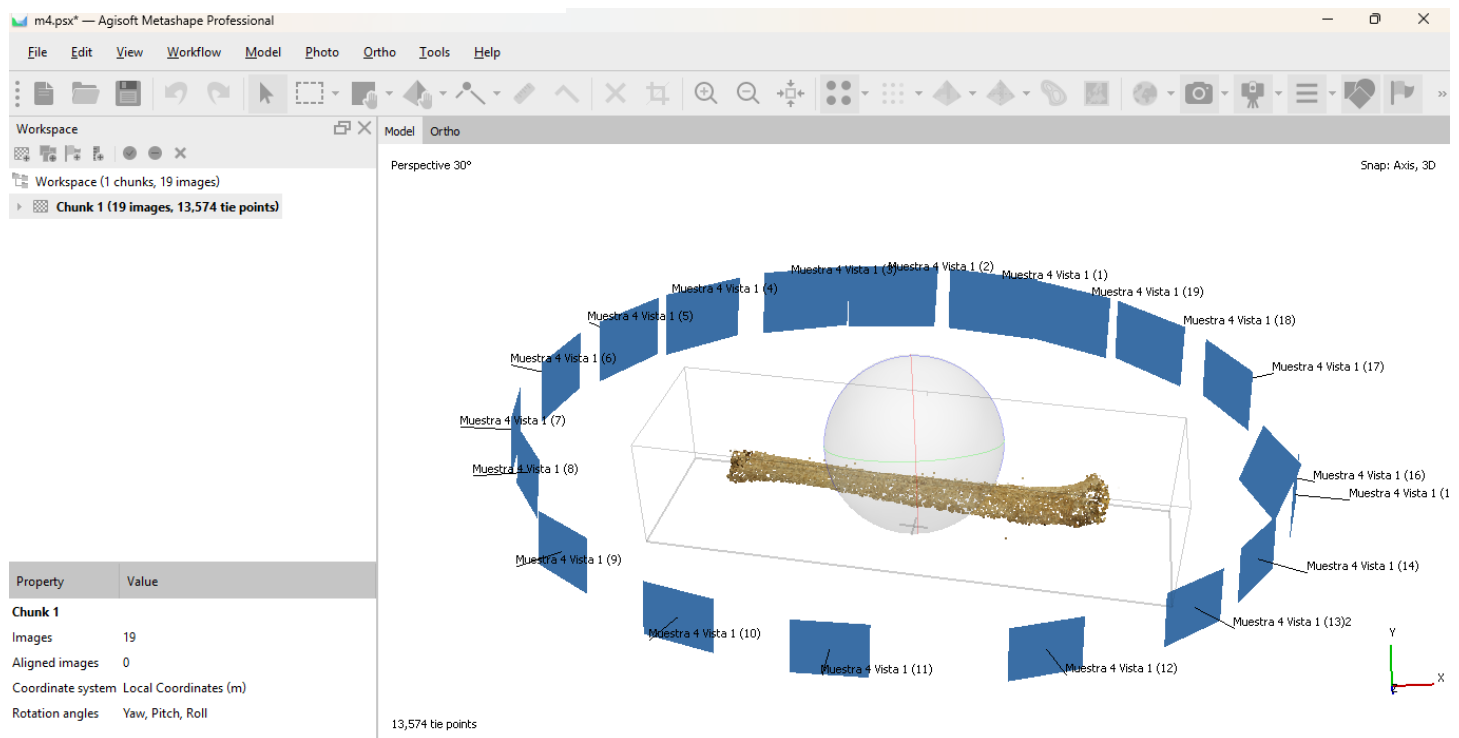


Ilustración 12 Alineación Correcta De 19 Fotografías Frontales De Una Misma Muestra

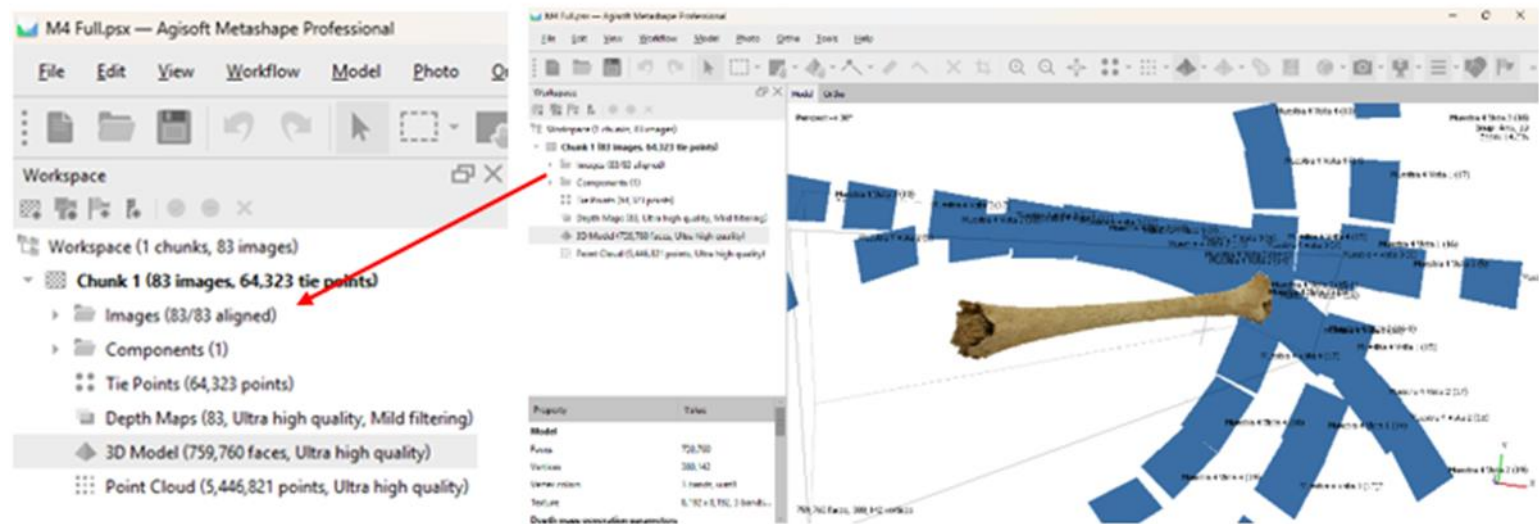


Ilustración 13 83 Fotografías Agregadas Al Chunk Con Resultado De 83 Fotografías Alineadas (100% Efectividad)

Tabla 3 Porcentaje De Fotografías Alineadas Por Metashape Según La Cantidad De Fotografías Agregadas Al Chunk Por Cada Muestra

Modo Alineación	Tipo De Fotografías Por Muestra	# Vistas	Fotografías Por Muestra Agregadas Al Chunk	Fotografías Alineadas Metashape 2.1.4 Por Muestras	Efectividad
Secuencial	Captura Frontal	3	57	57	100%
Secuencial	Captura Frontal	4	76	76	100%
Secuencial	Captura Frontal	5	95	95	100%

3.5.3 Construcción Nube de Puntos

3.5.3.1 Generación de Nube de Puntos Esparsa

Esta generación de puntos es un primer borrador del modelo 3D. Es básicamente de un conjunto de puntos que el software identifica automáticamente en las imágenes. Estos puntos son las esquinas, bordes y texturas únicas que permiten a Metashape establecer correspondencias entre las diferentes fotografías agregadas y orientadas en el mismo modelo. Aquí se crea una estructura de triángulos que conecta los puntos, formando una malla básica inicial.

La configuración seleccionada fue *Origen de datos: Mapas de profundidad*, esto nos asegura que los datos serán obtenidos de los píxeles de las fotografías tomadas, se utilizarán para crear el modelo para calcular la geometría 3D. *Calidad: Extra alta*, aquí estamos definiendo el nivel de precisión y detalles. En *Número de caras por megapíxel: Alta*, es la densidad del modelo final en detalles geométricos.

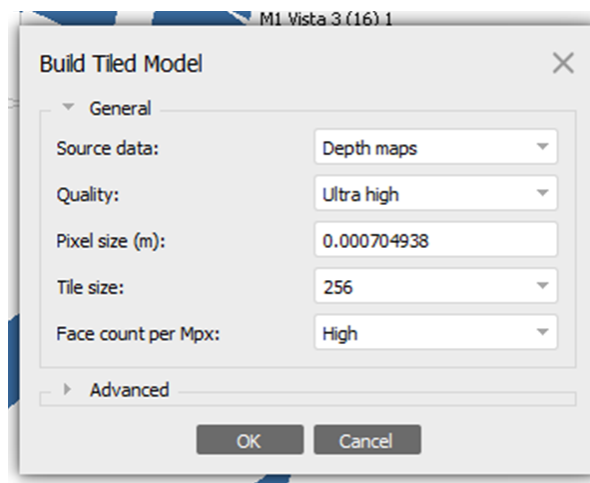


Ilustración 14 Configuración Puntos Esparsa

3.5.3.2 Generación de Nube de Puntos Densa

Generar esto nos permite una representación más detallada y completa del objeto. Se calcula la posición en el espacio 3D de cada píxel de las imágenes capturadas. Cada punto representa un píxel de la imagen original.

En esta sección elegimos usar la calidad existente más alta, desmarcamos la casilla ‘reusar mapa de profundidad’ ya que procederemos a crear una nube de puntos más densa que la nube Esparsa creada anteriormente, de esta forma Metashape generara una nube de puntos de pixeles sumamente detalla en términos de calidad.

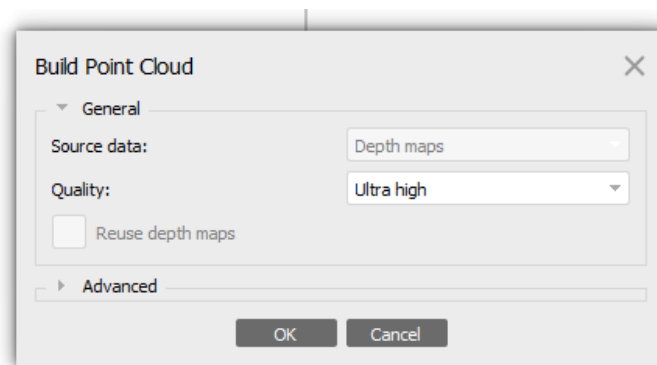


Ilustración 16 Configuración De Nube De Puntos Densa

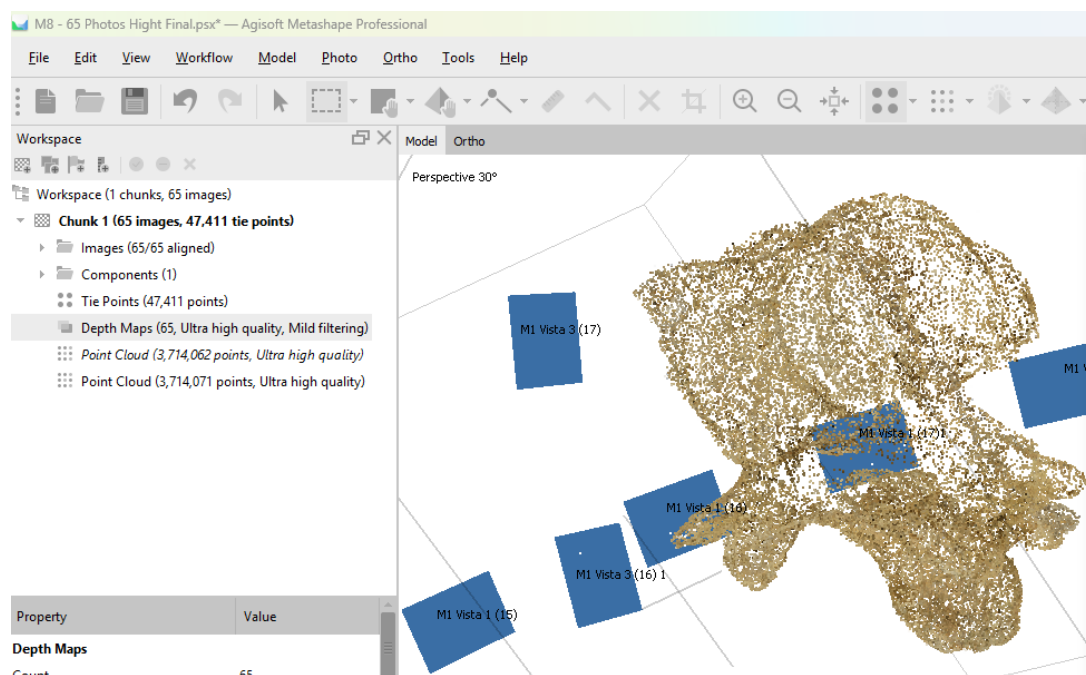


Ilustración 17 Creación De Una Nube De Puntos Densa En Máxima Calidad

3.5.4 Construcción Malla

La nube de puntos densa nos permite obtener una malla 3D como representación poligonal del objeto. Está compuesta por una serie de vértices conectados por aristas, formando caras poligonales (generalmente triángulos).

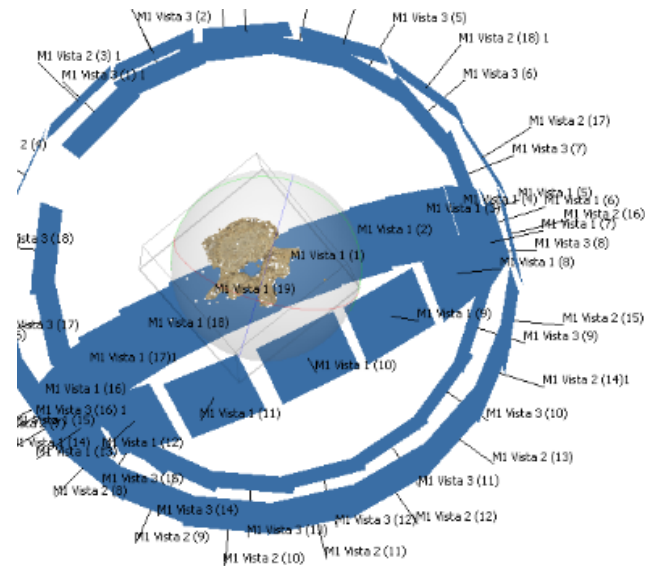


Ilustración 18 Malla 3D Final De Una Muestra De Vértebra

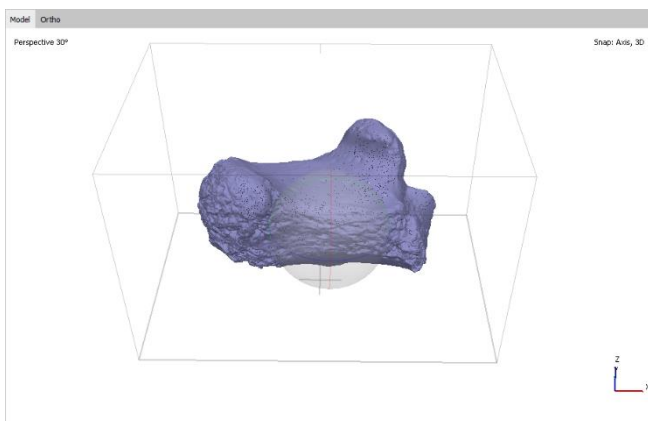


Ilustración 19 Vista De La Malla Poligonal En Una Muestra De Calcáneo

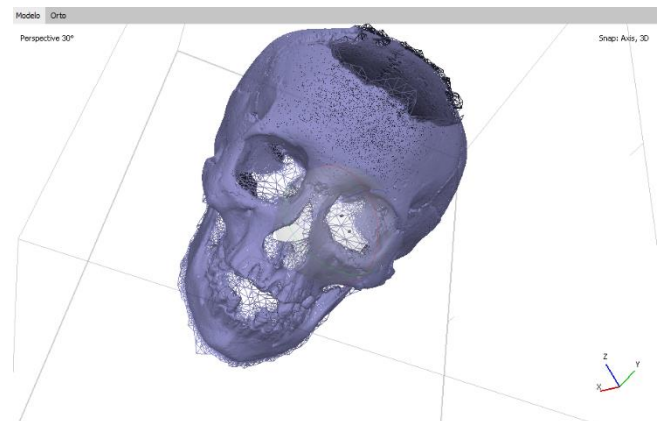


Ilustración 20 Vista De La Malla Poligonal En Una Muestra De Cráneo

3.5.5 Generación Del Modelo 3D

El parámetro de calidad usado fue *Ultra Alto* (Ultra Light), como origen de datos seleccionamos *Mapa De Profundidad* (Deep Maths). Número de caras: *Alta* (High). Debemos desmarcar la casilla *Interpolación*. Seleccionamos *Filtrado De Profundidad Agresivo*.

El resultado de la configuración seleccionada anteriormente nos permite obtener una representación visual 3D y matemática de la muestra ósea fotografiada y procesada en Metashape. Una vez realizado este paso podemos proseguir con la texturización, renderización y finalmente exportación o manipulación del modelo 3D en diferentes aplicaciones o visores 3D.

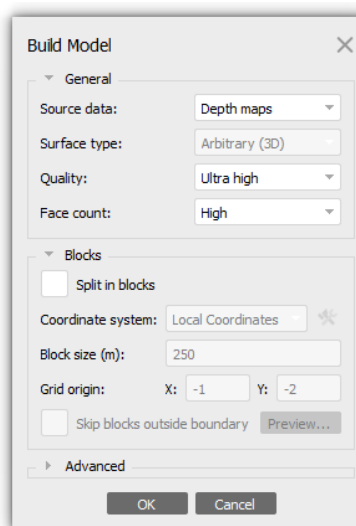


Ilustración 22 Configuración De Parámetros Para La Generación Del Modelo 3D

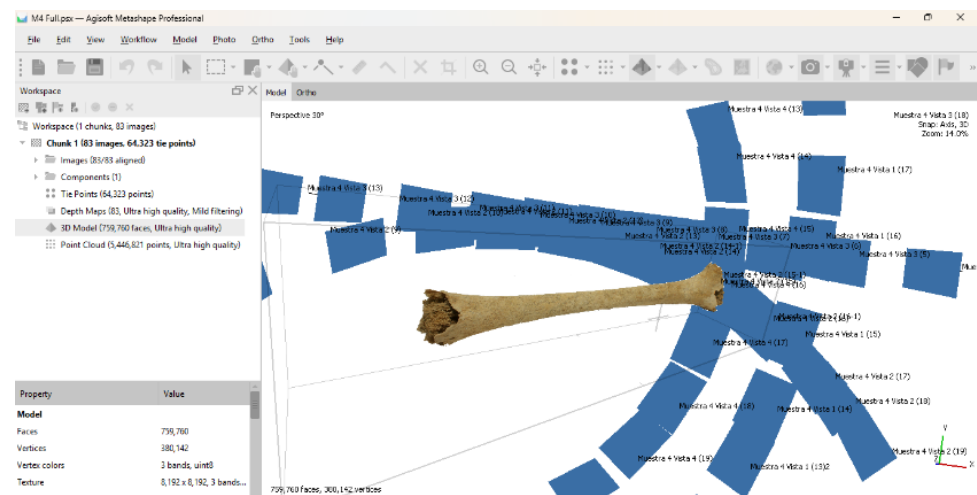


Ilustración 21 Modelo 3D Generado A Partir De 83 Imágenes Procesadas

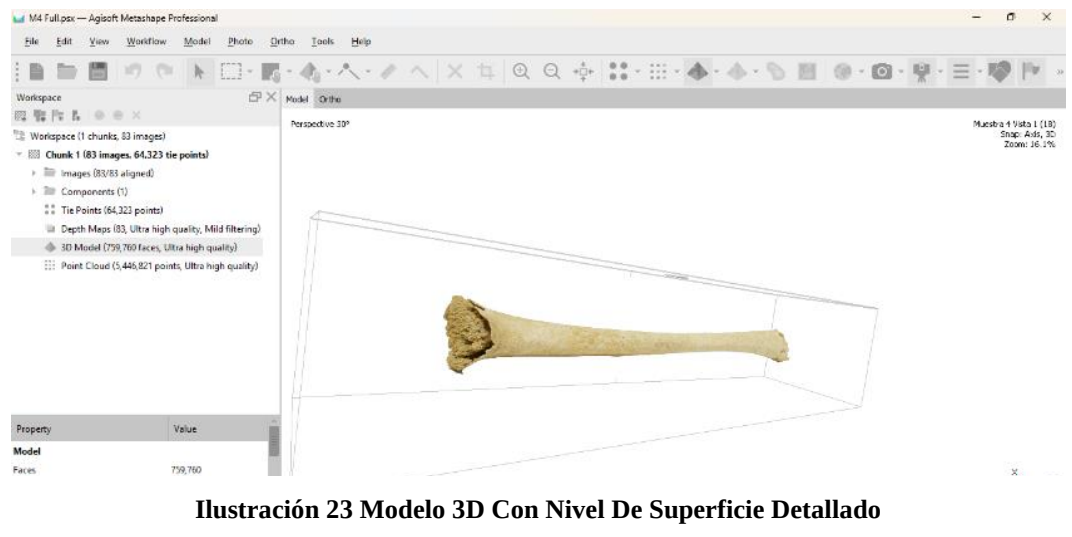


Ilustración 23 Modelo 3D Con Nivel De Superficie Detallado

3.5.6 Texturizado

Metashape analizó las fotografías de la muestra desde sus 4 distintas vistas y aplicó la textura de la muestra contenida en el conjunto de imágenes fotográficas capturadas de la muestra osteológica a la superficie de nuestro modelo 3D obtenido anteriormente.

Como resultado del proceso de Texturizado en configuración básica se obtuvo un resultado básico en términos de calidad, mientras que con las configuraciones de máxima calidad obtuvimos un modelo 3D realista en detalles superficiales, estos detalles incluyen forma, color, bordes e irregularidades presentes en la superficie de la muestra ósea original.

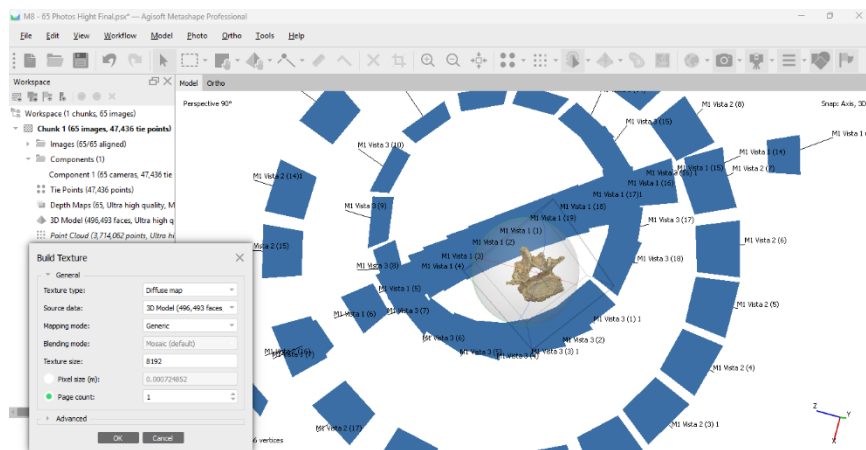


Ilustración 25 Configuración De Parámetros Para Creación De Texturizado

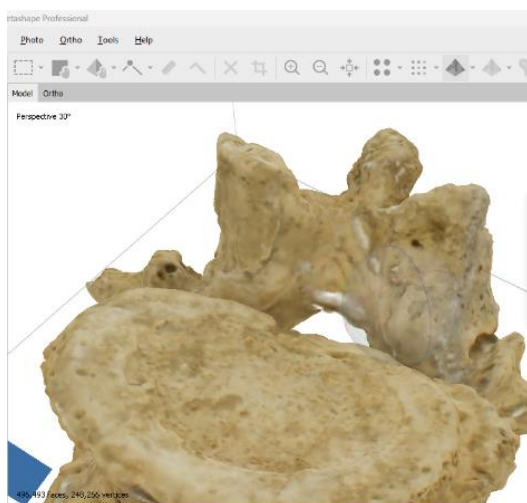


Ilustración 26 Resultado De Texturizado Básico Aplicado A Vértebra



Ilustración 24 Resultado De Texturizado Máxima Calidad Aplicada En Cráneo

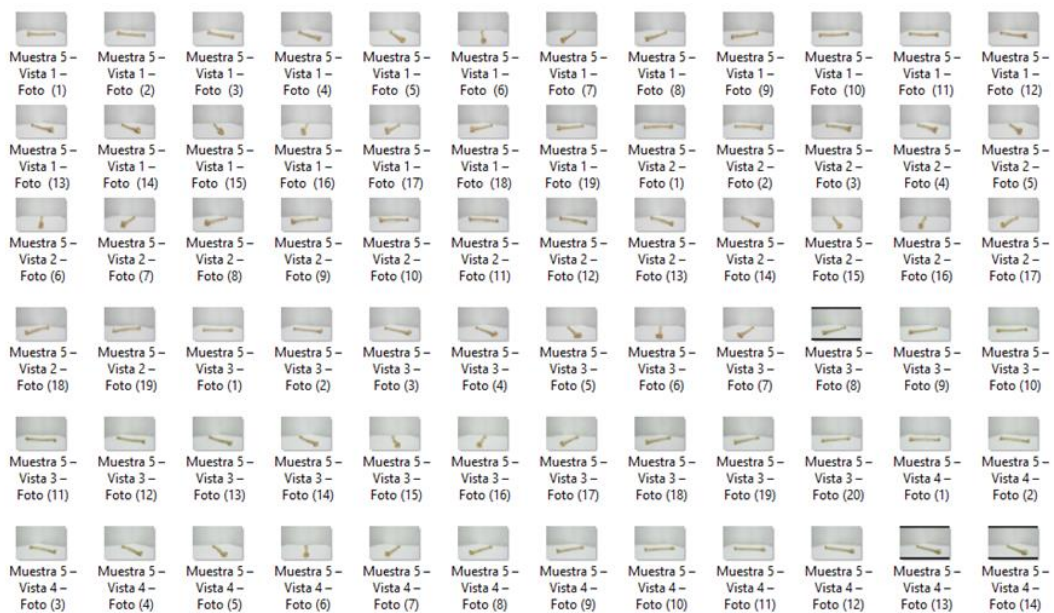
Capítulo 4

4 Resultados

Los resultados permitieron la creación de una base de datos organizada y accesible de muestras osteológicas digitalizadas. Se implementó un protocolo de fotogrametría optimizado para la generación de modelos 3D de excelente calidad usando una cámara fotográfica profesional. Además de lograr de forma exitosa el uso del software Agisoft Metashape 2.1.4 con parámetros de procesamiento ajustados para material óseo humano o animal. La base de datos incluye imágenes originales etiquetadas e información para acceso a las muestras. Adicionalmente, se propuso la publicación de los modelos 3D en la plataforma Sketchfab para ampliar su difusión y accesibilidad de forma gratuita.

4.1 Base De Datos Organizada

Se logró generar una base de datos organizada de cada muestra osteológica procesada, esta base incluye las fotografías reales capturadas mediante el proceso de fotogrametría mencionado anteriormente en la metodología. Estas imágenes fotográficas están catalogadas con las etiquetas Muestra #X – Vista #X – Foto #X para la correcta ubicación de la muestra y su respectivo número de vista durante el proceso fotográfico.



**Ilustración 27 Fotografías Originales Con Sus Respectivos Metadatos Muestra #X – Vista #X
– Foto #X**

Estas imágenes originales etiquetadas junto con su información relevante para su conservación, estudio y accesibilidad. La estructura de la base de datos, con carpetas individuales para cada muestra y un sistema de nomenclatura claro para las imágenes, facilita la gestión y el acceso a los recursos digitales.

También se generó una base de datos de las imágenes editadas, a las cuales se les removió el fondo mediante un software de edición. Este proceso se realizó tras la captura de las fotografías mediante fotogrametría. Las imágenes resultantes, con fondo blanco, se utilizaron para el siguiente proceso con Metashape Agisoft 2.1.4. Cada fotografía editada conserva sus metadatos y sus respectivos nombres codificados como Edit-Muestra #X – Vista #X – Foto #X.

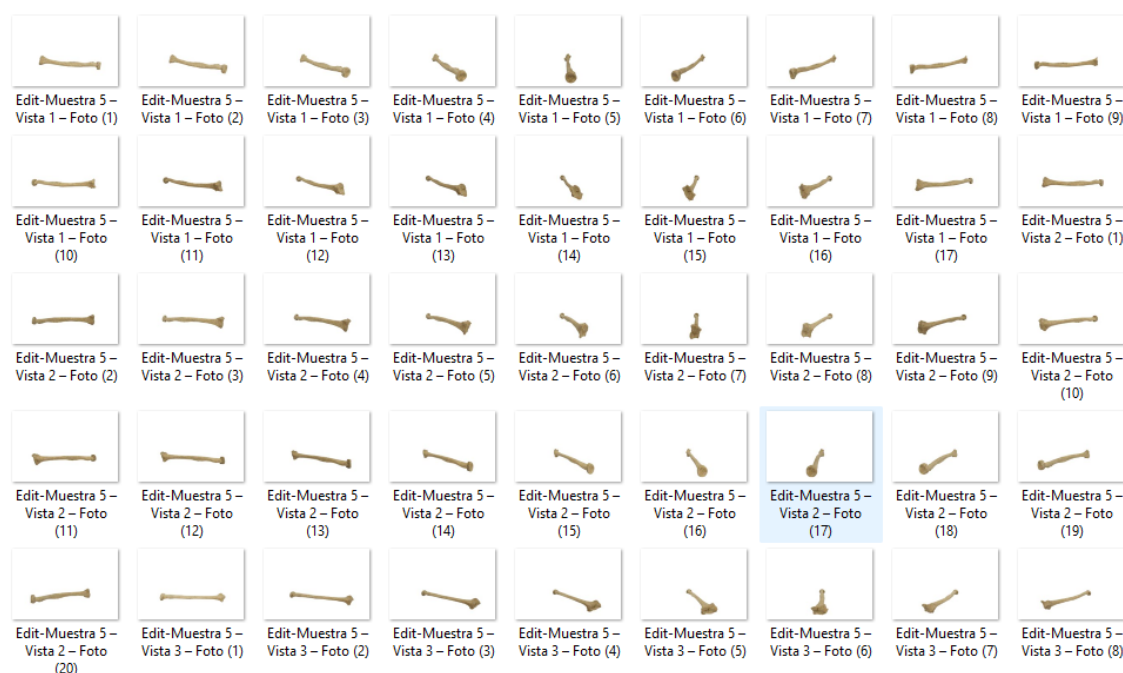


Ilustración 28 Fotografías Editadas Codificadas: Edit-Muestra #X – Vista #X – Foto #X

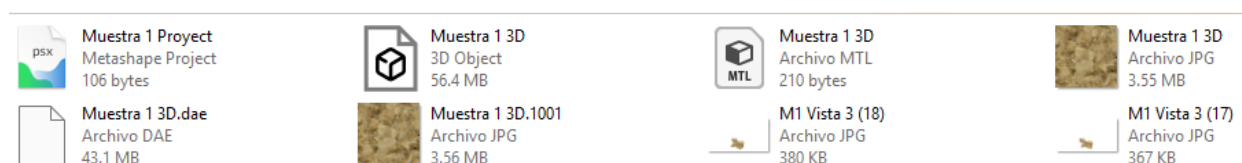


Ilustración 29 Base de Datos 3D OBJ +PSX+MTL+XTML

4.2 Generación De Modelos Tridimensionales De Las Muestras Osteológicas Mediante Agisoft Metashape 2.1.4

La aplicación de la fotogrametría sumado a el procesamiento digital fotogramétrico en Metashape, dio como resultado la generación de modelos 3D de alta calidad de las muestras óseas pertenecientes a la colección osteológica de ESPOL

La correcta aplicación de los parámetros de procesamiento 3D en Metashape permitieron recrear en el plano digital de la superficie del modelo 3D la textura de la muestra ósea original. Esto se logró en base a las imágenes fotográficas capturadas en el laboratorio. Estas imágenes fotográficas ha sido la base fundamental para recrear virtualmente el color, textura y los detalles superficiales del material óseo original.



Ilustración 30 Fotografía Original De Muestra Ósea #4

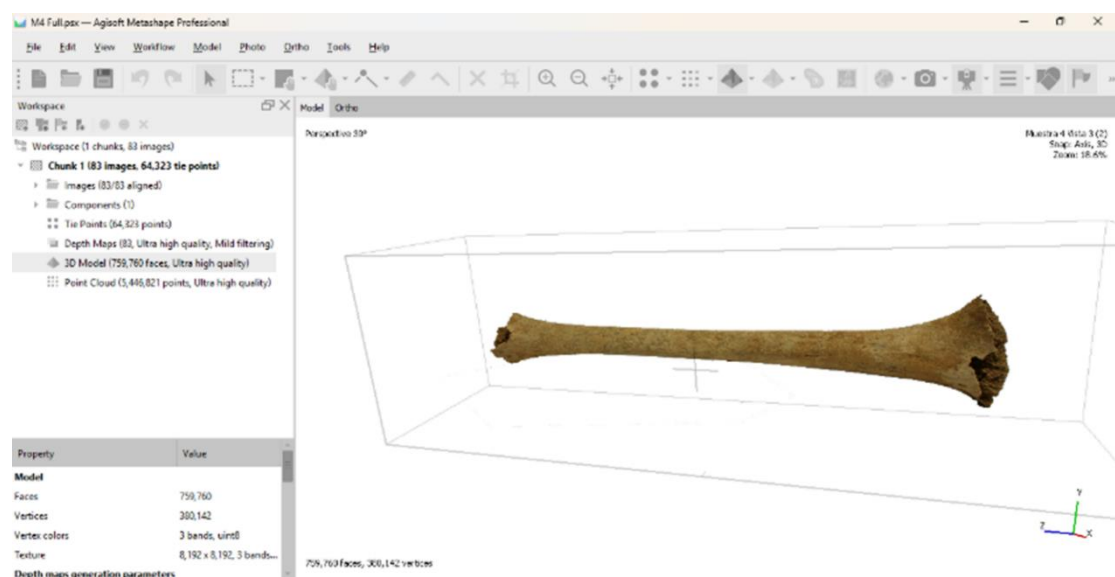


Ilustración 31 Modelo Digital 3D Final De La Muestra 4

Este proceso permitió obtener una representación tridimensional precisa en términos de geometría y también en cuanto a la apariencia visual. En modelos resultados podemos la fidelidad de los colores y características superficiales de la muestra original, incluyendo bordes, irregularidades y profundidad.

Los modelos 3D generados mantienen la información original de color en cada punto de la nube de puntos densa creada. Los colores asignados por Metashape son fieles referentes de los colores originales de las imágenes fotográficas. El modelo exportado contiene puntos que han sido proyectados sobre un plano horizontal para crear una representación bidimensional (imagen plana) de la muestra. Metashape elimino las posibles distorsiones del relieve. De esta forma cada píxel representa una proyección vertical precisa de un punto de la muestra ósea.

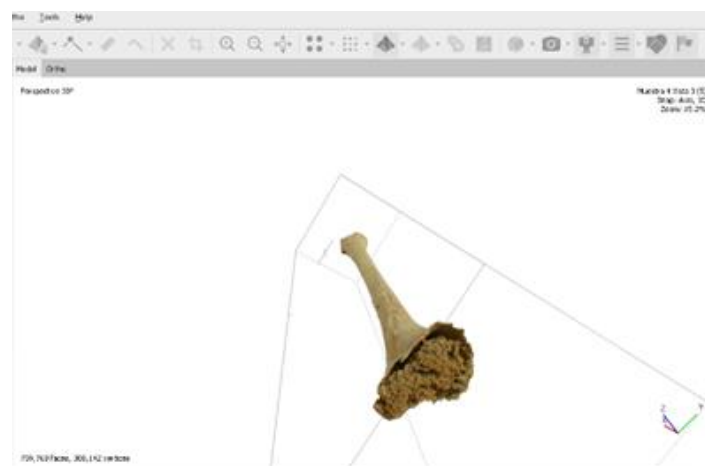


Ilustración 32 Modelo 3D Final De La Muestra #4 Vista Lateral

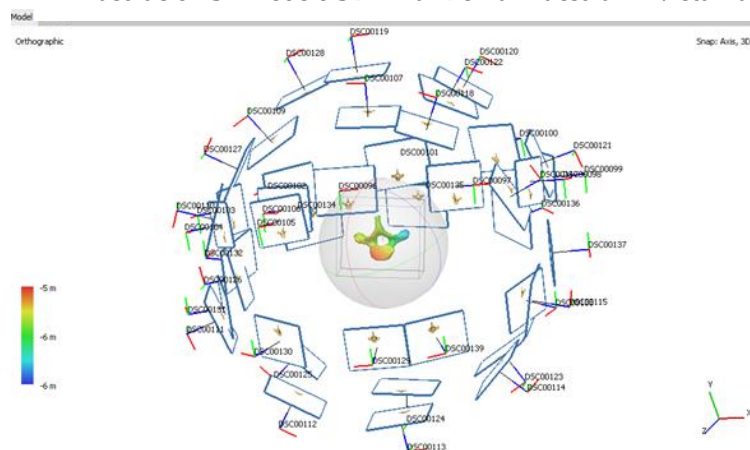


Ilustración 33 Modelo 3D Vista de Elevación

Metashape nos permitió exportar el modelo 3D final como formato OBJ para amplia compatibilidad con software de diseño y análisis 3D. Adicionalmente, existe la posibilidad de opciones de exportación en formatos FBX, 3DS y PLY, lo que facilita la adaptación a diferentes requerimientos y plataformas o software de trabajo de modelamiento y edición de archivos en formato OBJ.



Ilustración 34 Muestra Final De Una Muestra Ósea En Un Visor 3D

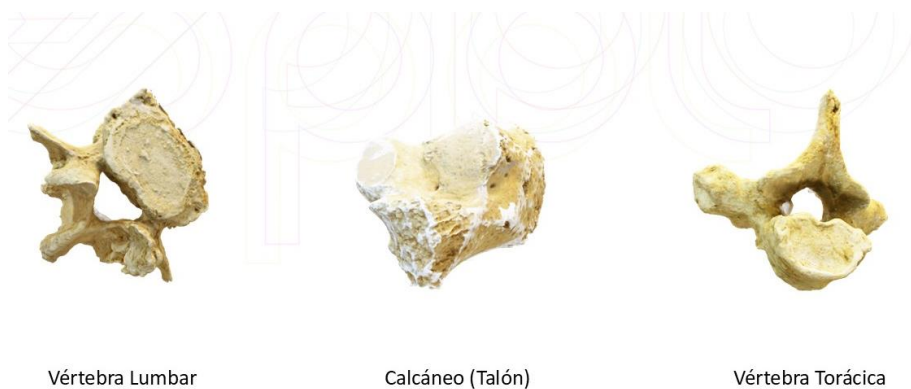


Radio (Brazo)

Fémur (Pierna)

Cubito (Brazo)

Ilustración 35 Vista Previa De Los Modelos 3D



Vértebra Lumbar

Calcáneo (Talón)

Vértebra Torácica

Ilustración 36 Vista Previa De Modelos 3D

4.3 Modelos 3D De La Colección Osteológica De La Espol En SketchFab

Los resultados demostraron la viabilidad existente de aplicar las técnicas de modelado 3D a las muestras de la colección osteológica de la Espol. Esto se complementó con la integración en plataformas virtuales de libre acceso. Los modelos 3D resultantes fueron integrados en la plataforma Sketchfab de libre acceso, lo que permitió su visualización en formato 3D interactivo. De esta manera, se facilitó el análisis detallado de las características morfológicas de cada pieza.



**Ilustración 38 Resultados Parciales Digitalizados
Como Modelos 3D**



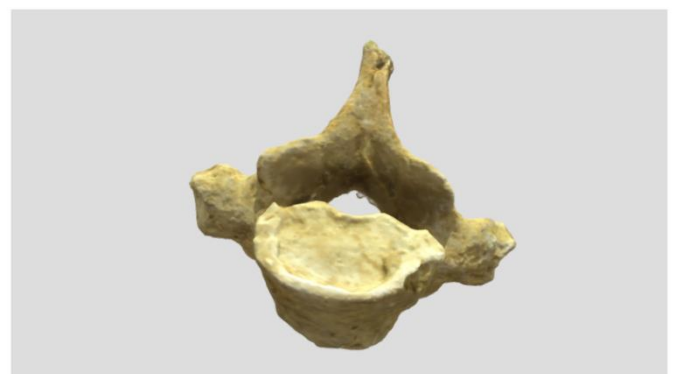
Tibia Derecha (Muestra 4)
3D Model

Ilustración 37 Muestra #4 3D



Vértebra Lumbar # 7 (Muestra 1)
3D Model

Ilustración 39 Muestra #1 3D



Vertebra Lumbar 3 (Muestra 11)
3D Model

Ilustración 40 Muestra #11 3D

Capítulo 5

5 Conclusiones Y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

El proyecto cumplió con los objetivos específicos, ya que logró digitalizar el patrimonio bioarqueológico de la ESPOL mediante la creación de una base de datos organizada, la aplicación fotogramétrica y la generación de modelos 3D.

La base de datos contiene imágenes originales etiquetadas e información relevante para la preservación y archivado de datos para la conservación, estudio y accesibilidad de las muestras osteológicas. Además, los modelos 3D sirven como copia de seguridad digital, protegiendo las piezas físicas de pérdidas, degradación o daños. Estas copias digitales se podrían actualizar constantemente para registrar los cambios en las muestras a lo largo del tiempo.

Se estableció un protocolo de fotogrametría óptimo para la digitalización de material óseo, lo que permitió la generación de modelos 3D de óptima calidad que reflejasen con precisión la textura, el color y los detalles superficiales de las muestras óseas originales. Se consideraron parámetros específicos para los huesos (color, textura, fragilidad) en el software Agisoft Metashape 2.1.4 para optimizar el proceso de digitalización y garantizar la fidelidad de los modelos 3D.

Los modelos 3D se integraron en la plataforma Sketchfab para un acceso abierto y divulgación, esto facilita su visualización en formato 3D interactivo y su análisis detallado. Esta plataforma permite que los modelos 3D sean accesibles para investigadores, estudiantes y el público en general, lo que fomenta el estudio y la difusión del patrimonio osteológico de la ESPOL. Además, los modelos 3D pueden utilizarse para realizar análisis morfométricos y comparaciones detalladas entre distintas muestras y poblaciones.

Los modelos 3D pueden utilizarse como material didáctico de educación y realidad virtual en cursos de antropología física, bioarqueología o arqueología como recursos digitales educativos. Esto facilitará la comprensión de su anatomía y función. Estos modelos virtuales 3D también

pueden integrarse en posibles entornos de realidad virtual, permitiendo una experiencia inmersiva en la enseñanza y estudio anatómico de las muestras.

Finalmente, el proyecto logró crear un archivo virtual del patrimonio bioarqueológico de la ESPOL, lo que garantiza su preservación y accesibilidad a largo plazo. Los modelos 3D generados tienen múltiples aplicaciones en la investigación, la educación y la divulgación del patrimonio osteológico, lo que contribuye a su estudio y conservación.

5.2 Recomendaciones

Fotografías no alineadas, se debe tener en cuenta que a pesar de que Metashape 2.1.4 es un software potente al momento de alinear las fotografías de las muestras osteológicas, no siempre se lograra el alineamiento correcto de estas. En varias muestras osteológicas capturadas (15), las fotografías no lograron pasar proceso de alineamiento debido a que no fueron tomadas con una configuración correcta de cámara o por factores de mala iluminación. En estos casos Metashape *no proceso de manera correcta las fotografías en ninguno de los 3 modos de alineamiento (modo 1: origen – modo 2: estimado y modo 3: secuencial)*. Lamentablemente, estas muestras osteológicas fotografiadas que no pueden ser alineadas bajo ningún modo de alineamiento, no podrán ser usadas para los siguientes procesos ni mucho menos para generar un modelo 3D.

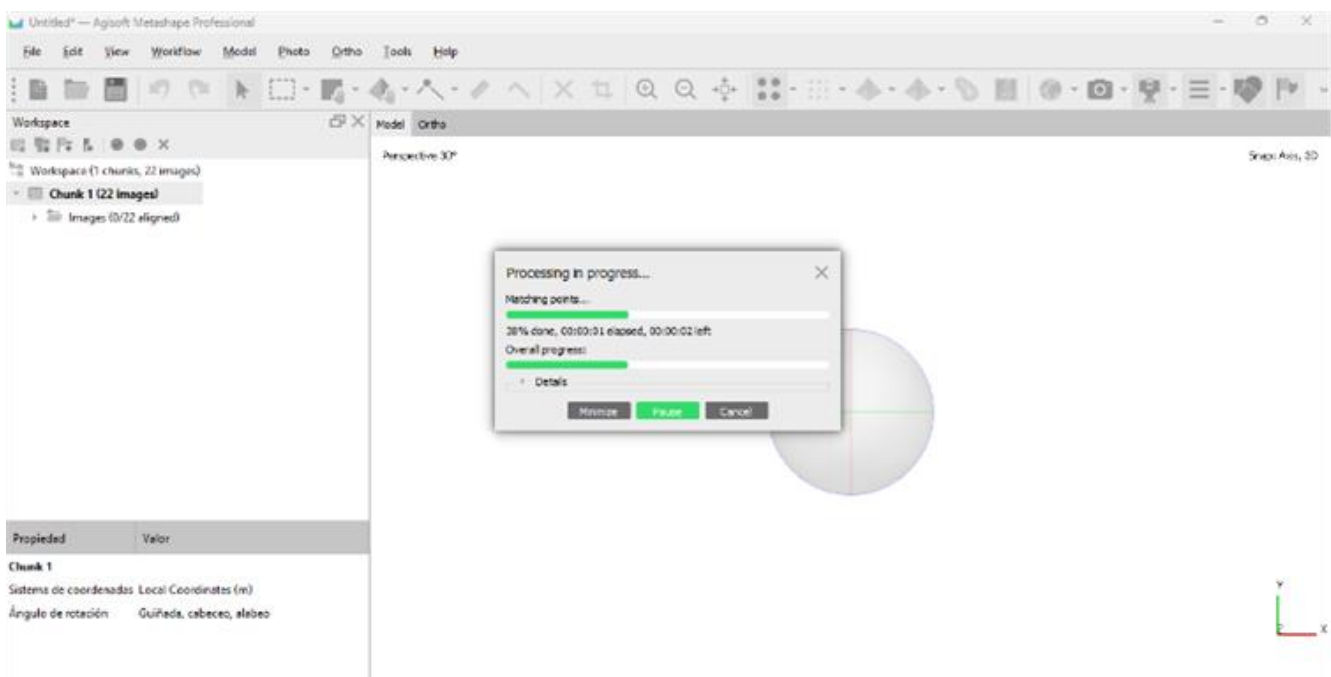


Ilustración 41 Alineamiento De Fotografías Mediante Modo Secuencial

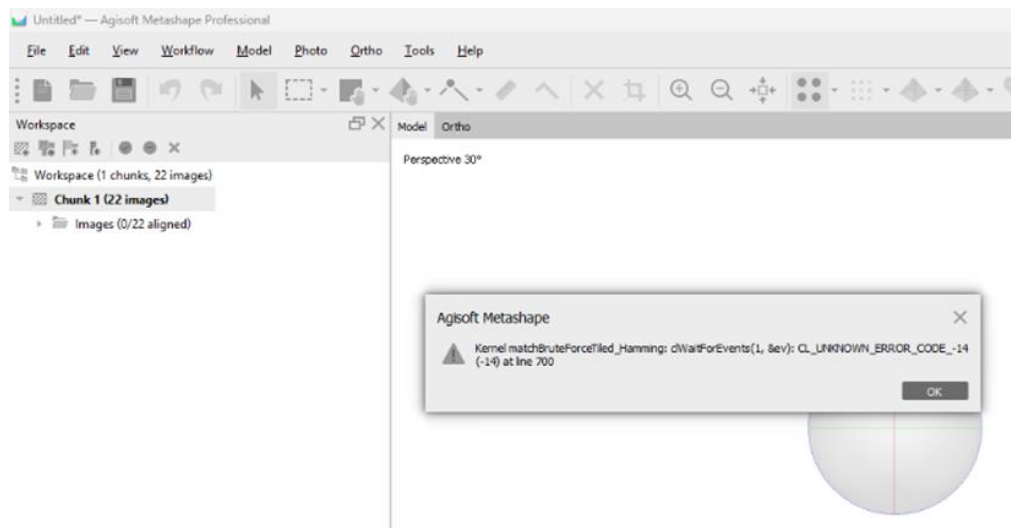


Ilustración 42 Resultado Fallido Al Alinear Imágenes Fotográficas

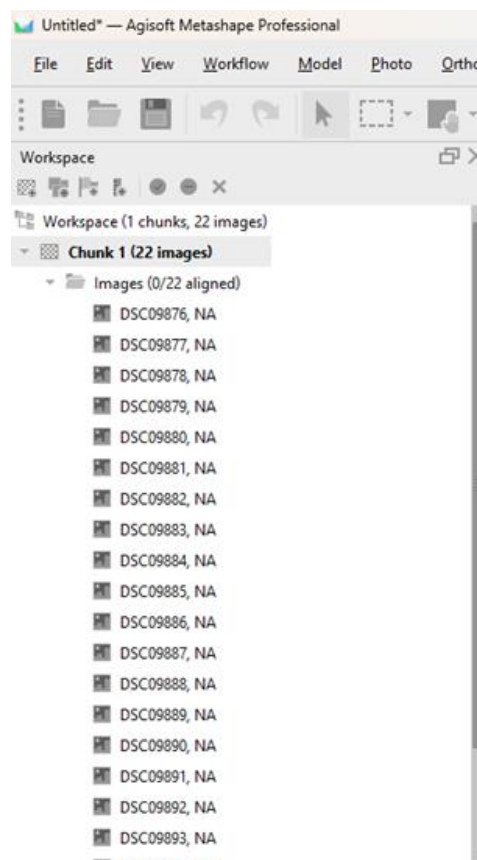


Ilustración 43 Resultado Incorrecto: 0/22 - N/A No Aligned

Se propone expandir la base de datos digital existente, mediante la producción e incorporación online de más muestras osteológicas y la disponibilidad de estas mediante sus modelos en formato OBJ. La finalidad es optimizar el acceso, el análisis y la manipulación de las muestras 3D de manera online y así impulsar las investigaciones.

Bibliografía

- Acevedo, D. V., & Staropoli, L. (December de 2023). La digitalización de la arqueología en un mundo de patrimonio virtual y Ciencia Abierta (Versátil, Flexible y Expeditiva). *Revista del Museo de Antropología*, 377-394. <https://doi.org/10.31048/1852.4826.v16.n2.42498>
- Arellano, N. (2023). contextos funerarios del sitio arqueológico Real Alto, durante la fase Valdivia III.
- Ballester, A. M. (2016). Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología. *DAMA. Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico*. <https://doi.org/10.14198/dama.2016.1.10>
- Barberà, G. A. (December de 2017). Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. *Unicum*, núm. 17, 153-162.
- Bendicho, V. M., & SEAV-ICOMOS. (December de 2017). The Seville Principles (International Principles Of Virtual Archaeology). *The Seville Principles (International Principles Of Virtual Archaeology)*.
- Buzón, C., Perez-Romero, A., Castro, J. L., Ben Jerbania, I., & Manzano-Agugliaro, F. (May de 2021). Photogrammetry as a New Scientific Tool in Archaeology: Worldwide Research Trends. *Sustainability*, 13, 5319. <https://doi.org/10.3390/su13095319>
- Cabrera-Revuelta, E. (January de 2016). Fotogrametría Terrestre. Trabajos Previos a la toma de datos. *Revista EGE*, 9, 33-35.
- Centro de Investigación Museo Salango. (2020). *Museo Salango*. Obtenido de Museo Salango – Centro de Investigación Museo Salango: <https://cimsalango.ec/>
- Conte, B., & Robledo, A. (April de 2020). Aplicación de tecnologías 3D en sitios arqueológicos del valle de Ongamira, Córdoba, Argentina. Fotogrametría en excavaciones y morteros arqueológicos. 13, 273-280. <https://doi.org/10.31048/1852.4826.v13.n1.23900>
- Cordero, M. (February de 2017). El uso de fotogrametría de bajo coste en la creación de nubes de puntos aplicada a la arqueología comercial. *Revista Otarq: Otras arqueologías*, 311. <https://doi.org/10.23914/otarq.v0i1.101>
- Evin, A., Souter, T., Hulme-Beaman, A., Ameen, C., Allen, R., Viacava, P., . . . Dobney, K. (October de 2016). The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.028>

- Forte, M. (March de 2014). 3D Archaeology New Perspectives and Challenges—The Example of Çatalhöyük. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology & Heritage Studies*, 2. <https://doi.org/10.5325/jeasmedarcherstu.2.1.0001>
- Forte, M., Dell'Unto, N., Issavi, J., Onsurez, L., & Lercari, N. (2012). 3D Archaeology at Çatalhöyük. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1, 351-378. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.3.351>
- Huggett, J. (March de 2015). A Manifesto for an Introspective Digital Archaeology. *Open Archaeology*, 1. <https://doi.org/10.1515/opar-2015-0002>
- Izeta, A., Prado, I., & Cattaneo, R. (July de 2021). Sentando las bases para una Arqueología Digital en Argentina. El rol de las infraestructuras digitales para la investigación. *InterSecciones en Antropología*, 22. <https://doi.org/10.37176/iea.22.1.2021.595>
- Kansa, E., & Kansa, S. (February de 2021). Digital Data and Data Literacy in Archaeology Now and in the New Decade. *Advances in Archaeological Practice*, 9, 81-85. <https://doi.org/10.1017/aap.2020.55>
- Luengo, G. F. (June de 2017). La profundidad de campo en la fotogrametría arqueológica.
- Martire, A. (January de 2022). “Nessun Dorma” - A Arqueologia Digital e a atuação do grupo de pesquisa ARISE em tempos de pandemia. *Revista de Arqueologia*, 35, 195. <https://doi.org/10.24885/sab.v35i1.954>
- Morch, L.-O., & Luengo, F. J. (June de 2016). Fotogrametría al servicio de la paleoantropología.
- Morgan, C. (October de 2022). Current Digital Archaeology. *Annual Review of Anthropology*, 51. <https://doi.org/10.1146/annurev-anthro-041320-114101>
- Palacios, I. (October de 2023). Fotogrametría aérea con UAV como herramienta para la conservación de sitios arqueológicos. Caso de estudio: Complejo La Esperanza. *Antropología Cuadernos de Investigación*, 59-70. <https://doi.org/10.26807/raci.vi28.307>
- Quirós, E. (February de 2015). *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*.
- Rivas, D. (2021). Primeras evidencias de deformación craneal intencional durante las fases II y III de la cultura Valdivia (c. 3,300 – 2,400 a.C.) en el sitio Real Alto. .
- Santos, P., Ritz, M., Fuhrmann, C., & Fellner, D. (May de 2017). 3D mass digitization: a milestone for archeological documentation. *Virtual Archaeology Review*, 8, 1. <https://doi.org/10.4995/var.2017.6321>
- Staropoli, L., Acevedo, D. V., Avido, D., & Vitores, M. (July de 2023). Reflexiones en la práctica de la arqueología digital: la construcción y comunicación del patrimonio cultural virtual. *Virtual Archaeology Review*, 14, 118-135. <https://doi.org/10.4995/var.2023.19292>

