

**ARQUEOLOGÍA VIRTUAL.
DIGITALIZACIÓN DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS POR MEDIO DE DATOS
FOTOGRAMÉTRICOS Y REPOSITORIO 3D**

Por Karen Nathalia Torres Rojas

Monografía de grado para obtener el título de antropóloga

Asesor

Carlos Andrés Reina

Arqueólogo especialista en Patrimonio Cultural Sumergido

Director

Doctor Hernando Javier Giraldo Tenorio

Universidad del Cauca

2023

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

La monografía presentada por

Karen Nathalia Torres Rojas

Fue sustentada el

y aprobada por

**ARQUEOLOGÍA VIRTUAL
DIGITALIZACIÓN DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS POR MEDIO DE DATOS
FOTOGRAMÉTRICOS Y REPOSITORIO 3D**

Karen Nathalia Torres Rojas

Universidad del Cauca, 2023

*Al culminar esta etapa,
quiero dedicar este logro a ti,
mi amado hermano.
Tú siempre serás mi
mayor fuente de inspiración.*

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta monografía.

En primer lugar, quiero agradecer a mi director, Hernando Javier Giraldo Tenorio, y a mi asesor, Carlos Andrés Reina, por su orientación experta, su apoyo constante y sus valiosos consejos a lo largo de todo el proceso de investigación. Sus conocimientos y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo y la finalización de este trabajo.

También quiero agradecer a mis padres, Bellanith Rojas Perdomo y Eliberto Torres, por su tiempo, sus comentarios constructivos, su apoyo económico y emocional, sin los cuales no habría sido posible realizar mis estudios y formarme como persona y profesional.

No puedo dejar de mencionar a mi compañero de vida, César Yair Ardila Peña, por su colaboración, discusiones enriquecedoras y apoyo mutuo a lo largo de todo el proceso de investigación. Su trabajo y motivación constante fueron una fuente de inspiración para mí.

Asimismo, quiero agradecer a la Universidad del Cauca y al Instituto Colombiano de Antropología e Historia, por brindarme los recursos y el ambiente propicio para llevar a cabo esta investigación. El acceso a la biblioteca, los laboratorios y otras instalaciones fue fundamental para el desarrollo de mi trabajo.

Agradezco a mis familiares y amigos por su incondicional apoyo, comprensión y aliento durante todo este tiempo. Sus palabras de ánimo y su presencia fueron un gran estímulo para seguir adelante en momentos de dificultad.

Por último, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que participaron como inspectores de estudio en esta investigación: Patricia Ramírez, Lorena Lemus, José Vicente Rodríguez y Enrique Bautista. Su disposición y colaboración fueron fundamentales para la obtención de los datos necesarios y la validación de los resultados.

A todos y cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento. Su contribución y apoyo fueron indispensables para el éxito de este proyecto.

Resumen

El presente trabajo aborda dos líneas de investigación: la arqueología virtual y los repositorios digitales de piezas arqueológicas en 3D. Su objetivo principal es aplicar la técnica de fotogrametría a 13 piezas arqueológicas pertenecientes al Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), con el fin de establecer las bases para la creación de un repositorio digital. Esta investigación tiene como propósito permitir el acceso a la colección de piezas arqueológicas colombianas a la comunidad científica y al público en general, a través de modelos digitalizados en 3D, con el objetivo de generar aportes en disciplinas como la antropología y la arqueología. Asimismo, se pretende que estos modelos 3D también sirvan para preservar, reconstruir y difundir los hallazgos arqueológicos.

La metodología empleada para la captura de imágenes en espacios cerrados y exteriores es la fotogrametría, y se utilizará la aplicación web Sketchfab como repositorio digital, reconocida a nivel mundial por su dedicación a la preservación y difusión del patrimonio. Para evaluar la efectividad de esta técnica en la investigación, se solicitó la opinión de restauradores, antropólogos y arqueólogos investigadores, quienes aportaron su criterio acerca de la utilidad de esta tecnología.

Los resultados obtenidos reflejan una respuesta favorable de los académicos, quienes consideran que la creación de un repositorio digital representa un avance significativo en la arqueología pública e investigativa. Además, se han obtenido resultados satisfactorios con la generación de modelos 3D mediante la fotogrametría. En conclusión, la creación de un repositorio digital de piezas arqueológicas es de gran importancia pues genera aportes significativos a la investigación arqueológica en Colombia, al tiempo que fomenta la conservación, reconstrucción y difusión del patrimonio arqueológico de la nación.

Palabras clave: Arqueología virtual, repositorios digitales, fotogrametría, antropología, arqueología, conservación del patrimonio

Abstract

This work addresses two lines of research: virtual archaeology and digital repositories of archaeological artifacts in 3D. Its main objective is to apply the technique of photogrammetry to 13 archaeological pieces belonging to the Colombian Institute of Anthropology and History (ICANH) in order to establish the foundations for the creation of a digital repository. This research aims to allow access to the collection of Colombian archaeological artifacts to the scientific community and the general public through 3D digitized models, with the objective of generating contributions in disciplines such as anthropology and archaeology. Furthermore, these 3D models are intended to be used to the preservation, reconstruction, and dissemination of heritage.

The methodology used to capture images in indoor and outdoor settings is photogrammetry, and the web application Sketchfab will be used as the digital repository, recognized worldwide for its dedication to heritage preservation and dissemination. In order to evaluate the effectiveness of this technique in research, the opinions of restorers, anthropologists, and archaeologists are requested, as they will provide their perspective on the usefulness of this technology.

The results obtained reflect a positive response from academics, who consider the creation of a digital repository as a significant advancement in public and investigative archaeology. Moreover, satisfactory results have been achieved in generating 3D models through photogrammetry. In conclusion, the creation of a digital repository of archaeological artifacts is of great importance to generate significant contributions to archaeological research in Colombia, while promoting the conservation, reconstruction, and dissemination of the nation's archaeological heritage.

Keywords: Virtual archaeology, digital repositories, photogrammetry, anthropology, archaeology, heritage conservation

Contenido

Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	6
Introducción	11
Justificación.....	13
1.ANTECEDENTES	15
1.1 Fotografía. Historia general	15
1.1.1. Fotografía científica. Parámetros y evolución	16
1.2. Fotografía arqueológica	18
1.2.1. Historia.....	18
1.2.2. Fotografía arqueológica en Colombia	20
1.3. Fotogrametría	23
1.3.1. Historia.....	24
1.3.2. Fotogrametría en la arqueología.....	26
1.4. Arqueología virtual.....	28
2.MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	31
1.1. Arqueología virtual	31
1.2. Fotogrametría 3D.....	32
2.2.1. Principios físicos.....	33
2.2.1.1. Paralaje.....	33
2.2.1.2. Triangulación	34
2.2.1.3. Espacio euclidiano	36
2.2.1.4. Perspectiva.....	37
2.2.1.5. Proyección	38
2.2.2. Principios matemáticos	39
2.2.2.1. Proyección estereográfica	39
2.2.2.2. Métodos de ajuste	41
2.2.3. Principios volumétricos y geométricos.....	41
2.2.3.1. Fotogrametría basada en escala.....	41
2.2.3.2. Estereoscopía	42
2.2.3.2. Fotogrametría digital	42
2.3. Repositorio digital.....	43
2.3.1. Modelo de Gestión Documental y Administración de Archivos (MGDA)	43
2.3.2. Identificación de repositorios digitales	45

2.3.3. Definición de procedimientos y lineamientos para la adquisición y administración de repositorios digitales	45
2.3.4.1. Lineamientos normativos y legislativos	46
2.3.4. Normativa para la gestión documental	50
2.3.4.1. Medios de almacenamiento digital	50
2.3.4.2. Repositorios de confianza	51
2.3.5. Identificación de riesgos documentales e información y documentación.....	52
2.3.5.1. Proceso de conversión y migración de registros digitales	53
2.3.6. Verificación de la autenticidad, fiabilidad, integridad y disponibilidad de los documentos electrónicos.....	54
2.3.6.1. Autenticidad.....	54
2.3.6.2. Fiabilidad.....	55
2.3.6.3. Integridad	55
2.3.6.4. Disponibilidad	56
2.4. Digitalización	57
2.4.1. Lineamientos normativos y legislativos.....	57
2.4.2. Normativa para la digitalización.....	59
3.METODOLOGÍA.....	63
3.1. Ejecución de la fotogrametría	67
3.1.1. Solicitud de acceso a las piezas	67
3.1.2. Preparación del espacio.....	67
3.2. Captura de imágenes.....	70
3.2.1. Metodología 1	71
3.2.2. Metodología 2	72
3.2.3. Metodología en exteriores	74
3.3. Procesamiento de imágenes	78
3.3.1. 3D Scanner App.....	78
3.3.2. Agisoft Metashape Profesional	82
3.4. Repositorio.....	86
4.Resultados	91
5.Conclusiones.....	101
Bibliografía	103

Flujogramas

Flujograma 1. Aplicación de la norma (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 4)	53
Flujograma 2. Aspectos de la autenticidad de un archivo (Ministerio de las TIC, 2017).	54

Ilustraciones

Ilustración 1. Paralaje (China, 2004)	33
Ilustración 2. Triangulación	35
Ilustración 3. Perspectiva.	37
Ilustración 4. Transformación de perspectiva	38
Ilustración 5. Sistema de coordenadas en tres dimensiones	39
Ilustración 6. Escalamiento (Carmona, 2008)	41
Ilustración 7. Paneo de la cámara. Fuente: Elaboración propia.....	75
Ilustración 8. Paneo de la cámara. Fuente: Elaboración propia.....	76
Ilustración 9. #G-25 Copa guane. Modelo 3d en vistas lateral y superior.....	91
Ilustración 10. V-35. Alcarraza calima. Modelo 3d en vistas lateral, posterior y frontal.....	92
Ilustración 11. #G-23 Vasija. Modelo 3d en vistas lateral y superior	92
Ilustración 12. 1050 Alcarraza. Modelo 3d en vistas lateral, superior y frontal.....	93
Ilustración 13. 3555-A-3555 Figura muisca. Modelo 3d en vistas lateral, trasera, superior y frontal	93
Ilustración 14. A-70-Iv-3368 Vasija guane. Modelo 3d en vistas laterales.....	94
Ilustración 15. Quimb429. Modelo 3d en vistas lateral, trasera y frontal	94
Ilustración 16. Fg-E0060-1 Cabeza reducida shuar. Modelo 3d en vistas frontal y posterior.....	95
Ilustración 17. Abrigo rocoso. Modelo 3d en vista frontal.....	95
Ilustración 18. Abrigo rocoso, arte rupestre. Modelo 3d en vistas lateral y frontal	96
Ilustración 19. Roca 20, abrigo rocoso, galería de presidentes 1915. Modelo 3d en vista frontal	96
Ilustración 20. 87-X-0010 Cráneo. Modelo 3d en vistas inferior, frontal y trasera	97
Ilustración 21. Bombona nariño T-12. Modelo 3d en vista frontal	97
Ilustración 22. Modelo 3d antes y después de la edición	99

Imágenes

Imagen 1. Fotografía <i>Point de vue du Gras</i> . Autor: Nicéphore Niépce, 1826 (Niépce J.- N., 1826). . 16	
Imagen 2. Vista del patio de los esclavos en el palacio (<i>Facade Intérieur Du Palacio Du Palenque</i>). Autor: Désiré Charnay, 1881. (Charnay, 1881) 19	
Imagen 3. Fotografía Balsa de oro, que representa la ceremonia de El Dorado de los muiscas. Autoría atribuida a Julio Racines. Copia en albúmina sobre papel (Racines, S.F.) 21	
Imagen 4. Modelo de gestión documental y administración de archivos (MGDA)..... 44	
Imagen 5. Posicionamiento de escalas. Elaboración Propia. 68	
Imagen 6. Preparación del espacio. Elaboración Propia 69	
Imagen 7. Vallas de protección para los petroglifos. Elaboración propia..... 70	
Imagen 8. Selección de la función Photos 73	
Imagen 9. Configuración del intervalo de tiempo..... 73	
Imagen 10. Selección de la modalidad lidar 75	
Imagen 11. Plataforma de procesamiento 3d Scanner App 79	
Imagen 12. Volumen de la pieza..... 80	
Imagen 13. Pieza procesada Imagen 14. Malla generada en la pieza..... 80	
Imagen 15. Medidas de detalles de la pieza 81	
Imagen 16. Medidas de la pieza..... 81	
Imagen 17. <i>Chunk</i> 1, con las fotografías 83	
Imagen 18. Alineación de cámaras 84	
Imagen 19. Nube de puntos..... 84	
Imagen 20. Malla del modelo..... 85	
Imagen 21. Malla del modelo..... 85	
Imagen 22. Volumen..... 86	
Imagen 23. Modelo finalizado 86	

Tablas

Tabla 1. Repositorios digitales. Fuente: Archivo General de la Nación (2020). 46	
Tabla 2. Piezas arqueológicas 65	
Tabla 3. Tomas fotográficas..... 76	

Introducción

El avance tecnológico del siglo XXI ha introducido nuevas formas de almacenamiento que se actualizan constantemente y se hacen más compactas y accesibles. Los documentos, libros y archivos que antes se guardaban en formato de papel han sido reemplazados por modelos digitales que se almacenan en tarjetas de memoria o en repositorios digitales en línea. Esta transición presenta una ventaja significativa, ya que la información queda siempre al alcance y solo es necesario hacer un clic para acceder a ella.

La antropología y la arqueología, como disciplinas centradas en los vestigios materiales e inmateriales de las culturas humanas, tienden a recolectar una gran cantidad de información en forma de restos óseos, documentos, piezas, vestigios y monumentos arqueológicos. Esto implica que los investigadores requieren amplios espacios de almacenamiento que proporcionen las condiciones adecuadas para albergar este volumen considerable de piezas. En estos espacios, los investigadores realizan análisis y pruebas que contribuyen al conocimiento científico en estos campos.

Sin embargo, en Colombia, debido a los estrictos parámetros de conservación que se exigen para las piezas de las colecciones, generalmente el acceso a estos laboratorios está restringido. Los lugares de almacenamiento, como museos, laboratorios y universidades, se encuentran en las principales ciudades, lo que representa un desafío para los investigadores que no disponen del tiempo o los recursos para trasladarse. Además, la falta de catálogos o inventarios actualizados, descriptivos y con imágenes disponibles para su consulta, dificulta el conocimiento del contenido completo o parcial de las piezas resguardadas. Otro factor por considerar es el gran volumen de piezas que requieren un constante trabajo del equipo de restauración y que, a pesar de los esfuerzos, tienden a deteriorarse con el paso del tiempo. A los problemas de acceso a la información también se debe sumar que la arqueología es una ciencia destructiva, ya que los contextos y las piezas manipuladas no pueden ser devueltas a su estado original. Esto puede ocasionar que durante las investigaciones se alteren o pierdan datos vitales para futuras investigaciones.

Por tanto, en este documento se aborda una de las posibles soluciones para ofrecer acceso libre a la información arqueológica y antropológica contenida en los laboratorios, particularmente en la Casa Museo del Instituto Colombiano de Antropología e Historia. El enfoque propuesto

es el uso de la arqueología virtual, que emplea la técnica de fotogrametría como método de digitalización tridimensional (3D) para crear réplicas digitales de objetos de forma no intrusiva. Además, se explora la contribución que la fotografía bidimensional ha significado en la disciplina y la necesidad de reproducir modelos tridimensionales para obtener datos más precisos y, por consiguiente, permitir un análisis detallado de las piezas. Se planea, por tanto, la creación de un repositorio digital de piezas tridimensionales, siguiendo las normativas de archivo establecidas por la legislación colombiana. Esto se propone como alternativa para permitir el acceso sin restricciones a la comunidad científica, con el objetivo de facilitar nuevas investigaciones a partir de las reproducciones tridimensionales de las piezas y de mejorar la implementación de la arqueología pública.

Justificación

Colombia, según fuentes oficiales consultadas en esta investigación (ICANH, 2022), se considera un territorio con un alto potencial arqueológico. Esto debido a que se reciben alrededor de 3 600 solicitudes anuales de registro de proyectos de arqueología preventiva e investigación básica (ICANH, 2022), de las cuales un poco más de la mitad son aprobadas.

Los artefactos, ecofactos, rasgos y el material óseo encontrados son registrados por profesionales del patrimonio en las oficinas del Grupo de Patrimonio o el Laboratorio de Arqueología. Una vez registrados, estos elementos pasan por una fase que garantiza el registro, la posesión y la salvaguarda del patrimonio arqueológico. Después de completar la fase de registro y obtener la posesión, los materiales arqueológicos son almacenados, caracterizados, exhibidos, musealizados, reenterrados, entre otros, en universidades, museos, alcaldías y otros lugares que cuenten con las condiciones adecuadas para su protección.

En caso de que terceros, como investigadores, estudiantes y público en general, deseen acceder posteriormente a las piezas registradas, pueden hacerlo según el estado de conservación de la pieza, la infraestructura donde se resguarda, la ubicación geográfica y el poseedor. Es decir, la información contenida en ellas no es de fácil acceso en la mayoría de los casos, lo que limita su estudio. Esta situación es aún más compleja cuando se trata de materiales óseos, biológicos o de alta fragilidad, ya que requieren de infraestructuras especialmente diseñadas y adecuadas para prevenir su deterioro, así como de profesionales con los conocimientos necesarios para evitar la degradación y la posible pérdida de información. Aunque las restricciones impuestas para el acceso a las piezas tienen como objetivo principal la salvaguarda del patrimonio, también obstaculizan la investigación y la divulgación del material.

Los procedimientos para acceder a las piezas varían según el poseedor. En el caso del ICANH, el tiempo mínimo de respuesta es de 15 días hábiles, que pueden extenderse otros 15 días en caso de que se requiera una revisión adicional. Estos largos plazos desincentivan el acceso debido a la demora en obtener una respuesta. Además, para los investigadores cuyo lugar de residencia difiere de la ciudad donde se encuentran las piezas, supone una dificultad adicional trasladarse para llegar a ellas. Adicionalmente, no existe un listado abierto donde se puedan consultar las piezas en posesión de diferentes entidades, su estado de conservación, autenticidad, ubicación, etcétera. En resumen, en Colombia no existe un repositorio digital de

piezas arqueológicas que permita el acceso libre y fácil a la información, lo que dificulta la formulación de investigaciones cuando se desconoce la existencia de las piezas.

La propuesta de este proyecto es un primer paso hacia lo que se espera sea en el futuro un repositorio digital de piezas arqueológicas que permita el acceso libre y fácil a la información, un derecho que todos los colombianos tienen según lo establecido en la Ley 1712 de 2014, Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la Información Pública Nacional. En su artículo 4, esta ley deja claro el concepto de derecho:

En ejercicio del derecho fundamental de acceso a la información, toda persona puede conocer sobre la existencia y acceder a la información pública en posesión o bajo control de los sujetos obligados. El acceso a la información solamente podrá ser restringido excepcionalmente. Las excepciones serán limitadas y proporcionales, deberán estar contempladas en la ley o en la Constitución y ser acordes con los principios de una sociedad democrática.

El derecho de acceso a la información genera la obligación correlativa de divulgar proactivamente la información pública y responder de buena fe, de manera adecuada, veraz, oportuna y accesible a las solicitudes de acceso, lo que a su vez conlleva la obligación de producir o capturar la información pública. Para cumplir lo anterior los sujetos obligados deberán implementar procedimientos archivísticos que garanticen la disponibilidad en el tiempo de documentos electrónicos auténticos (Archivo General de la Nación, 2014).

Buscando una salida al problema de acceso a la información contenida en las piezas arqueológicas sin deteriorarlas, exponerlas o manipularlas (acciones que podrían dañarlas irreversiblemente), y con la intención, además, de preservar y divulgar el patrimonio arqueológico, se desarrolla la presente propuesta, que también tiene la intención de reproducir una copia digital fidedigna, auténtica e íntegra de las piezas seleccionadas para su libre consulta y manipulación.

1. ANTECEDENTES

Los antecedentes de esta tesis representan un pilar fundamental para contextualizar el estudio en el marco del desarrollo académico y científico. A través de un análisis exhaustivo de la literatura disponible, esta sección ofrecerá una visión integral de los avances y descubrimientos que han contribuido al conocimiento actual en el ámbito de la fotogrametría y los repositorios 3D. Asimismo, destacará la evolución histórica, los enfoques y las directrices que han caracterizado las investigaciones en el campo arqueológico.

Esta sección de antecedentes sienta las bases para el presente estudio y señala las posibles contribuciones que esta monografía podría aportar al panorama antropológico y arqueológico colombiano. Por esta razón, a continuación, se abordará, de manera detallada, la temática en torno a la fotografía, la fotogrametría y la arqueología virtual.

1.1 Fotografía. Historia general

En 1826, en Francia, se tomó la primera fotografía permanente, conocida como *Vista desde la ventana en Le Gras (Point de vue du Gras)*. Su autor, Nicéphore Niépce, logró realizar la primera impresión directa de un espacio sin que se borrara. Para hacerlo, utilizó una placa de peltre recubierta de betún de Judea, la cual expuso durante ocho horas en una cámara oscura. Esta primera fotografía fue el punto de partida para la realización de numerosos experimentos en todo el mundo con el objetivo de replicar y mejorar el método de Niépce, lo cual impulsó rápidos avances en este campo.

Un ejemplo de ello sucedió en 1841, cuando el físico Hippolyte Fizeau logró reducir el tiempo de exposición a solo unos segundos, lo que permitió la aparición del retrato fotográfico. Posteriormente, en 1871, Richard Maddox desarrolló un método que redujo la exposición a una fracción de segundo, lo que posibilitó obtener fotografías instantáneas sin necesidad de un largo proceso de revelado. En 1888, George Eastman, fundador de Kodak, introdujo los rollos de

celuloide como reemplazo del vidrio, lo que llevó al lanzamiento de la primera cámara compacta en 1925.



Imagen 1. Fotografía *Point de vue du Gras*. Autor: Nicéphore Niépce, 1826 (Niépce J.- N., 1826).

Del mismo modo, los eventos del siglo XX, como las dos guerras mundiales y la posterior Guerra Fría, contribuyeron al surgimiento de cámaras nuevas, compactas y portátiles. Por ejemplo, en 1948 se introdujo la fotografía instantánea con la cámara Polaroid y, en 1975, Kodak lanzó la primera cámara digital de la historia. Estos avances, combinados con la llegada de internet en la década de los ochenta, generaron una revolución tecnológica (cámaras integradas en dispositivos móviles, drones, GoPro, cámaras acuáticas, entre otros) y cultural (Facebook, Instagram, TikTok, etc.) que continúa hasta nuestros días.

En conclusión, en menos de 200 años, la fotografía ha revolucionado las artes visuales, las ciencias y la cultura a nivel global. Se ha convertido en una herramienta básica y esencial en todos los aspectos de la vida y las interacciones humanas, transformando cada cultura de manera única.

1.1.1. Fotografía científica. Parámetros y evolución

La fotografía científica comprende un conjunto de técnicas y métodos utilizados para obtener representaciones gráficas durante una investigación. Para lograrlo, se aplican principios

científicos que permiten al fotógrafo prepararse intelectual, técnica y metodológicamente, utilizando la fotografía como una herramienta que cumple con los objetivos de la investigación.

La fotografía científica, según el fotógrafo Luis Monje Arenas (2010), se divide en dos tipos principales:

- **Fotografía ilustrativa.** Se utiliza para ilustrar el texto, complementando o explicando la escritura. Este tipo de fotografía se aplica a objetos y fenómenos visibles al ojo humano. Puede servir como elemento para atraer la atención del lector o para demostrar e investigar los fenómenos y objetos mencionados. Algunos ejemplos son la fotografía de naturaleza, la fotografía forense, la fotografía macro, la astrofotografía planetaria, la fotografía panorámica y la fotografía en 3D.
- **Fotografía descriptiva.** Se obtiene durante la realización de la investigación o como resultado de ella. Estas fotografías se toman durante la fase de experimentación de la investigación, con el propósito de mostrar y estudiar el fenómeno u objeto a partir de la imagen obtenida. Se utilizan para observar objetos y fenómenos invisibles al ojo humano debido a su rapidez, pequeñez, lejanía, poca o excesiva luz, o por no encontrarse dentro del espectro visible. Algunos ejemplos son la fotografía con luz no visible, la termografía, la fotografía de alta velocidad, la astrofotografía, la fotomacrografía y la fotomicrografía.

Los parámetros para la toma de fotografías científicas varían según el campo académico, el tipo de investigación, los objetivos de investigación, el equipo utilizado y la experiencia del fotógrafo. Aunque no existen manuales o lineamientos generales para todas las disciplinas, en cada investigación se pueden seleccionar el equipo y los lineamientos técnicos requeridos para su situación específica. Sin embargo, la fotografía científica debe seguir el método científico y cumplir con la rigurosidad exigida en el campo de investigación al que se aplica.

La fotografía científica ha evolucionado desde la captura de la primera fotografía. Sin embargo, esta evolución no ha sido lineal ni limitada a un área específica. Los avances tecnológicos y técnicos en este tipo de fotografía se han desarrollado de manera diferenciada en cada campo, siempre en respuesta a las necesidades de la investigación. Dado el amplio rango de factores

que influyen en las metodologías y los equipos utilizados en la fotografía científica, a continuación, se profundizará en el campo de la fotografía arqueológica.

1.2. Fotografía arqueológica

En la década de los ochenta, la arqueología postprocesual abrió la puerta a una visión más holística del objeto de estudio de la arqueología. Esto condujo a la incorporación de nuevas disciplinas al debate arqueológico, como la geología, la geografía, el arte, la química, la física, la arquitectura, la ingeniería, la informática, la tanatopraxia, la medicina, entre otras. Como resultado, se ampliaron las formas de interpretar y estudiar el objeto arqueológico, mediante técnicas propias de estas disciplinas. Por ejemplo, durante la prospección de un sitio arqueológico se pueden emplear sensores activos (como el georradar, el perfilador o el magnetómetro) o sensores pasivos (como la fotografía aérea o imágenes satelitales). En la documentación, se utilizan técnicas como la fotogrametría, el LiDAR, el escáner láser, entre otras. Además, en la investigación se han empleado técnicas de fotomicrografía, análisis de laboratorio, pruebas de datación y diagnósticos médicos, entre otros.

En el contexto de esta investigación, se abordará la técnica de fotogrametría para la documentación de objetos arqueológicos. Por lo tanto, es importante conocer parte de la historia de la fotografía dentro de la disciplina arqueológica.

1.2.1. Historia

La fotografía arqueológica es un tipo de fotografía documental y científica utilizada en el ámbito de la arqueología como apoyo en sus diversos procesos. Dado que durante las excavaciones se destruye el yacimiento arqueológico, la fotografía permite realizar su reconstrucción. Además, contribuye a la conservación, restauración y documentación de las metodologías utilizadas durante la excavación, la posición de los hallazgos *in situ*, la estratigrafía, el paisaje y otros elementos relevantes para la investigación arqueológica. Según Ruiz Zapatero (2014):

La fotografía en excavaciones arqueológicas realiza la condensación de todo el proceso de excavación y muestra las estructuras y objetos tal y como son hallados, es decir, muestra la historia que los explica, al menos la historia desde un ángulo determinado; la historia tal y como tuvo lugar en el sitio. Actuando

así la fotografía se convierte en una suerte de ética visual del ojo del arqueólogo en la medida que determina lo que debe ser visto y documentado (p. 58).

Es importante destacar que la fotografía es indispensable tanto para los análisis *in situ* como en el laboratorio, así como para las futuras discusiones sobre el sitio arqueológico. Además, facilita el libre debate, la evaluación del trabajo realizado e incluso la aparición de nuevas hipótesis sin necesidad de visitar el lugar, especialmente, en casos en los que el acceso es difícil o cuando el sitio ha sido destruido por causas externas.

La incursión de la fotografía en el campo arqueológico se inició durante la edad de oro de la arqueología, es decir, a mediados del siglo XIX, con la fotografía de viajes. Estas fotografías eran tomadas por viajeros que retrataban piezas o sitios arqueológicos y luego las exponían al regresar a Europa. Un ejemplo de ello son las fotografías del arqueólogo Claude-Joseph-Désiré Charnay durante sus viajes a México, donde realizó las primeras fotografías de la Ciudad de México, Teotihuacán, Palenque, Chichén Itzá y otras ciudades de Yucatán y Campeche (Mediateca INAH, 2017).

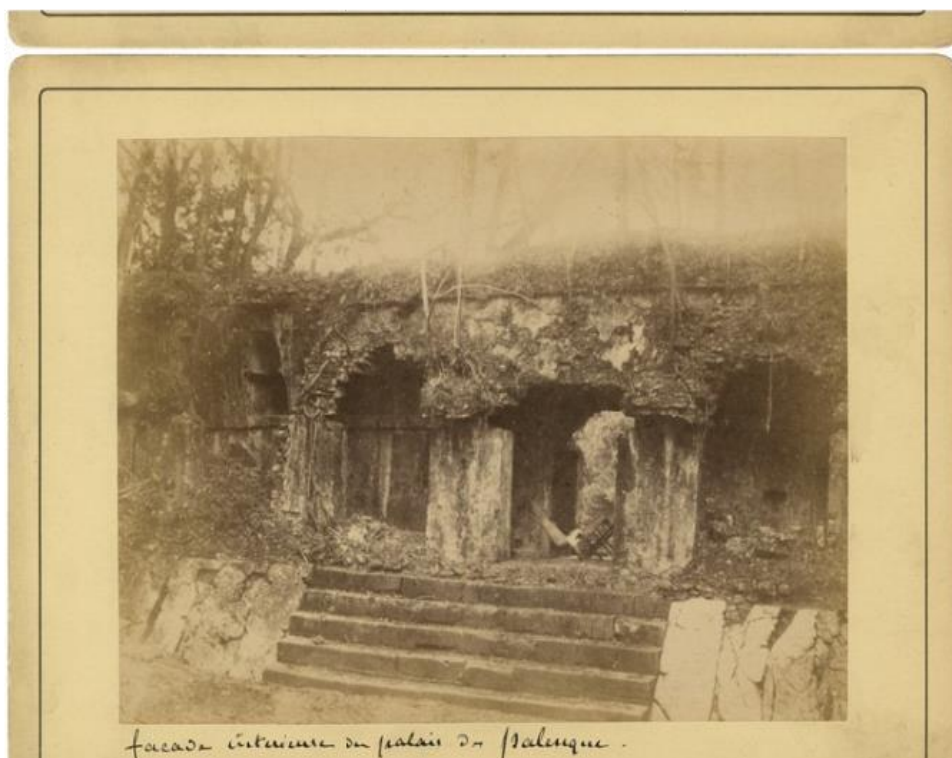


Imagen 2. Vista del patio de los esclavos en el Palacio (*Facade intérieur du palais du Palenque*). Autor: Désiré Charnay, 1881. (Charnay, 1881)

Sin embargo, uno de los primeros casos en los que este tipo de fotografía se introdujo en la investigación arqueológica fue con las imágenes del geólogo Joseph Prestwich en 1859, en el yacimiento de Saint-Acheul. Al viajar con su cámara al sitio arqueológico donde Boucher de Perthes estaba realizando excavaciones, las fotografías de Prestwich permitieron respaldar los descubrimientos e hipótesis de Perthes, y así la comunidad científica dejó de cuestionar sus hallazgos. Gracias a su experiencia como geólogo, Prestwich utilizó la fotografía para respaldar los descubrimientos e implementó la excavación estratigráfica, al realizar el primer retrato de la estratigrafía de un contexto arqueológico (González Reyero, 2015).

1.2.2. Fotografía arqueológica en Colombia

En el contexto colombiano, las primeras fotografías de vestigios arqueológicos fueron tomadas por Liborio Zerda, secretario de la Sociedad de Naturalistas Neogranadinos. En 1873, con el objetivo de recopilar datos históricos de las sociedades indígenas, Zerda publicó dos obras y un álbum titulado *Antigüedades neogranadinas*. En este se puede observar la técnica de grabado a mano aplicada a las fotografías, ya que en ese momento en Colombia no se había implementado aún el fotograbado (Vanegas, 2011, p. 124). Este álbum contiene las primeras fotografías arqueológicas de Colombia, entre las que se destaca una imagen inédita de la balsa de Siecha, titulada por Zerda como *Balsa de oro*, que representa la ceremonia de El Dorado de los indígenas muisca. Además, se acompaña de una fotografía con témpera, acuarela y tinta china, así como de dos acuarelas tituladas *Laguna del páramo de Siecha donde se halló la balsa de oro que representa la ceremonia de “El Dorado”* y *Figuras de oro y cobre sacadas de la laguna del páramo de Siecha* (Vanegas, 2011, p. 125).



Imagen 3. Fotografía *Balsa de oro*, que representa la ceremonia de El Dorado de los muisca. Autoría atribuida a Julio Racines. Copia en albúmina sobre papel (Racines, s.f.).

En la actualidad, la cámara fotográfica se ha convertido en una herramienta esencial para los arqueólogos, ya que la fotografía desempeña un papel fundamental en el registro arqueológico. El Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) establece ciertos lineamientos y requisitos con relación a la documentación fotográfica para el trámite de “Registro y tenencia de bienes muebles pertenecientes al patrimonio arqueológico de la nación”. Estos incluyen:

- **Observación sobre el requisito.** La fotografía debe ser de buena calidad y debe permitir la identificación de la pieza o del grupo de elementos (lotes) a registrar y sus detalles. Esta debe tener un fondo de un solo color, claro u oscuro, de acuerdo con la pieza (negro, azul, blanco o gris), e incluir una escala de referencia. Si la fotografía está fuera de foco, muy oscura o muy clara o si representa parcialmente la pieza, el trámite será suspendido.
- **Descripción del documento.** Fotografía de buena calidad (ideal formato .JPG), a color, en tamaño mínimo de 12 cm x 9 cm a 600 ppp¹ para cada una de las piezas arqueológicas. La foto debe estar identificada según el código asignado en la ficha.
- **Atributo del documento.** Copia digital de las fotos en los formatos establecidos (carpeta digital con las fotografías) (ICANH, 2021).

Asimismo, en el protocolo de hallazgos fortuitos durante actividades de remoción o movimientos de suelos, se solicita incluir la “Ficha única para el reporte de hallazgos fortuitos de patrimonio arqueológico”, así como “Material fotográfico de los presuntos objetos del patrimonio arqueológico”, entre otros. Del mismo modo, en la “Guía de presentación de informes finales” se solicitan, como anexos, “cartografía, tablas de datos, fichas de registro, fotografías” (ICANH, 2021).

¹ ppp: Puntos por pulgada. Se refiere a la resolución de una imagen, que se mide por la cantidad de píxeles por pulgada que contiene.

FICHA ÚNICA PARA EL REPORTE DE HALLAZGOS FORTUITOS DE PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO

1. Información geográfica del hallazgo

Departamento: Elija un elemento.	Municipio:	Vereda:
Corregimiento: Nombre del predio:		
Indicaciones para acceder al lugar del hallazgo: (Dirección del lugar o predio, vías de acceso, ruta para llegar, puntos de referencia de ubicación, entre otros).		
Coordenadas: De ser posible indicar las coordenadas del hallazgo.		

2. Información sobre la circunstancia del hallazgo

Fecha y hora del hallazgo, nombre de las personas que estaban presentes, actividad que se estaba realizando cuando ocurrió el hallazgo.

3. Descripción de los bienes arqueológicos hallados

Indicar qué tipo de bienes fueron hallados: cerámica (bustos), licores (piedras trabajadas, cuentas de collar, metates, manos de moler, volantes de huso); restos óseos (huesos animales o humanos); arte rupestre (grabados o pinturas en piedras); metalurgia (piezas hechas en metal), textiles (telas), entre otros.

Fragmentos: Piezas completas:

Estado de Conservación: Elija un elemento.

4. Material fotográfico y/o videos de los bienes arqueológicos hallados

Es ideal que el reporte del hallazgo fortuito pueda estar acompañado de fotografías o videos que den cuenta de las características y estado general del lugar del hallazgo (paisaje), del área específica donde se presentó y de los bienes arqueológicos hallados.

Si aporta fotografías, videos u otros anexos indicar cuántos y dónde se encuentran (fueron enviados en físico, por correo electrónico, dispositivo digital, etc.)

5. Datos del profesional en arqueología que realizará las intervenciones arqueológicas. (Solo para hallazgos fortuitos ocurridos durante el desarrollo de proyectos, obras o actividades)

Nombres y apellidos: _____
 Identificación: _____
 Número de Registro Nacional de Arqueólogos: _____

6. Información de quien realizar el reporte

Nombres y apellidos o razón social: _____
 Identificación: _____
 Dirección: _____ Teléfono: _____
 Correo electrónico: _____

Figura 1. Ficha única de reporte de hallazgos fortuitos. Autor: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH, 2020).

Resumiendo lo anterior, la fotografía se ha posicionado como una herramienta fundamental dentro de la antropología y la arqueología. Su versatilidad ha permitido la creación de imágenes tridimensionales en el espacio digital. Por lo anterior, la posibilidad de observar un hallazgo o un sitio arqueológico desde todos los ángulos sin necesidad de estar presente o de manipularlo, es una de las ventajas que ofrece el método que se explicará a continuación.

1.3. Fotogrametría

La fotogrametría ocupa un lugar central en este trabajo. Se puede definir como una técnica que se aplica a dos o más fotografías con el fin de realizar mediciones precisas de objetos y encontrar puntos de intersección entre las imágenes para generar un modelo digital a escala en tres dimensiones. Aunque su aparición está estrechamente relacionada con el mundo digital, históricamente se puede rastrear incluso antes de la invención de los ordenadores.

1.3.1. Historia

La fotogrametría hizo su primera aparición en 1851, de la mano del fotógrafo francés Aimé Laussedat, quien utilizó fotografías para medir la fachada de la catedral de Estrasburgo. En sus propias palabras, “la fotografía es el mejor instrumento que existe para la medición de objetos grandes y pequeños” (Laussedat, 1851, p. 13). Poco después, en 1867, el geólogo francés León Lalanne utilizó fotografías para crear un modelo tridimensional de su área de estudio y afirmó que “si podemos obtener fotografías del terreno, podemos medir su forma y altitud con gran precisión” (Lalanne, 1867, p. 27). Sin embargo, fue hasta la Primera Guerra Mundial que su uso se convirtió en una necesidad, siendo la fuente más rápida y precisa de información geográfica.

Después del final de este conflicto mundial, la fotogrametría comenzó a utilizarse para la extracción de recursos. Durante la década de los veinte, la industria utilizaba esta técnica para medir la cantidad de materiales extraídos. A partir de ese período y hasta la década de los ochenta, la fotogrametría experimentó avances tecnológicos significativos. A continuación, se presentan algunos de los instrumentos utilizados entre 1920 y 1980 para la realización de fotogrametrías:

- **Cámaras aéreas.** Estas cámaras, montadas en aviones, eran de gran importancia en la fotogrametría. Capturaban fotografías aéreas de alta resolución y evolucionaron con el tiempo con la inclusión de lentes de mayor calidad y capacidad de exposición. También se desarrollaron técnicas de vuelo precisas para obtener datos precisos.
- **Estereoscopios.** Estos instrumentos permiten visualizar dos fotografías superpuestas en 3D, tomadas desde puntos de vista ligeramente separados. Esto permite medir la altura, distancia y forma de los objetos en las fotografías. Aunque la fotogrametría utilizaba el principio de la estereoscopia, su popularidad disminuyó en el campo geológico a partir de la década de los treinta.
- **Plotter.** Son impresoras de gran formato utilizadas para imprimir mapas e imágenes de alta resolución. En la década de los sesenta, los *plotters* se empezaron a conectar a las computadoras, lo que permitió la creación de modelos tridimensionales con mayor precisión y eficiencia.
- **Computadoras.** A partir de la década de los sesenta, las computadoras se utilizaron cada vez más en la fotogrametría para el procesamiento de datos y la creación de

modelos 3D. Con los avances en la tecnología informática, los fotogrametristas podían procesar y analizar datos a mayor velocidad y con mayor precisión (Förstner & Wrobel, 2016).

Llegando a los años 90 y con la aparición de la fotografía digital, la fotogrametría se convirtió en una técnica accesible y de fácil uso. Esto permitió que diferentes disciplinas pudieran hacer uso de ella, ya que la creación de modelos 3D se volvió más rápida, precisa y económica. En la actualidad, la fotogrametría se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde cartografía hasta arquitectura e ingeniería civil. Es una herramienta valiosa para realizar mediciones en objetos o terrenos de cualquier tipo, y su relevancia ha aumentado con el paso del tiempo.

Los siguientes son algunos de los instrumentos utilizados a partir de 1990 hasta la actualidad:

- **Sistemas de cámaras digitales.** Las cámaras digitales ofrecen una resolución y una calidad de imagen superiores a las cámaras analógicas, lo que permite obtener datos más precisos y detallados durante la fotogrametría.
- **Sistemas LiDAR.** La tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging) se utiliza cada vez más en la fotogrametría. Estos sistemas utilizan pulsos de láser para medir la distancia entre el sensor y los objetos en la superficie terrestre, lo que permite a los fotogrametristas crear modelos 3D muy precisos.
- **Drones.** Los drones se han vuelto una herramienta útil y popular para la fotogrametría. Pueden llevar cámaras y sensores LiDAR, y volar a baja altura para obtener imágenes detalladas de la superficie terrestre, edificios, estructuras, etc.
- **Software de fotogrametría.** Se han desarrollado numerosos *softwares* especializados para procesar y analizar datos de fotogrametría, lo que facilita a los fotogrametristas crear modelos 3D precisos y detallados de manera más fácil y eficiente.

La tecnología en torno a la fotogrametría sigue avanzando rápidamente y su relevancia se mantiene intacta desde su creación. Es posible que en un futuro cercano se desarrollen nuevos instrumentos que le brinden una mayor facilidad de aplicación, precisión y eficacia. Para comprender cómo una técnica creada en el siglo XIX sigue siendo actual, es necesario entender su concepto y su continua evolución en el contexto de los avances tecnológicos.

1.3.2. Fotogrametría en la arqueología

La fotogrametría forma parte de las técnicas utilizadas en la arqueología virtual como método de documentación. Antes de que se consolidara en entornos digitales, ya se vislumbraba su potencial como herramienta en la documentación arqueológica.

En 1976, Antonio Almagro, experto en arquitectura y arqueología, publicó un trabajo en el que habló del uso de la fotogrametría como una herramienta auxiliar de la arqueología y la restauración de monumentos. Posteriormente, presentó sus hallazgos en una charla en España. Es importante destacar que en 1976 no existían fotografías digitales ni computadoras con capacidad para procesar la fotogrametría. Sin embargo, Almagro inició la discusión sobre la importancia de aplicar esta técnica y las posibilidades que ofrece a la investigación arqueológica.

El debate sobre cómo aplicar la fotogrametría en el terreno arqueológico ha perdurado hasta la actualidad. Gracias a la rápida evolución tecnológica, cada vez es más accesible y aplicable el uso de la fotogrametría como método de registro de sitios arqueológicos, incluso en entornos diversos y complejos. Surge así una pregunta global: ¿es la fotogrametría más rápida y eficaz para realizar el registro arqueológico?

En este sentido, investigaciones como las recopiladas por Ana Charquero en el artículo *Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología* (2016) abordan las diferentes fases de los procesos de registro y excavación que suceden comúnmente en la arqueología. También se comparan la técnica tradicional y la fotogrametría. Un ejemplo de ello es el dibujo arqueológico:

Dos arqueólogos experimentados en dibujo realizaron un dibujo a mano en papel milimetrado. Luego, este dibujo fue digitalizado y sus líneas fueron trazadas nuevamente utilizando *software* de dibujo vectorial (AutoCAD) y Photoshop. Posteriormente, se documentó el área mediante fotogrametría; se colocaron puntos de referencia y se tomó fotografías del alzado. Se realizó la restitución en el *software* de fotogrametría (Charquero, 2016, p. 146).

Con esta prueba se concluyó que la fotogrametría ahorra tiempo y dinero, además de que permite obtener un dibujo preciso del yacimiento con medidas, color y alto grado de detalle.

En el dibujo en papel siempre existe cierto grado de error inevitable y es necesario que el arqueólogo tenga habilidades de dibujo (Charquero, 2016, p. 147).

La fotogrametría también ha encontrado aplicación en la documentación de piezas escultóricas y arquitectónicas, especialmente, en casos en que el traslado físico de las piezas es complicado debido a su fragilidad. El uso de la fotogrametría permite obtener copias virtuales de calidad, lo que facilita la investigación a distancia y la caracterización de las piezas arqueológicas mediante modelos digitales.

En el caso de sitios de enterramiento, la fotogrametría ha demostrado ser una aplicación extremadamente eficaz, ya que reduce de manera significativa el tiempo requerido para el registro del sitio en comparación con el dibujo manual. Además, proporciona a los futuros antropólogos un modelo virtual en 3D del enterramiento una vez que ha sido excavado y registrado.

Tanto en el arte rupestre como en los sitios arqueológicos, la fotogrametría ofrece una documentación fiel que conserva las características tridimensionales de los sitios y las irregularidades de las rocas. Esto facilita la preservación, la divulgación y el acceso remoto a los yacimientos, y, a su vez, fomenta la investigación y difusión del patrimonio arqueológico.

A nivel internacional, países como España e Italia han aprovechado ampliamente la fotogrametría digital en el campo del patrimonio, y se han creado sociedades y foros dedicados a esta y otras ciencias digitales relacionadas. También se han establecido normas internacionales, como los Principios de Sevilla (CIPA Heritage Documentation, et al., 2017). Asimismo, diversas empresas ofrecen servicios de fotogrametría para zonas arqueológicas, lo que ha permitido la reconstrucción de templos, mezquitas, basílicas y otros sitios y artefactos arqueológicos e históricos.

En América Latina, México ha sido uno de los países pioneros en el uso de la fotogrametría, aunque “sin alcanzar aún el grado de difusión que ha tenido en los principales centros académicos de Estados Unidos o Europa” (Moyano, 2017, p. 334). En palabras del arqueólogo Jorge C. Martínez en el año 2014: “La fotogrametría digital en México es todavía muy desconocida por los profesionales del patrimonio y prácticamente de nulo conocimiento para el público en general” (Aparicio, 2014). Sin embargo, durante los últimos nueve años se han

realizado más trabajos en los que se ha utilizado esta tecnología, incluidos proyectos de digitalización de colecciones óseas.

En Colombia, en los últimos 10 años, se ha comenzado a utilizar la fotogrametría, principalmente, en el ámbito académico. Se han realizado trabajos de investigación en tesis de pregrado, y círculos especializados, como el Grupo de Tecnologías Aplicadas al Patrimonio y Patrimonio Cultural Sumergido del ICANH, están avanzando en la digitalización de sitios arqueológicos y patrimonio cultural.

En 2019, se estableció el primer protocolo oficial de fotogrametría aplicada a la arqueología en Colombia. Este protocolo para realizar tomas fotogramétricas, diseñado por el CIMS, Carleton University e ICANH. (2019), es fundamentalmente una guía de cómo aplicar la técnica y cómo realizar el procesamiento de datos para la obtención de modelos tridimensionales. Sin embargo, no ofrece información técnica o legal sobre su aplicación, difusión u otra temática relacionada con el patrimonio. Es decir, se limita a proporcionar un paso a paso de cómo realizar una fotogrametría, sin incluir temática relacionada con su aplicación o uso.

En conclusión, la fotogrametría ha demostrado ser una valiosa técnica dentro de la documentación arqueológica, especialmente, en la era digital. Desde sus primeras aplicaciones hasta la actualidad, ha evolucionado con los avances tecnológicos y se ha convertido en una herramienta accesible y eficaz en la captura de datos tridimensionales y la generación de modelos digitales. Su aplicación se extiende a diversas áreas, desde el registro de excavaciones y piezas arqueológicas hasta la preservación y divulgación del patrimonio. A nivel internacional, se han creado normas y organizaciones dedicadas a su uso, y empresas especializadas ofrecen servicios fotogramétricos. En América Latina, países como México y Colombia están incursionando en el uso de esta técnica, aprovechando su potencial para la investigación y conservación del patrimonio arqueológico.

1.4. Arqueología virtual

El concepto que engloba la unión entre la arqueología y los medios virtuales es arqueología virtual y, según los Principios de Sevilla (CIPA Heritage Documentation, et al., 2017, p. 75),

se define como “una disciplina científica que busca investigar y desarrollar formas de utilizar visualizaciones informáticas para la gestión integral del patrimonio”.

El uso de la arqueología virtual ha permitido el desarrollo de técnicas para descubrir material arqueológico no visible para el ojo humano. Un ejemplo destacado es la tesis doctoral de Alonso Aroa Gutiérrez (2017), de la Universidad Politécnica de Madrid, titulada *Representación morfométrica de grabados y petroglifos: nuevas tecnologías y procesos en el tratamiento digital de imágenes RGB*. En esta investigación, se emplearon técnicas de teledetección basadas en el análisis espectral de imágenes digitalizadas para revelar grabados no perceptibles a simple vista. Esto amplía el espectro visible del material arqueológico y brinda a los investigadores información inédita sobre el arte y la escritura de sociedades antiguas.

La disciplina de la arqueología virtual ha adquirido relevancia en el siglo XXI debido a la disponibilidad generalizada de tecnología y su fácil acceso. Además, ofrece la ventaja de preservar el material arqueológico en un campo de estudio inherentemente destructivo. Los métodos utilizados no requieren la manipulación o alteración del material arqueológico (Delgado & Romero, 2017). La arqueología virtual se vale de diversas tecnologías, como drones, láser escáner, cámaras, georradars, rayos X, computadoras, tomografía axial computarizada, *smartphones*, entre otras. Independientemente de la técnica utilizada, todas permiten borrar, alterar, reconstruir, editar, duplicar y transformar elementos a discreción, algo impensable con las técnicas tradicionales de arqueología.

Es importante destacar que la arqueología digital no pretende reemplazar las técnicas tradicionales de la arqueología, sino que busca aplicar enfoques interdisciplinarios y aprovechar técnicas desarrolladas tanto en otras disciplinas como en la propia. Por ejemplo, la arqueología no intrusiva por georradar utiliza tecnología originalmente diseñada para la ingeniería civil y se enfoca en descubrir yacimientos arqueológicos (Conyers y Goodman, 1997). Muchas de las técnicas empleadas en la arqueología virtual no fueron concebidas específicamente para su uso en arqueología, pero su aplicación en esta disciplina permite descubrir nueva información sobre las sociedades del pasado y preservar el patrimonio.

Sin embargo, es importante recordar que las técnicas utilizadas con diferentes dispositivos tecnológicos son solo un medio y no un fin en sí mismas. La arqueología digital emplea todos los recursos arqueológicos disponibles, como resultados de campo, archivos, documentación, piezas arqueológicas, etnografía, etc., para procesar y analizar los datos obtenidos. En

definitiva, la interdisciplinarietà se emplea de manera conjunta para lograr la investigación, preservación y difusión del patrimonio arqueológico.

2.MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL

Los puntos de apoyo sobre los cuales se sostiene la presente monografía son tres conceptos: arqueología virtual, fotogrametría 3D y repositorio digital. Cada uno permite contextualizar y entender qué principios rigen la técnica, la metodología y el resultado final de esta investigación. A continuación, se expondrá y desarrollará cada uno.

1.1. Arqueología virtual

En 1991, Paul Reilly acuñó el término “arqueología virtual” y lo definió como:

Un conjunto de técnicas informáticas que permiten la visualización tridimensional (3D) de la representación virtual y realista de los objetos y edificios antiguos, cuyos restos han desaparecido o están en un estado de preservación tan deficiente que hacen imposible su observación o muy difícil su interpretación (Reilly, 1991, 133).

A través de sus numerosos proyectos desde la década de los ochenta, Reilly logró generar réplicas idénticas del modelo original que permiten la manipulación, alteración y reconstrucción de los objetos en un entorno digital. Esto evita cualquier contacto directo con la pieza y promueve la protección y conservación del patrimonio arqueológico. Por esta razón, se le considera el Padre de la Arqueología Virtual. Sin embargo, el concepto y la manera de entender esta nueva forma de hacer y practicar arqueología se configuraron algunos años después (Torreño, 2022, p. 19).

Dado que la arqueología virtual es una rama relativamente joven dentro de la arqueología, con menos de 30 años de desarrollo, su avance ha sido impulsado en gran medida por los rápidos progresos tecnológicos en *software* para el procesamiento de diversas técnicas y en herramientas para la recopilación de datos. En la actualidad, es posible encontrar servicios de documentación digital y digitalización de sitios arqueológicos en todo el mundo, lo que hace que la capacitación en técnicas de digitalización sea una necesidad para los arqueólogos. Esto facilita y beneficia el trabajo arqueológico al tiempo que preserva la información para que futuros investigadores puedan realizar nuevos análisis e interpretaciones. Santiago García Lorca (1999) afirma al respecto:

De otro lado, hemos de ser conscientes de la necesidad de arqueólogos informáticos, pues, aunque es cierto que todo el mundo puede usar aplicaciones informáticas en un momento

determinado, no es menos cierto que no todos pueden desarrollar aplicaciones, esto es, programar. Y hablamos de arqueólogos informáticos, no de informáticos, ya que el oficio de arqueólogo no desaparece, sino que se potencia, pues en esta disciplina lo que se consigue es agilizar y facilitar el trabajo de investigación (p. 204).

La arqueología virtual se basa en un conjunto de técnicas que promueven la investigación, difusión y preservación del patrimonio sin destruirlo. En Colombia, en enero de 2022, se creó el Grupo de Tecnologías Aplicadas al Patrimonio y Patrimonio Cultural Sumergido, supervisado por la Subdirección de Gestión del Patrimonio del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH). Este grupo regula, promueve y divulga la investigación en el campo de la arqueología virtual a nivel nacional. Además, universidades como la del Magdalena, la Nacional, la de Caldas, la de Antioquia, la del Cauca, la Externado, la de los Andes, entre otras, fomentan la realización de investigaciones y forman a sus estudiantes para aplicar la arqueología virtual en la práctica arqueológica y antropológica.

Teniendo en cuenta lo anterior, el medio que se utilizará en la presente monografía para digitalizar las piezas arqueológicas y, por consiguiente, enmarcarse en la rama de la arqueología virtual es la técnica de la fotogrametría. A continuación, se expondrán su concepto y funcionamiento.

1.2. Fotogrametría 3D

La fotogrametría es definida de diversas formas, dependiendo del autor; sin embargo, la American Society for Photogrammetry and Remote Sensors (2012) la define como “el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y el medio, a través del proceso de registro, medición e interpretación de imágenes y patrones de energía radiante electromagnética y otros fenómenos”. Por otro lado, según Medina (2014):

La fotogrametría es un sistema de medición basado en el uso de fotografías. Se apoya en los mismos principios que los sistemas topográficos, es decir, determinar direcciones en el espacio y definir mediante ellas la posición de determinados elementos de un objeto. En lugar de medir esas direcciones

mediante una estación topográfica, se utilizan perspectivas obtenidas mediante fotografías (p. 15).

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, la técnica se desarrolla de la siguiente manera: la fotogrametría toma dos o más fotografías digitales y, por medio de un *software* informático especializado, utiliza los metadatos contenidos en cada archivo. El *software* detecta color, textura, profundidad, volumen, etc., y los proyecta para crear un modelo digital tridimensional. Para lograrlo, la fotogrametría se basa en principios físicos, matemáticos y volumétricos que en conjunto brindan la información necesaria para generar objetos en tres dimensiones a partir de imágenes.

2.2.1. Principios físicos

Para obtener mediciones precisas de objetos en tres dimensiones a partir de imágenes, la fotogrametría se basa en varios principios físicos. A continuación, se presentan cuatro de ellos:

2.2.1.1. Paralaje

Se refiere al aparente cambio en la posición de un objeto cuando se observa desde diferentes perspectivas. Cuando se trazan dos líneas de observación provenientes de diferentes puntos suficientemente separados, el ángulo formado por las dos líneas que intersecan se llama *paralaje*. Este ángulo permite, a su vez, realizar mediciones de la distancia entre el punto de observación y el objeto observado.

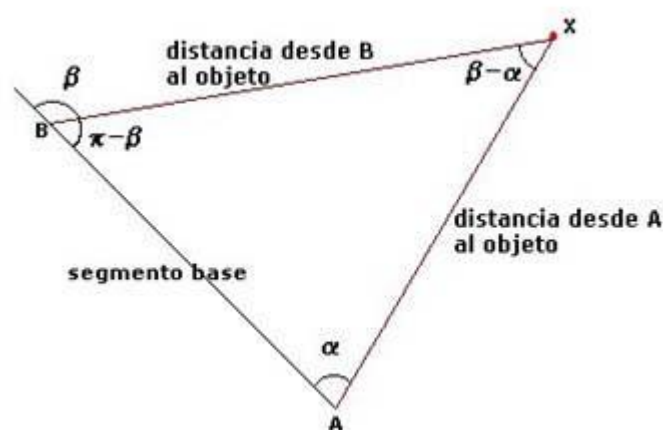


Ilustración 1. Paralaje (China, 2004)

De este modo, para calcular la distancia desde cualquiera de los dos puntos hasta el objeto se debe calcular la distancia entre los puntos A y B. Teniendo este dato, “podremos medir el ángulo alfa, que con dicha recta forma una visual al objeto desde A, y el ángulo beta, que forma con AB otra visual al objeto desde el otro extremo B” (China, 2004).

Se tiene, entonces, que el triángulo ABX puede resolverse elementalmente ya que se conoce un lado de este (distancia AB) y los tres ángulos (alfa, beta y beta-alfa) (China, 2004).

Así, el teorema de los senos es:

$$\frac{AB}{\text{sen}(\beta-\alpha)} = \frac{AX}{\text{sen}(\pi-\beta)} = \frac{BX}{\text{sen } \alpha}$$

Por lo tanto, la distancia desde A: $d A = AB \cdot \frac{\text{sen}(\pi-\beta)}{\text{sen}(\beta-\alpha)} = AB \cdot \frac{\text{sen } \beta}{\text{sen } \alpha}$

Y la distancia desde B: $d B = BX = AB \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen}(\beta-\alpha)} = AB \cdot \frac{\text{sen } \alpha}{\text{sen } \beta}$ [1]

Donde hemos llamado $a-b = p$, ángulo que se conoce como la paralaje del objeto X (China, 2004).

En el contexto de la fotogrametría 3D, cuando se toman fotografías de un objeto desde diferentes ángulos, esta técnica se utiliza para medir los desplazamientos de los puntos del objeto. Es decir, la medida de estos desplazamientos se utiliza para calcular la distancia entre los puntos. De esta forma, es posible calcular con exactitud la profundidad y la forma de los objetos a partir de las imágenes tomadas.

2.2.1.2. Triangulación

Es el principio que permite determinar las posiciones de puntos en el espacio por medio de la trigonometría. Por lo tanto, se logra obtener la posición de un objeto en el espacio tridimensional utilizando medidas. En el caso de la fotogrametría, la triangulación toma las

posiciones de dos cámaras y los ángulos en que se toman las imágenes de un objeto, para calcular la posición de este en el espacio.

Lo anterior se logra por medio de la ley de los senos y la triangulación, donde los lados del triángulo son a , b y c , y los ángulos opuestos son A , B y C . Por lo tanto, la ley de los senos se representa:

$$\frac{a}{\text{sen}A} = \frac{b}{\text{sen}B} = \frac{c}{\text{sen}C}$$

Lo que gráficamente se vería de la siguiente manera:

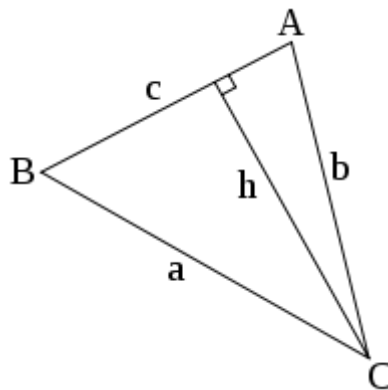


Ilustración 2. Triangulación

Para poder calcular la longitud de uno de los lados del triángulo se debe conocer el valor del lado opuesto al anterior y de los ángulos formados en él, de modo que se aplique la ley de los senos de la siguiente manera:

$$a = \frac{c \cdot \text{sen}A}{\text{sen}C}$$

y

$$b = \frac{c \cdot \text{sen}B}{\text{sen}C}$$

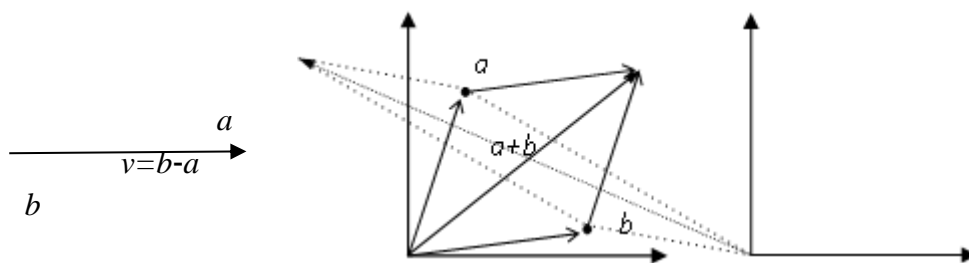
2.2.1.3. Espacio euclidiano

Es un espacio vectorial que cuenta con un producto escalar. Por lo tanto, el espacio euclidiano define la distancia entre dos puntos dentro de un sistema cartesiano. En palabras de Rhadamés (Carmona, 2008):

Es un espacio afín A , con la particularidad de que los vectores a_1, a_2, \dots, a_n del sistema afín son ortonormales. Este sistema afín con vectores ortonormales es denominado sistema cartesiano. El espacio euclidiano de dimensión n se denota por E^n (p. 5).

Para definir la distancia entre dos puntos, Carmona (2008) plantea que se deben tomar dos puntos (p y q), siendo $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ y $q=(q_1, q_2, \dots, q_n)$; la distancia $d(p, q)$ entre los puntos p y q es determinada por:

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$



(Carmona, 2008, p. 5).

Es de notar que la resta $b-a$ está geoméricamente definida como el vector que parte del punto a y llega a b . Sin embargo, la suma depende de la ubicación del origen en el sistema de coordenadas, por lo que no está definida (Carmona, 2008, p. 5).

Como se mencionó al principio, la distancia está definida entre dos puntos dentro de un sistema cartesiano. A esto se le denomina vector (v) y, en este caso, es la longitud que va del punto p y el punto q , siendo está representada como ($v=q-p$). De manera similar, la norma 2 del vector v (*longitud de v*) con $v=(v_1, v_2, \dots, v_n)$ viene dada por:

$$|v| = \sqrt{\langle v, v \rangle} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

Para realizar la resta entre los puntos $b-a$ se puede utilizar cualquier sistema de coordenadas sin que se presenten alteraciones, sin embargo, la suma de los dos puntos no siempre es la misma, ya que, al contrario que la resta, la suma sí depende del sistema de coordenadas utilizado; por lo tanto, no está definida (Carmona, 2008, p. 6).

2.2.1.4. Perspectiva

Este principio es una herramienta clave durante la realización de la fotogrametría, ya que es el encargado de medir y modelar los objetos en tres dimensiones. La base para realizar esto es el hecho de que los objetos se ven diferentes desde distintos ángulos de visión, por lo tanto, se utiliza esa diferencia para calcular la posición y la forma del objeto. De este modo, la perspectiva calcula la posición de los puntos en el espacio y determina la forma del objeto a partir de las diferencias del ángulo en las fotografías.

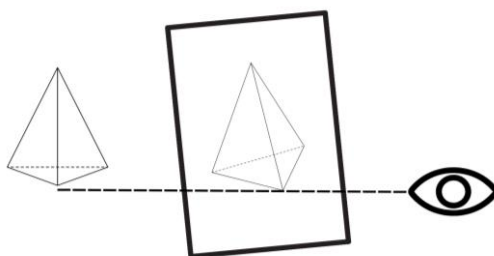


Ilustración 3. Perspectiva.
Fuente: Creación propia

La perspectiva puede transformar una figura hasta tal punto que “las longitudes, los ángulos, el paralelismo y la forma pueden distorsionarse al ver los objetos. En pinturas artísticas podemos distinguir dos aspectos de la comunicación visual: el primero es el realismo que se trata de comunicar (geometría euclidiana) y el otro aspecto es cómo lo comunica (geometría proyectiva)” (Carmona, 2008, p. 10). De este modo, dos líneas paralelas que en la realidad no se encuentran en ningún punto, desde cierta perspectiva pueden unirse en un denominado punto de fuga.

El punto de fuga no existe en la realidad, por lo tanto, los puntos que observamos de un objeto en un plano donde hay dos líneas paralelas existen dentro de la geometría euclidiana y se les denomina puntos ordinarios. Por otra parte, el resultado de la observación del mismo plano desde una determinada perspectiva ocasiona una proyección de puntos que no existen dentro del plano del objeto. Debido a esto, dentro del plano se introducen puntos en el infinito que sirven para lograr correspondencia entre ambos planos de la imagen y que no se encuentran dentro del plano euclidiano. Por lo tanto, el plano proyectivo consta del plano euclidiano (puntos ordinarios) más puntos en el infinito (Carmona, 2008, p. 10).

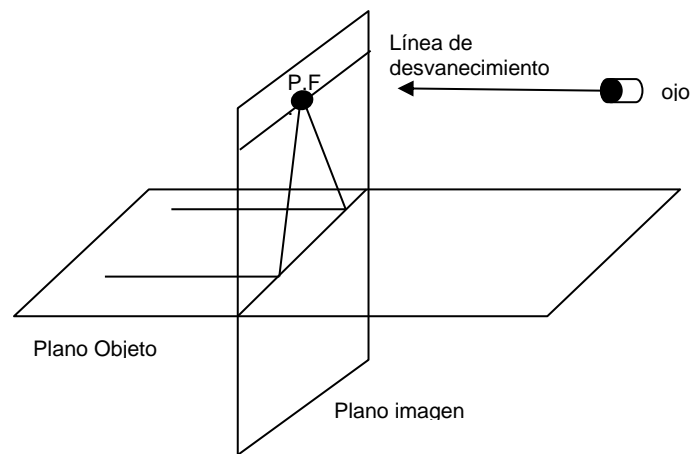


Ilustración 4. Transformación de perspectiva.
(Carmona, 2008, p. 10).

2.2.1.5. Proyección

Es el proceso mediante el cual se representa la información tridimensional de un objeto en un plano bidimensional. En el caso de la fotogrametría, esto se logra a través de fotografías o láser escáner. Esta representación del objeto permite reconstruir la forma y la posición del objeto tridimensional en el espacio digital, al tiempo que corrige la distorsión y ajusta la perspectiva para obtener una imagen más precisa del objeto.

Teniendo en cuenta que en la perspectiva dos líneas paralelas tienden a unirse en un punto de fuga, si añadimos otra línea esta también se unirá a las otras dos en el mismo punto en el infinito, y, así, por cada línea nueva se genera un nuevo punto y se añade una línea al plano euclidiano. Si bien el punto generado (punto en el infinito) se apoya sobre la nueva línea, ningún punto ordinario se apoya sobre la misma, debido a que esta es una línea infinita. Este

sistema resultante de puntos y líneas infinitas, y puntos y líneas ordinarias es llamado plano proyectivo (Carmona, 2008).

El plano proyectivo se divide en planos infinitos y planos ordinarios. Los planos ordinarios están generados por puntos y líneas dentro del sistema euclidiano, es decir, puntos y líneas ordinarias. Y los planos infinitos están compuestos de líneas y puntos infinitos. La mezcla entre los planos proyectivos infinito y ordinario, así como las líneas y los puntos infinitos y ordinarios, genera el espacio proyectivo (Carmona, 2008).

Los anteriores son algunos de los principios físicos que utiliza la fotogrametría para crear modelos digitales 3D a partir de fotografías en 2D. Teniendo como base esos y otros principios, el *software* toma las fotografías y las posiciona dentro del espacio virtual de modo que cada una se interpole en un 75 % con una o más fotografías. Una vez posicionadas, se crean líneas que se interceptan matemáticamente entre sí para producir coordenadas tridimensionales con las demás fotografías en las zonas donde se interpolan. El lugar donde se interceptan las líneas crea un punto P en un plano cartesiano (x, y, z) . Este proceso se repite tantas veces como se conectan las líneas, formando una nube de puntos densa.

2.2.2. Principios matemáticos

2.2.2.1. Proyección estereográfica

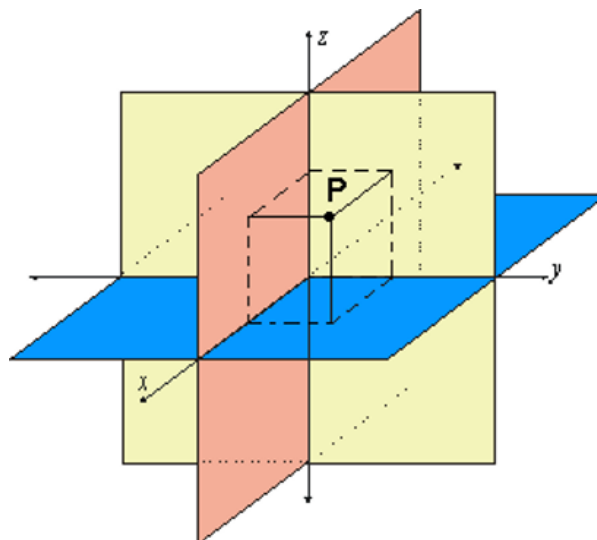


Ilustración 5. Sistema de coordenadas en tres dimensiones.

Este principio utiliza la proyección geométrica como base para esbozar un objeto tridimensional en un plano bidimensional. Es decir, es un sistema de representación gráfico

cuyo objetivo es proyectar la superficie de una esfera o una curva dentro de un plano. Para ello, proyecta un punto desde la superficie de la esfera (punto de proyección) y utiliza rectas que, al intersectar entre sí, generan puntos que se proyectan en un plano tangente a la esfera.

Matemáticamente hablando, su definición es:

Consideremos la esfera unitaria S^2 y un punto N sobre ella. Sea S el punto en la esfera diametralmente opuesto a N y sea π el plano tangente a S^2 en el punto S . Sea M un punto S^2 diferente de N y sea NM la recta determinada por los puntos M y N . Sea M' el punto de intersección de la recta NM con el plano π . Diremos que M' es la proyección estereográfica del punto M de S^2 al plano π . Esta correspondencia define una función biyectiva entre $S^2/\{N\}$ y el plano π .

Las siguientes son dos propiedades fundamentales de la proyección estereográfica.

Proposición. La proyección estereográfica envía circunferencias que no pasan por el punto de proyección en circunferencias y envía circunferencias que pasan por el punto de proyección en rectas.

Proposición. La proyección estereográfica conserva ángulos, es decir, envía los ángulos formados por curvas de la esfera en ángulos iguales formados por las curvas proyectadas por el plano.

Sea R el espacio euclidiano tridimensional y sea la esfera unitaria con ecuación $x^2+y^2+z^2=1$. Si tomamos la proyección estereográfica, con centro el polo norte N $(0,0,1)$ sobre el plano $Z=-1$, encontramos que la proyección envía un punto $M(x, y, z)$ en la esfera, distinto de N , en un punto M' $(u, v, -1)$, donde

$$u = \frac{2x}{1-z} \quad v = \frac{2y}{1-z}$$

La proyección estereográfica es una función inyectiva sobre el plano, con inversa la función

$$x = \frac{4u}{u^2+v^2+4} \quad y = \frac{4v}{u^2+v^2+4} \quad z = \frac{u^2+v^2-4}{u^2+v^2+4},$$

(García & Ortiz, 2013, p. 13)

La proyección estereográfica se utiliza normalmente en la fotogrametría para representar la superficie de objetos curvos, como en la creación de modelos digitales de terrenos a partir de imágenes aéreas o satelitales.

2.2.2.2. Métodos de ajuste

Son un conjunto de métodos estadísticos y la teoría de errores que se encargan de decidir qué tipo de matemáticas debe aplicarse respecto a la medida de las magnitudes dentro de la fotogrametría, para determinar cuál es la mejor aproximación a la medida buscada y cuáles son los límites de error que podría tener. Es decir, ayudan al *software* de fotogrametría a obtener medidas precisas y fiables de los objetos digitalizados, lo que a su vez da como resultado un objeto en tres dimensiones fiel a la realidad.

La nube de puntos densa conecta cada punto de manera geométrica, siendo congruente con su posición y con los puntos a su alrededor. Una vez conectados, se forma una maya donde se observa la figura de manera inicial. Posteriormente, se debe escalar la figura utilizando los objetivos puestos alrededor del objeto durante la toma de fotos. Finalmente, se crea la máscara a partir del modelo, lo que se encargará de poner textura y color a la figura.

2.2.3. Principios volumétricos y geométricos

2.2.3.1. Fotogrametría basada en escala

Este principio se utiliza para medir la escala y el tamaño de sus objetos tridimensionales a partir de imágenes. Para ello utiliza escalas posicionadas en la imagen que le permiten medir los objetos.

De este modo, el *software* de fotogrametría puede estrechar o estirar los objetos según un factor S_x respecto al eje x y S_y respecto al eje y . (Carmona, 2008, p. 8)

$$P' = S(s_x, s_y) * P, \text{ explícitamente}$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x & 0 \\ 0 & s_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

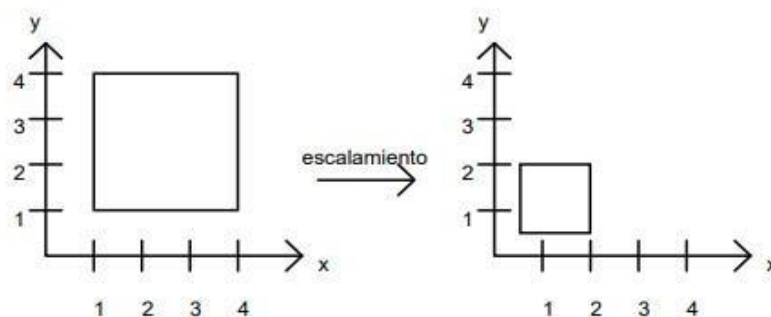


Ilustración 6. Escalamiento (Carmona, 2008)

2.2.3.2. Estereoscopía

Son técnicas que permiten recoger información visual de dos o más imágenes bidimensionales y crear en el observador la ilusión de profundidad. Es decir, crear una proyección estereográfica o una imagen en 3D. Para lograrlo, basta con tomar dos imágenes del mismo objeto desde ángulos distintos y calcular la posición de los puntos en tres dimensiones con triangulación.

Un ejemplo de esto es la visión humana. Los ojos ven el mismo objeto desde ángulos levemente diferentes y el cerebro recompone las dos imágenes en una sola imagen tridimensional, lo que permite al cerebro establecer la distancia y el volumen del objeto. En la fotogrametría 3D, se utilizan pares de imágenes estereoscópicas para medir y modelar objetos en tres dimensiones.

2.2.3.2. Fotogrametría digital

La fotogrametría digital es la técnica que utiliza imágenes digitales para medir y modelar objetos en entornos tridimensionales y digitales. Para lograrlo, toma todos los principios anteriormente expuestos para extraer información sobre la posición, forma, textura y orientación de los objetos fotografiados (imágenes bidimensionales) y transformarla en imágenes tridimensionales.

La aplicación de la técnica de fotogrametría dentro de la arqueología “consiste en la creación de modelos tridimensionales y ortofotografías a partir de fotografías digitales y un *software* informático especializado. La fotogrametría permite no solo reconstruir los objetos deseables, sino aprehender sus propiedades geométricas, lo que constituye una interesante forma de registro para las intervenciones arqueológicas y para el análisis y conservación de objetos” (Moyano, 2017, p. 335).

Por lo tanto, se toma la técnica y se aplica a los yacimientos y hallazgos arqueológicos, lo que facilita la observación y el análisis del objeto debido a que se obtiene un producto

tridimensional que, a diferencia de las imágenes en dos dimensiones, recrea digitalmente en alta calidad detalles que pueden ser analizados volumétricamente.

Teniendo claros los principios y el funcionamiento de la fotogrametría, además de su relevancia dentro del campo arqueológico, a continuación, se hablará del repositorio digital como una forma de salvaguardar, difundir y acceder a los datos fotogramétricos que sean tomados.

2.3. Repositorio digital

Un repositorio digital es, en esencia, un archivo que se encarga de almacenar recursos digitales de cualquier tipo con la intención de que puedan ser consultados por internet. Este es un recurso generalmente adquirido por universidades, entidades gubernamentales, centros de investigación y algunas empresas privadas que ven en él una forma de hacer frente al problema de acceso y disposición de la información. En palabras del Archivo General de la Nación (AGN) (2021):

En cuanto a los repositorios digitales se hace referencia a aquellos espacios centralizados donde se almacena, organiza, mantiene y difunde información o recursos digitales para que puedan ser consultados a través de internet. En un repositorio digital pueden tener cabida todo tipo de formatos digitales: *e-books*, documentos en pdf y formatos tales como vídeos, fotos, animaciones, entre otros.

A continuación, se presentará el modelo que gestiona y administra los repositorios en Colombia.

2.3.1. Modelo de Gestión Documental y Administración de Archivos (MGDA)

El AGN creó un modelo que sirve como referencia a las instituciones, organizaciones y entidades públicas y privadas de Colombia para llevar a cabo funciones públicas de gestión documental. Según el MGDA (AGN, 2020): “El modelo es un esquema o marco de referencia para la implementación de la política de Gestión Documental y Administración de Archivos de las entidades públicas y privadas que cumplen funciones públicas” y su propósito es “servir de referente para el desarrollo de la función archivística en las entidades y organizaciones del Estado colombiano. También, apoyará la generación y presentación de planes, programas,

reportes e informes a las diferentes instancias competentes, para implementar acciones de evaluación, seguimiento y control”.

El modelo cuenta con cinco componentes, que se ajustan a las diferentes necesidades de la gestión y administración. Estos son: Estratégico, Administración de Archivos, Procesos de la Gestión Documental, Tecnológico y Cultural.



Imagen 4. Modelo de Gestión Documental y Administración de Archivos (MGDA).

(AGN, 2020)

En el caso que compete a este trabajo, el componente Tecnológico se ajusta a las necesidades de un repositorio digital.

Teniendo en cuenta la diversidad de archivos que se pueden almacenar en un repositorio digital, los primeros pasos para definir los medios de almacenamiento propicios, según el MGDA (2020), son:

- Identificación de repositorios digitales.
- Definición de procedimientos y lineamientos para la adquisición y administración de repositorios digitales.
- Identificación de riesgos.

- Verificación de la autenticidad, fiabilidad, integridad y disponibilidad de los documentos electrónicos.
- Incluir en la implementación del Sistema de Gestión de Documentos Electrónicos de Archivo (SGDEA) la integración de los documentos almacenados en repositorios digitales.

A continuación, se ampliarán los puntos expuestos anteriormente:

2.3.2. Identificación de repositorios digitales

En la actualidad existen tres tipos de repositorios digitales, que se ajustan a las necesidades de cada organización. Sin embargo, la diferencia entre cada uno es el tipo de contenido que se puede encontrar en ellos:

- **Repositorios institucionales.** Son aquellos creados por las propias organizaciones o instituciones para almacenar, depositar, usar y preservar información producida por la institución, generalmente archivos de carácter académico. En este caso la institución se compromete al libre acceso a la información depositada dentro del repositorio.
- **Repositorios temáticos.** Son aquellos que contienen información de un tema en particular. Su creación viene de la mano de grupos de investigadores, instituciones, entes gubernamentales, empresas, etc.
- **Repositorios de datos.** Son aquellos que almacenan, conservan y comparten exclusivamente datos de investigaciones.

2.3.3. Definición de procedimientos y lineamientos para la adquisición y administración de repositorios digitales

Inicialmente, es importante identificar si existe un repositorio digital o, si ya existe, determinar en qué nivel se encuentra, de esta manera se podrán definir las herramientas que se deben utilizar para su creación o mejoramiento. Según el MGDA, en su apartado Componente: Tecnológico / Subcomponente: Tecnologías para la Gestión de Documentos Electrónicos, los niveles de repositorios digitales se clasifican de la siguiente manera:

PRODUCTO	NIVELES	DESCRIPCIÓN DEL NIVEL
Repositorios digitales		La entidad no cuenta con un repositorio digital oficial o medios de almacenamiento definidos
		La entidad cuenta con medios de almacenamiento definidos, tales como servidores, discos duros, cd, DVD, entre otros.
		La entidad cuenta con repositorios digitales que hacen parte de los sistemas de información institucionales y son usados para el almacenamiento de documentos en la etapa de gestión.
		La entidad cuenta con repositorios digitales que hacen parte de sistemas de información institucionales y se encuentran articulados con SGDEA.
		La entidad evalúa periódicamente la articulación de los repositorios digitales con el SGDEA, garantizando el funcionamiento de los actuales y promoviendo la integración con los nuevos repositorios.

Tabla 1. Repositorios digitales. Fuente: Archivo General de la Nación (2020).

2.3.4.1. Lineamientos normativos y legislativos

Los lineamientos decretados por el Gobierno nacional con respecto a los reglamentos establecidos para archivos de carácter histórico se encuentran en el Decreto 1080 de 2015, “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Cultura” (Ministerio de Cultura, 2015), en sus artículos:

ARTÍCULO 2.8.2.1.17. Los Archivos Históricos administrados por entidades académicas y/o privadas. Los Archivos Históricos que no estén adscritos a entidades públicas de un ente territorial serán responsables integralmente por el patrimonio documental que tienen a cargo, así como por la adecuada organización y custodia de sus fondos, y la prestación de los servicios de consulta para los ciudadanos y no podrán recibir a ningún título, transferencias secundarias provenientes de entidades públicas o privadas que cumplen funciones públicas.

PARÁGRAFO. Sus fondos documentales solo podrán incrementarse mediante la recepción de documentos donados por particulares, la compra de archivos de entidades

de derecho privado, de familias o de personas naturales. (Decreto 2578 de 2012, artículo 17).

ARTÍCULO 2.8.2.1.18. Sistema Integral Nacional de Archivos Electrónicos. El Archivo General de la Nación establecerá y reglamentará el Sistema Integral Nacional de Archivos Electrónicos - SINAE como un programa especial de coordinación de la política nacional de archivos electrónicos del Estado Colombiano, de conformidad con lo establecido en la Ley 594 de 2000, la Ley 527 de 1999 y la Ley 1437 de 2011.

PARÁGRAFO. El Archivo General de la Nación Jorge Palacios Preciado emitirá concepto sobre el impacto de la implantación de las nuevas tecnologías en la gestión documental de forma que se garantice homogeneidad en la gestión archivística del Estado y la preservación de los documentos electrónicos que conforman el patrimonio documental digital (Decreto 2578 de 2012, artículo 18).

ARTÍCULO 2.8.2.5.9. Procesos de la gestión documental. La gestión documental en las diferentes entidades públicas en sus diferentes niveles debe comprender como mínimo los siguientes procesos.

a) Planeación. Conjunto de actividades encaminadas a la planeación, generación y valoración de los documentos de la entidad, en cumplimiento con el contexto administrativo, legal, funcional y técnico. Comprende la creación y diseño de formas, formularios y documentos, análisis de procesos, análisis diplomático y su registro en el sistema de gestión documental.

b) Producción. Actividades destinadas al estudio de los documentos en la forma de producción o ingreso, formato y estructura, finalidad, área competente para el trámite, proceso en que actúa y los resultados esperados.

c) Gestión y trámite. Conjunto de actuaciones necesarias para el registro, la vinculación a un trámite, la distribución incluidas las actuaciones o delegaciones, la descripción (metadatos), la disponibilidad, recuperación y acceso para consulta de los documentos, el control y seguimiento a los trámites que surte el documento hasta la resolución de los asuntos.

d) Organización. Conjunto de operaciones técnicas para declarar el documento en el sistema de gestión documental, clasificarlo, ubicarlo en el nivel adecuado, ordenarlo y describirlo adecuadamente.

- e) Transferencia. Conjunto de operaciones adoptadas por la entidad para transferir los documentos durante las fases de archivo, verificando la estructura, la validación del formato de generación, la migración, *refreshing*, emulación o conversión, los metadatos técnicos de formato, los metadatos de preservación y los metadatos descriptivos.
- f) Disposición de documentos. Selección de los documentos en cualquier etapa del archivo, con miras a su conservación temporal, permanente o a su eliminación, de acuerdo con lo establecido en las tablas de retención documental o en las tablas de valoración documental.
- g) Preservación a largo plazo. Conjunto de acciones y estándares aplicados a los documentos durante su gestión para garantizar su preservación en el tiempo, independientemente de su medio y forma de registro o almacenamiento.
- h) Valoración. Proceso permanente y continuo, que inicia desde la planificación de los documentos y por medio del cual se determinan sus valores primarios y secundarios, con el fin de establecer su permanencia en las diferentes fases del archivo y determinar su destino final (eliminación o conservación temporal o definitiva) (Decreto 2609 de 2012, artículo 9).

ARTÍCULO 2.8.2.7.2. Características del documento electrónico de archivo. Los documentos electrónicos dependen de su estructura lógica más que de la física. Los documentos generados y gestionados a través de sistemas electrónicos deben tener como mínimo las siguientes características.

- a) Contenido estable. El contenido del documento no cambia en el tiempo; los cambios deben estar autorizados conforme a reglas establecidas, limitadas y controladas por la entidad, o el administrador del sistema, de forma que, al ser consultado cualquier documento, una misma pregunta, solicitud o interacción genere siempre el mismo resultado.
- b) Forma documental fija. Se define como la cualidad del documento de archivo que asegura que su contenido permanece completo y sin alteraciones a lo largo del tiempo, manteniendo la forma original que tuvo durante su creación.
- c) Vínculo archivístico. Los documentos de archivo están vinculados entre sí, por razones de la procedencia, proceso, trámite o función y por lo tanto este vínculo debe mantenerse a lo largo del tiempo, a través de metadatos que reflejen el contenido, el contexto y la estructura tanto del documento como de la agrupación documental a la que pertenece (serie, subserie o expediente).

d) Equivalente Funcional. Cuando se requiera que la información conste por escrito, ese requisito quedará satisfecho con un mensaje de datos, si la información que este contiene es accesible para su posterior consulta.

PARÁGRAFO. El Archivo General de la Nación Jorge Palacios Preciado y el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones definirán las excepciones aplicables a este artículo cuando por razones de obsolescencia tecnológica no sea posible garantizarlas, sin afectar la autenticidad, integridad, inalterabilidad, fiabilidad y disponibilidad de los documentos (Decreto 2609 de 2012, artículo 23).

ARTÍCULO 2.8.2.7.3. Requisitos para la presunción de autenticidad de los documentos electrónicos de archivo. Sin perjuicio de lo establecido en las normas procesales se deben tener en cuenta además los siguientes requisitos en la gestión de documentos electrónicos de archivo, para asegurar en el tiempo su presunción de autenticidad.

a) Se debe expresar desde el momento de su creación los atributos del documento de archivo, tales como el trámite o asunto al que corresponde, los nombres de quienes intervinieron en las diferentes acciones que se llevaron a cabo con el documento, la fecha de creación, la fecha de transmisión, el nivel de acceso, los privilegios de acceso, mantenimiento, modificación, transferencia y disposición.

b) Definición de los procedimientos de protección para evitar la pérdida o corrupción de los documentos de archivo, los medios de almacenamiento y la tecnología.

c) Desde el contexto jurídico de acuerdo con lo señalado en el artículo 10 de la Ley 527 de 1999, según el cual en toda actuación administrativa o judicial no se negará eficacia probatoria, validez o fuerza obligatoria y probatoria a todo tipo de información en forma de un mensaje de datos.

d) Desde el contexto administrativo y documental según las reglas a partir de las cuales el documento de archivo es creado.

e) Formas documentales, autenticación del documento de archivo y su identificación de autoridad.

f) Otra información de ayuda a la verificación de autenticidad a través de metadatos.

g) Establecer procedimientos idóneos para asegurar la cadena de preservación de los documentos electrónicos de archivo a lo largo del ciclo de vida, y en el transcurso del tiempo (Decreto 2609 de 2012, artículo 24).

Y demás artículos consagrados en el Decreto 1080 de 2015. Así mismo, la Ley 527 de 1999, “Por medio de la cual se define y reglamenta el acceso y uso de los mensajes de datos, del comercio electrónico y de las firmas digitales, y se establecen las entidades de certificación y se dictan otras disposiciones” (Congreso de la República, 1999), se encuentra dentro los lineamientos jurídicos de los documentos electrónicos.

2.3.4. Normativa para la gestión documental

La normativa que el MGDA (2020) recomienda para la adquisición y administración de repositorios digitales son Medios de almacenamiento digital; Repositorios de confianza; Identificación de riesgos documentales, e Información y documentación. Proceso de conversión y migración de registros digitales. Los boletines *Infonómate* y *Boletín Informativo Archivo de Bogotá* explican cada norma de la siguiente manera:

2.3.4.1. Medios de almacenamiento digital

Los medios de almacenamiento digital son todos aquellos materiales físicos donde se almacenan datos digitales o que pueden ser procesados por una computadora, un sistema informático o un dispositivo electrónico. Estos pueden ser unidades de disco duro, cintas magnéticas, unidades de estado sólido y discos ópticos. Sin embargo, si se busca un medio de almacenamiento de datos que perdure en el tiempo, es decir, que los datos contenidos sean consultables después de un mínimo de 10 años de almacenados, se debe optar por tecnologías en la nube, como páginas web o correos electrónicos. Si esto no es posible, los formatos de los archivos deberían ser comunes para que fuera posible su apertura o recuperación en el futuro (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

Es importante tener en cuenta que se debe contar con *data center* alternos y se deben realizar inventarios periódicos para la verificación y recuperación de la información sin importar el medio en el que estén almacenados los archivos. Por lo tanto, es pertinente utilizar componentes con una vida útil mayor a la destinada para los archivos que contiene o moverlos antes de que el dispositivo se vuelva obsoleto. Asimismo, se debe contar con una política para la renovación

de los sistemas de almacenamiento y de demostración de la autenticidad de la información para comprobar que no ha sido comprometida (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021).

2.3.4.2. Repositorios de confianza

En aras de prevenir el daño de la información contenida en el repositorio digital, así como la información de terceros que acceden a plataformas, se debe garantizar la autenticidad, confiabilidad, integridad y usabilidad del servidor. Del mismo modo, se debe dar estabilidad, es decir, asegurar los recursos económicos y humanos para contar con un sistema de prevención de desastres. Por otra parte, la plataforma debe ser neutra frente a todas las partes, es decir, sin favorecer presiones externas. Finalmente, la plataforma debe tener la experticia para enfrentar riesgos durante la gestión y garantizar el funcionamiento de todos los puntos mencionados anteriormente (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2021):

El sistema de *backup* del RCT debe tener las siguientes funciones:

- Una función que permita proteger los registros digitales en el repositorio y asegurar su retención estable.
- Una función que permita la generación de un *backup* completo del sistema.
- Una función que permita el *backup* de los registros digitales que se aplicarán al repositorio bajo estatus continuo.
- Una función que permita el *backup* de los diferentes tipos de plataforma de sistemas operativos como Linux, Unix o Windows.
- Una función que permita el *backup* de registros digitales, bases de datos y otra información de gestión empleada por el RCT.
- Una función que evite la suplantación y falsificación de datos de *backup*.
- Debe cumplir y establecer un procedimiento, un programa y un método para realizarse; lo anterior con el fin de evitar actividades que infringen la integridad, tales como la sustitución, falsificación de datos, eliminación u otros desastres.
- Se debe emplear equipos de *backup* para ejecutar los procedimientos de *backup* y recuperación. Se debe generar un informe de *backup* que evidencie las actividades realizadas.
- Se debe realizar el *backup* en tiempo real si el servidor se encuentra en un lugar remoto. El tiempo de recuperación de emergencia no debe ser muy superior al tiempo de recuperación con datos espejo y datos de *backup* en tiempo real.

- Referencia ISO/IEC/TR 10032.- Tecnología de la información. Modelo de referencia de gestión de datos (p. 7-8).

2.3.5. Identificación de riesgos documentales e información y documentación

El riesgo es el efecto que genera incertidumbre en un objeto, por tanto, en el caso de los repositorios digitales, el administrador o administradores de dicho repositorio deben tener un plan de gestión de riesgos, es decir, un plan coordinado para dirigir y controlar las acciones en contextos tanto internos como externos que se consideren riesgosas para la integridad del repositorio y su contenido. En este sentido, el AGN cuenta con un conjunto de normativas y estándares técnicos:

- NTC-ISO 30301 Sistemas de gestión para documentos
- NTC-ISO 15489-1 Gestión documental
- NTC-ISO 23081 Gestión de metadatos
- NTC 5921 Seguridad física de los documentos tradicionales
 - NTC-ISO 27001 Seguridad de la información

NTC-ISO 31000 Gestión del riesgo (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 3)

Asimismo, cuenta con un conjunto de metodologías para la apreciación del riesgo:

- Cuadrante de riesgos: administrativos, control de documentos, legales o normativos, tecnológicos (ARMA Internacional, 2009).
- Enfoques metodológicos: basado en hechos y requisitos (*Lemieux, Two approaches to managing Information Risk*) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 3)

A continuación, se presentan el objeto y el campo de aplicación de esta norma según el boletín n.º 2 de *Infonórmate* 2020:



Flujograma 1. Aplicación de la norma (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 4)

Las anteriores acciones están enfocadas en cumplir el objetivo de “detectar, examinar y registrar las posibles acciones y debilidades que pueden suceder y afectar la capacidad de los documentos y el logro de los objetivos propuestos por la entidad” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 5), teniendo en cuenta que el riesgo puede afectar no solo al repositorio y su documentación, sino a todos los actores alrededor del mismo.

Debido a que el riesgo tiene un alcance macro y micro, identificar las posibles consecuencias y la probabilidad de que ocurran es parte del proceso de detección. Por tanto, dentro de la normatividad mencionada se trata este tema de manera detallada y se aconseja que el o los responsables de las diferentes áreas de gestión del repositorio deben trabajar en entornos de riesgo adecuadamente administrados.

2.3.5.1. Proceso de conversión y migración de registros digitales

En el apartado de medios de almacenamiento digital se menciona la relevancia de actualizar los sistemas de almacenamiento utilizados, ya sean estos físicos o de formato. En esta normativa el eje central es la conversión de registros digitales entendida como el cambio de formatos antiguos u obsoletos de los archivos a formatos vigentes; y la migración de registros digitales, entendiendo que el avance de la tecnología convierte en obsoletos los elementos de almacenamiento de registros digitales o estos sufren daños producto del uso, la antigüedad y los factores externos.

Con base en lo anterior, la norma se enfoca en ayudar a “la confección de un plan de conversión y/o migración que contenga las mayores garantías posibles para la preservación de los

documentos” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 1) Para lograrlo, se establece una secuencia de cuatro pasos: Planificación, Pruebas, Ejecución y Validación. Cada paso tiene como objetivo que cualquier organización productora de documentos digitales cuente con un sistema de conversión y migración confiable que asegure la disponibilidad y preservación de todos los documentos. “Es imprescindible que dichos documentos estén organizados, clasificados, descritos e indizados, para poder ser identificados y recuperados de la forma más pertinente en el momento en que se desee” (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2020, p. 5).

2.3.6. Verificación de la autenticidad, fiabilidad, integridad y disponibilidad de los documentos electrónicos

Los archivos electrónicos que se utilicen para nutrir un repositorio deben contar con las siguientes características: autenticidad, fiabilidad, integridad y disponibilidad. Lo anterior garantiza que el archivo electrónico no sea manipulado o dañado ni sea utilizado de manera alterada en ningún contexto.

2.3.6.1. Autenticidad

Es la constancia de que un documento o archivo es lo que dice ser, sin alteraciones o corrupciones. Por ello es importante que en el documento se puedan identificar el *software* y *hardware* necesarios para su presentación, que sea lo que afirma ser, la certeza sobre la persona que lo ha elaborado, enviado, firmado, etc., que ha sido creado o enviado en el momento que se afirma, que el documento electrónico es verídico y sin alteraciones (Ministerio de las TIC, 2017).

Para determinar la presunta autenticidad de un archivo, este debe contar con los siguientes aspectos:



Flujograma 2. Aspectos de la autenticidad de un archivo (Ministerio de las TIC, 2017).

En caso de querer otorgar autenticidad a un documento, la G.INF.08 Guía para la gestión de documentos y expedientes electrónicos (Ministerio de las TIC, 2017) propone el uso de las siguientes técnicas:

- Estampas de tiempo
- Firmas electrónicas
- Firmas digitales
- Certificados digitales
- Código seguro de verificación (CSV)
- Marcas de agua digitales

2.3.6.2. Fiabilidad

Según el Ministerio de las TIC (2017, p. 25-26), la fiabilidad hace referencia a “la capacidad de un documento para asegurar que su contenido es una representación completa, fidedigna y precisa de las operaciones, las actividades, los hechos que testimonia o se puede establecer, declarar o sostener el acto o hecho del que es relativo, determinando la competencia del autor y examinando tanto la completitud en la forma del documento como el nivel de control ejercido durante su proceso de producción”. La fiabilidad del documento, según la lista de requisitos establecida por el Ministerio, se demuestra:

- Dando testimonio del lugar, estableciendo la competencia del autor.
- Dando certeza de estar completo en la forma del documento de archivo, incluyendo información de control de su producción.
- Manteniendo su identidad inequívoca, es decir, los atributos de contexto y procedencia que le son propios, como evidencia electrónica de las transacciones, actividades o hechos a lo largo del tiempo.
- Mediante métodos seguros y verificables.

Por individuos que dispongan de un conocimiento directo de los hechos o automáticamente por los instrumentos que se usen habitualmente para realizar las operaciones (Ministerio de las TIC, 2017, p. 26).

2.3.6.3. Integridad

Es cuando un documento o archivo se encuentra completo y sin alteraciones. Esta cualidad garantiza que el documento se pueda enviar o mover sin que pierda parte de su contenido, es

decir, que se mantenga inalterable, para asegurar que el documento o archivo original no sea alterado. Los requisitos establecidos para la presunción de integridad de los documentos electrónicos de archivo, según el Ministerio de las TIC (2017, p. 27), son:

- Los documentos deben permanecer completos, protegidos contra modificaciones y alteraciones no autorizadas.
- Cada entidad u organización deberá establecer políticas y procedimientos de gestión de documentos en donde se especifique qué adiciones o anotaciones pueden realizarse en un documento después de su creación, en qué circunstancias pueden autorizarse dichas adiciones o anotaciones y quién está autorizado para llevarlas a cabo. Cualquier anotación, adición o supresión autorizada que se realice en un documento debería indicarse de forma explícita y dejar traza.
- Conservar los metadatos de contexto que den cuenta de la naturaleza procedimental, jurídica, administrativa y tecnológica (auditoría) que da origen al documento dándole la confiabilidad requerida.
- Mantener, de manera permanente, la relación entre el documento electrónico de archivo y sus metadatos.
- En caso de requerirse algún cambio por razones de obsolescencia tecnológica o preservación a largo plazo, se debe realizar por personal debidamente autorizado dejando evidencia en el documento (a través de metadatos) y en la documentación del procedimiento de los cambios realizados, conforme a reglas establecidas, limitadas y controladas por la entidad (previamente, esto debe ser autorizado por una instancia de nivel decisorio; adicionalmente, debe quedar reglamentado en el Sistema Integrado de Conservación).
- Proporcionar y mantener pistas de auditoría u otros métodos de seguimiento que demuestren que los documentos de archivo están protegidos frente a la utilización, la modificación y la destrucción no autorizadas.
- Conservar los niveles de restricción de acceso, en caso de que el contenido de los documentos sea clasificado o reservado, según la Ley 1712 de 2014.

2.3.6.4. Disponibilidad

Es la capacidad de que un documento electrónico pueda ser consultado, localizado, recuperado, presentado, interpretado, legible y, por tanto, esté en condiciones de uso en cualquier momento.

Los requisitos para la presunción de disponibilidad, según el Ministerio de las TIC (2017, p. 31), son:

- Cada documento deberá contener la información necesaria para identificar el contexto de las actividades administrativas que lo conforman y el vínculo archivístico, existentes entre los documentos de archivo y el expediente de acuerdo con lo establecido en las Tablas de Retención Documental (TRD).
- La información debe estar disponible para consulta presente y en el futuro, independientemente del sistema que la produjo, su estructura o medio de registro original.
- Mantener el vínculo permanente entre el documento y sus metadatos.
- Los documentos electrónicos y la información en ellos contenida debe estar disponible en cualquier momento, mientras la entidad está obligada a conservarla, de acuerdo con lo establecido en las TRD.

Para más información, se puede consultar la página web del MGDA: mgd.archivogeneral.gov.co o la página web del Archivo General de la Nación: www.archivogeneral.gov.co.

2.4. Digitalización

La digitalización es el proceso mediante el cual se desmaterializa un documento análogo u objeto físico para convertirlo en un archivo o archivos digitales que contienen la réplica digital de imagen fidedigna e íntegra del documento u objeto. La técnica para lograr una digitalización dependerá del objeto o documento a digitalizar y el tipo de archivo digital que se busca obtener. Por lo tanto, dependiendo del fin que se busque al emplear el proceso, requerirá de unas características y estándares específicos.

En el caso colombiano, la normatividad vigente brinda la posibilidad de usar medios tecnológicos en el proceso de archivo y, por tanto, realizar digitalizaciones.

2.4.1. Lineamientos normativos y legislativos

Las leyes que se encuentran vigentes y regulan en Colombia la digitalización de documentos son la 527 de 1999, o Ley de Comercio Electrónico (Congreso de la República, 1999), en la

que se define qué condiciones y características debe tener un archivo electrónico, y la 594 de 2000, o Ley General de Archivos, que dice:

ARTÍCULO 19. Soporte documental. Las entidades del Estado podrán incorporar tecnologías de avanzada en la administración y conservación de sus archivos, empleando cualquier medio técnico, electrónico, informático, óptico o telemático, siempre y cuando cumplan con los siguientes requisitos:

- a) Organización archivística de los documentos;
- b) Realización de estudios técnicos para la adecuada decisión, teniendo en cuenta aspectos como la conservación física, las condiciones ambientales y operacionales, la seguridad, perdurabilidad y reproducción de la información contenida en estos soportes, así como el funcionamiento razonable del sistema.

PARÁGRAFO 1º. Los documentos reproducidos por los citados medios gozarán de la validez y eficacia del documento original, siempre que se cumplan los requisitos exigidos por las leyes procesales y se garantice la autenticidad, integridad e inalterabilidad de la información.

PARÁGRAFO 2º. Los documentos originales que posean valores históricos no podrán ser destruidos, aun cuando hayan sido reproducidos y/o almacenados mediante cualquier medio.

Por su parte, el Decreto 2609 de 2012, “Por el cual se reglamenta el Título V de la Ley 594 de 2000, parcialmente los artículos 58 y 59 de la Ley 1437 de 2011 y se dictan otras disposiciones en materia de Gestión Documental para todas las Entidades del Estado”, compilado en el Decreto Único Reglamentario 1080 de 2015 (Ministerio de Cultura, 2015), menciona en los artículos:

ARTÍCULO 2.8.2.1.18. Sistema Integral Nacional de Archivos Electrónicos. El Archivo General de la Nación establecerá y reglamentará el Sistema Integral Nacional de Archivos Electrónicos (SINAE) como un programa especial de coordinación de la política nacional de archivos electrónicos del Estado Colombiano, de conformidad con lo establecido en la Ley 594 de 2000, la Ley 527 de 1999 y la Ley 1437 de 2011.

PARÁGRAFO. El Archivo General de la Nación Jorge Palacios Preciado emitirá concepto sobre el impacto de la implantación de las nuevas tecnologías en la gestión

documental de forma que se garantice homogeneidad en la gestión archivística del Estado y la preservación de los documentos electrónicos que conforman el patrimonio documental digital (Decreto 2578 de 2012, artículo 18).

ARTÍCULO 2.8.2.1.19. Sistema de Información del Sistema Nacional de Archivos - SISNA. El Archivo General de la Nación Jorge Palacios Preciado desarrollará la plataforma tecnológica para evaluar y hacer seguimiento en línea al desarrollo del Sistema Nacional de Archivos.

PARÁGRAFO. El Archivo General de la Nación Jorge Palacios Preciado implementará un observatorio que permita hacer seguimiento al cumplimiento de la política archivística en todas las entidades del Estado del orden nacional, departamental, distrital y municipal (Decreto 2578 de 2012, artículo 19).

ARTÍCULO 2.8.2.1.20. Integración del Sistema Nacional de Archivos a otros sistemas. El Sistema Nacional de Archivos se integrará con el Sistema General de Información del Sector Público, el Sistema Nacional de Cultura, el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, el Sistema Nacional de Formación para el Trabajo - SNFT y el Sistema Nacional de Patrimonio, así como con los demás sistemas que establezca el Gobierno Nacional que sean acordes con su naturaleza (Decreto 2578 de 2012, artículo 20).

Es importante mencionar que, además de las leyes y decretos anteriormente mencionados, el AGN cuenta con una normativa frente a la digitalización que especifica aspectos técnicos de recomendación o reglamentos para la digitalización de archivos.

2.4.2. Normativa para la digitalización

Dentro de la normativa del AGN para la digitalización se encuentran la Circular 005 de 2012: “Recomendaciones para llevar a cabo procesos de digitalización y comunicaciones oficiales electrónicas en el marco de la iniciativa cero papel” (Archivo General de la Nación, 2012) y el Acuerdo 07 de 1994, o Reglamento General de Archivos (Archivo General de la Nación, 1994).

Circular 05 de 2012, apartado 4. Digitalización certificada: Dependiendo del propósito de la digitalización, se puede hablar de digitalización certificada, entendida como aquella que se hace con el cumplimiento y uso de estándares previamente adoptados por los organismos competentes y por el Archivo General de la Nación, de

acuerdo con las necesidades de cada entidad o la naturaleza de los documentos y avalada por una instancia u organismo autorizado.

No debe entenderse de manera taxativa que la digitalización certificada implica necesariamente el uso de mecanismos como firmas digitales o electrónicas, pues lo que certifica el proceso no es en sí mismo una firma digital, sino el uso de estándares en el desarrollo del proceso –que pueden o no incluir firmas digitales o electrónicas–, y los cuales pueden ser certificados por la misma entidad de conformidad con las normas que expidan los organismos competentes o por un tercero autorizado.

En virtud de lo anterior, y por considerarlo relevante, es necesario que los procesos de digitalización incorporen el uso de metadatos para facilitar los procesos de recuperación y consulta, así como la autenticidad y preservación a largo plazo de los documentos. Cualquier consideración de atribución de metadatos puede llevarse a cabo con referencia a la norma ISO 23081-1:2006 u otras equivalentes, dependiendo del tipo de documentos o información.

Los metadatos atribuidos o asociados a las imágenes son un componente esencial en la gestión y recuperación de los documentos; estos pueden ser generados automáticamente desde los mismos programas de *software*, los sistemas de información y el *hardware* utilizado en el proceso de digitalización; si los metadatos residen en un sistema independiente, lo recomendable es que se vinculen directamente a los registros o puedan encapsularse dentro del formato de la imagen, así como extraerse o exportarse cuando se requiera.

Circular 05 de 2012, apartado 3. II. Digitalización con fines archivísticos: Es un proceso que requiere el uso y la aplicación tanto de estándares técnicos como de normas archivísticas expedidas por el Archivo General de la Nación y adoptadas por el Comité de Archivo de la entidad; esta digitalización se debe hacer a partir de agrupaciones o conjuntos de documentos (expedientes y series documentales); también es posible llevarla a cabo desde el ingreso o producción de un documento, a través del sistema de gestión de documentos electrónicos de archivos de la entidad (SGDEA), caso en el cual es preciso asociar la imagen digitalizada de cada documento a las series y expedientes, de acuerdo con el Cuadro de Clasificación Documental y la Tabla de Retención Documental, de forma que se mantenga el vínculo archivístico entre los documentos de un mismo trámite, teniendo en cuenta además los requisitos que establece la Ley 527 de 1999 y demás normas complementarias.

En igual sentido, este proceso puede llevarse a cabo para generar copias de seguridad o respaldo de documentos de archivo de valor histórico, científico o cultural, para habilitarlas en sustitución de los originales en caso de que se presenten siniestros que afecten a los archivos o documentos de conservación permanente.

Acuerdo 07 de 1994. Reglamento General de Archivos. CAPÍTULO VI REPROGRAFÍA DE LOS DOCUMENTOS.

ARTÍCULO 55: Coordinación del servicio de reproducción. La Dirección de los archivos, a través del Servicio de Reproducción de Documentos, coordinará y supervisará los proyectos de reproducción sistemática de fondos que se desarrollen en el archivo con las siguientes finalidades: seguridad, consulta, complemento, sustitución y difusión.

Teniendo en cuenta la normativa y la legislación mencionadas, las entidades pueden realizar la digitalización de documentos y objetos, sin embargo, los documentos y objetos físicos no podrán ser destruidos en caso de ser requeridos por entes judiciales. Al respecto, el Código General del Proceso (Congreso de la República, 2012) dicta:

Artículo 243. Distintas clases de documentos. Son documentos los escritos, impresos, planos, dibujos, cuadros, mensajes de datos, fotografías, cintas cinematográficas, discos, grabaciones magnetofónicas, videograbaciones, radiografías, talones, contraseñas, cupones, etiquetas, sellos y, en general, todo objeto mueble que tenga carácter representativo o declarativo, y las inscripciones en lápidas, monumentos, edificios o similares.

Los documentos son públicos o privados. Documento público es el otorgado por el funcionario público en ejercicio de sus funciones o con su intervención. Así mismo, es público el documento otorgado por un particular en ejercicio de funciones públicas o con su intervención. Cuando consiste en un escrito autorizado o suscrito por el respectivo funcionario, es instrumento público; cuando es autorizado por un notario o quien haga sus veces y ha sido incorporado en el respectivo protocolo, se denomina escritura pública.

Artículo 245. Aportación de documentos: Los documentos se aportarán al proceso en original o en copia.

Las partes deberán aportar el original del documento cuando estuviere en su poder, salvo causa justificada. Cuando se allegue copia, el aportante deberá indicar en dónde se encuentra el original, si tuviere conocimiento de ello.

Artículo 246. Valor probatorio de las copias: Las copias tendrán el mismo valor probatorio del original, salvo cuando por disposición legal sea necesaria la presentación del original o de una determinada copia.

Sin perjuicio de la presunción de autenticidad, la parte contra quien se aduzca copia de un documento podrá solicitar su cotejo con el original o, a falta de este, con una copia expedida con anterioridad a aquella. El cotejo se efectuará mediante exhibición dentro de la audiencia correspondiente.

3.METODOLOGÍA

El objetivo de este trabajo es aplicar la fotogrametría digital a diversos objetos arqueológicos, para crear modelos 3D que permitan su difusión, estudio y exhibición en diferentes contextos, como entornos académicos y museográficos. Esta necesidad surge por la dificultad de acceder a las piezas, su fragilidad y el riesgo de dañarlas al exponerlas o manipularlas. A continuación, se explicará el proceso de digitalización de las piezas y cómo se abordó el repositorio digital.

Como se mencionó en la sección de Fotogrametría 3D, esta técnica consta de tres pasos fundamentales: captura de datos, procesamiento de datos y obtención del modelo 3D. Para este trabajo, se utilizaron dos tipos de cámaras y dos programas de *software*. Se empleó una cámara Canon EOS Rebel T2i con un objetivo Canon Zoom Lens EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 en modo automático, y un sistema de cámaras Pro de 12 MP que incluye una lente ultra gran angular con apertura de $f/2.4$ y ángulo de visión de 120° , una lente gran angular con apertura de $f/1.6$, y una lente teleobjetivo con apertura de $f/2.0$ (este sistema de cámaras se encontraba en el iPhone 12 Pro). En cuanto al *software*, se utilizaron Agisoft Metashape Professional y la aplicación 3D Scanner App-LiDAR de la App Store.

Dado que el objetivo del trabajo era recopilar información de diferentes tipos de evidencia arqueológica, se tomaron datos de cerámica, restos óseos, restos biológicos, arte rupestre y abrigos rocosos. Por lo tanto, se utilizó como referencia principal la metodología descrita en el volumen 14 de la revista *Archaeological and Anthropological Sciences*, artículo 42, titulado “*A detailed method for creating digital 3D models of human crania: an example of close-range photogrammetry based on the use of Structure-from-Motion (SfM) in virtual anthropology*” (2022). En dicho artículo, se aplica la técnica de fotogrametría en cráneos, que es útil también para otros artefactos pequeños. Además, se consultó el artículo “Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística” (2012), de la Universidad de Málaga, el cual propone una metodología para la captura de datos de estructuras que es aplicable al arte rupestre y los abrigos rocosos.

Todos los objetos y espacios elegidos para la adquisición de datos están bajo la custodia del ICANH. Esta elección se fundamenta en el rol regulador del ICANH en la arqueología de Colombia y en la accesibilidad de sus instalaciones y materiales arqueológicos para investigadores, estudiantes y, en ciertos casos, el público en general, según ciertos criterios. La selección de las piezas se llevó a cabo considerando el material de fabricación, el tamaño y la textura de las mismas. La elección también se debe a la falta de un catálogo o inventario

completo con fotografías de las piezas en posesión del ICANH, lo cual dificulta su apreciación visual. Además, parte de la colección del ICANH procede de recuperaciones y devoluciones de piezas extraídas de contextos arqueológicos, lo que conlleva a menudo una falta de información sobre su origen y/o afiliación étnica. Por ende, no existen informes arqueológicos detallados para todas las piezas. Y, finalmente, algunas son muy frágiles o valiosas para su exhibición o préstamo, y, por ende, se excluyeron de la selección.

Además de lo anterior, los parámetros para la selección se establecieron con la premisa de que el material de las piezas no fuera reflectante ni translúcido, ya que en estos casos la aplicación de la fotogrametría es inviable. En tales objetos, la luz no se absorbe, sino que se refleja y refracta dentro del objeto, lo que conlleva una triangulación incorrecta y, por consiguiente, distorsiones. Además, en ocasiones, el *software* no capta datos de zonas con cristales o superficies reflectantes, ya que los rayos de luz no regresan al lente.

Teniendo presentes estos aspectos, se procuró incluir una variedad de tipos de materiales con el propósito de mostrar los resultados obtenidos en cada caso, ya que un repositorio digital debe abarcar una amplia gama de piezas arqueológicas y antropológicas. Los materiales de los cuales se obtuvieron datos incluyen cerámica, objetos óseos, componentes biológicos, arte histórico y arte rupestre. La decisión de excluir objetos líticos se debió a que, durante la toma de datos, se realizaba la exposición de una colección lítica en el Museo Nacional y el acceso a otras piezas estaba restringido. De esta manera, se incluyen los materiales que componen la mayor parte de la colección del ICANH.

En relación al tamaño de las piezas, cuya captura de datos se realizó en espacios interiores, no superan los 30 cm. Esta decisión se basó en la practicidad, ya que el ICANH carece de un estudio fotográfico o espacio especialmente acondicionado para este propósito. Dado que es un laboratorio y almacén de piezas, los fondos presentaban numerosos elementos que podían afectar los modelos 3D. Por esta razón, se optó por objetos pequeños y manejables que permitieran la captura de datos sin requerir la colaboración de terceros. Adicionalmente, estas piezas se podían disponer en un estudio fotográfico portátil que eliminara el fondo, permitiera el control de la iluminación y, por ende, mejorara la calidad de los datos.

Un factor adicional de relevancia es la textura de las piezas. Como se mencionó, las superficies reflectantes no son ideales para la fotogrametría, mientras que las superficies porosas y detalladas permiten una observación precisa de la calidad de la fotogrametría. Por esta razón,

se eligieron objetos con una variedad de formas que permitieran evaluar cómo se desempeña la técnica en objetos pintados, porosos, globulares, entre otros.

Finalmente, dado que se buscaba variedad para evaluar la efectividad de la técnica en diversas formas, texturas y contextos, la selección de piezas no se basó en un solo estilo, cultura o lugar de procedencia. Las piezas de un solo lugar no ofrecen la diversidad de materiales y formas que se puede obtener de las que provienen de diferentes estilos arqueológicos, por lo que se decidió elegir las con base en los factores mencionados. Es importante destacar que un repositorio digital debe incluir piezas de diversos tipos y no limitarse a un solo estilo arqueológico; así, la variedad se convierte en un factor esencial en la construcción del repositorio.

En la Tabla 2 se presentan las piezas arqueológicas seleccionadas e información del origen y el tipo de pieza.

Tabla 2. Piezas arqueológicas

N.º	Ubicación	Código del tenedor	Nombre descriptivo	Material	Lugar de hallazgo	Estilo arqueológico o cultura
1	Bogotá ICANH - Museo Nacional	#G-25	Copa	Cerámica	Colombia, Santander	Guane
2	Bogotá ICANH - Museo Nacional	V-35	Alcarraza	Cerámica	Colombia, Valle del Cauca	Calima, Malagana
3	Bogotá ICANH - Museo Nacional	#G-23	Vasija	Cerámica	Colombia, Santander	Guane
4	Bogotá ICANH - Museo Nacional	1050	Alcarraza	Cerámica	Colombia, Quindío	
5	Bogotá ICANH - Museo Nacional	3555-A- 3555	Figura	Cerámica	Colombia, Cundinamarca	Muisca

6	Bogotá ICANH - Museo Nacional	A-70-IV- 3368	Vasija	Cerámica	Colombia	Guane
7	Bogotá ICANH - Museo Nacional	QUIMB42 9	Figura	Cerámica	Colombia, Quindío	Quimbaya
8	Bogotá ICANH - Laboratorio	FG-E0060- 1	Cabeza reducida shuar	Biológico	Ecuador	
9	Bogotá ICANH - Laboratorio	87-X-0010	Cráneo	Óseo	Colombia, Bogotá, Candelaria La Nueva	
10	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo		Abrigo rocoso		Colombia, Cundinamarca , Facatativá	
11	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo		Abrigo rocoso, arte rupestre	Pigmento	Colombia, Cundinamarca , Facatativá	
12	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo	Roca 20	Abrigo rocoso. Galería de presidentes 1915	Pintura	Colombia, Cundinamarca , Facatativá	Gobierno colombiano
13	Bogotá ICANH – Laboratorio	T-12	Cráneo	Óseo	Bombona, Nariño	

Después de consultar con el Archivo General de la Nación los requerimientos, leyes y normativa que debe ser tenida en cuenta para la realización de un repositorio digital, y considerando que la creación desde cero de un repositorio digital requiere de un profesional especializado en desarrollo de páginas web, se opta por buscar un repositorio temporal para los modelos tomados.

3.1. Ejecución de la fotogrametría

En este apartado se presentará el proceso de toma y procesamiento de datos con ambas cámaras y ambos *softwares*. Del mismo modo, se especificará cuáles artefactos se aplicaron en cada uno de ellos.

3.1.1. Solicitud de acceso a las piezas

Las piezas arqueológicas seleccionadas para esta monografía se encuentran resguardadas en la Casita ICANH, ubicada dentro de las instalaciones del Museo Nacional de Colombia, en la carrera 7 N.º 28-66, en la ciudad de Bogotá. La Casita ICANH es el lugar designado para la conservación, catalogación y salvaguarda de las piezas que no están en exhibición. Para acceder a ellas, se requiere solicitar una cita, siguiendo los procedimientos establecidos por el ICANH.

Una vez obtenida la respuesta, se debe contactar al líder del área de restauración o al encargado de la Casita ICANH para solicitar el acceso a las piezas. En un plazo de 24 a 48 horas, los encargados responden la petición y requieren los siguientes documentos para habilitar el acceso:

- Proyecto que soporta la solicitud, en el que se indique el material de interés y la institución a la que pertenece.
- Cronograma posible de visita a la colección: fecha, hora y el nombre y cargo de las personas que participan.
- Compromiso de dejar copia de los resultados obtenidos a la Subdirección de Gestión del Patrimonio del ICANH.

Una vez enviados los documentos requeridos, se acuerda la hora y fecha de acceso. Debido a la cantidad de piezas que se decidió digitalizar, se determinó que eran necesarias dos visitas para tomar todos los datos requeridos.

3.1.2. Preparación del espacio

El primer paso para llevar a cabo la técnica de fotogrametría de manera óptima es preparar adecuadamente el espacio. Es importante tener en cuenta el objeto o estructura sobre la cual se aplicará la técnica, ya que los requisitos pueden variar según su tamaño. Además, es recomendable familiarizarse previamente con el espacio para llevar equipos que permitan la captura de datos de manera óptima. Como explica Aleix Barberà (2017, p. 156), “antes de comenzar el trabajo directo, es importante considerar aspectos como los procesos previos

necesarios (desmontar una vitrina, instalar un pequeño estudio fotográfico, colocar marcadores y escalas, requisitos específicos para manipular piezas delicadas, soportes para sostener las piezas, etc.), accesibilidad (horarios de visita, barreras físicas, interrupciones temporales del tráfico que puedan requerirse, desmontaje de elementos que puedan distorsionar el modelo, necesidad de andamios o elevadores, etc.), control de la iluminación (prever las horas de iluminación más difusas en el espacio o trabajar en un día nublado si se encuentra en exteriores, o planificar la iluminación artificial en interiores) y una serie de otras circunstancias que pueden afectar el resultado final”.

Dado que las piezas se encuentran en la Casita ICANH y no se pueden extraer, fue necesario realizar la captura de datos en ese lugar. Debido a los requisitos de ingreso, no fue posible realizar una visita previa para evaluar las condiciones de iluminación, espacio y otros elementos que pudieran afectar la captura de datos. Esto, sumado a que se dispuso de diferentes estancias en cada visita, hizo necesario realizar dos ajustes distintos.

En la primera visita, se colocó una mesa cuadrada con un tapete de corte verde sobre el cual se colocaron las escalas y objetivos. Se utilizó un espacio en el segundo piso que contaba con luz natural proveniente de una ventana y una lámpara de luz artificial, aunque se observó que la iluminación en el lugar era tenue. Además, la disposición de objetos en las estanterías circundantes podría interferir en la captura de datos, por lo que fue necesario tomar las fotografías de manera que estos objetos no afectaran los resultados.

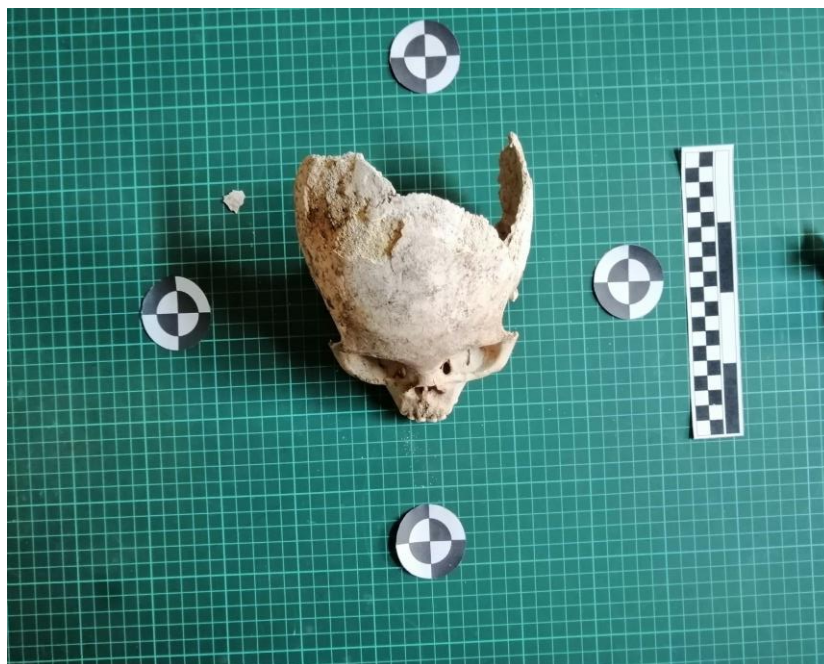


Imagen 5. Posicionamiento de escalas. Elaboración propia.

En la segunda visita, se asignó un espacio en el tercer piso que carecía de luz natural directa, la mesa era rectangular (lo que dificultaba el movimiento alrededor de ella para la captura de datos) y las estanterías se encontraban a un metro de distancia, lo que implicaba que fueran captadas por la fotogrametría. Estos factores negativos observados en la primera visita se acentuaron. Sin embargo, al haber visitado previamente el lugar, se tomaron medidas de contingencia para contrarrestar estas eventualidades. Se utilizó un plato giratorio fotográfico, soportes para las piezas, un fondo negro para evitar la aparición de objetos indeseados, objetivos, escalas, un trípode para estabilizar la cámara y una fuente de iluminación artificial constante de luz blanca. Estas medidas permitieron que la captura de datos fuera más rápida y con mejores resultados en comparación con la primera visita.



Imagen 6. Preparación del espacio. Elaboración propia

En el caso de las tomas de datos en el Parque Arqueológico Piedras del Tunjo, lo ideal es que se lleven a cabo en días con condiciones climáticas favorables, preferiblemente durante las horas de la mañana en un día soleado con nubosidad. Esto con el objetivo de reducir la intensidad de la luz y evitar reflejos directos en las rocas. Para estas tomas no se utilizan escalas ni trípodes, ya que es necesario ingresar la cámara a través de la valla protectora para capturar las imágenes. En las áreas donde no hay vallas, nos encontramos con una variedad de alturas y espacios estrechos, lo que requiere moverse y ajustar la cámara según estas condiciones.



Imagen 7. Vallas de protección para los petroglifos. Elaboración propia.

3.2. Captura de imágenes

La captura de imágenes de las piezas arqueológicas se llevó a cabo utilizando dos metodologías que difieren en un aspecto: el movimiento realizado. En la primera metodología, la pieza permanece completamente inmóvil mientras el fotógrafo se mueve alrededor de ella para

capturar todos los ángulos posibles (Figura 2). Es decir, la cámara realiza movimientos de traslación a diferentes alturas.

En la segunda metodología (Figura 3), la cámara se mueve verticalmente mientras el objeto está sobre un plato fotográfico giratorio que rota para permitir que la cámara capture todos los ángulos posibles de la pieza. A continuación, se explica detalladamente cada metodología:

3.2.1. Metodología 1

La toma de fotografías se realizó con una cámara Canon EOS Rebel T2i y un objetivo Canon Zoom Lends EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 en modo automático, a una distancia de entre 25 y 30 cm de la pieza, abarcando todas las perspectivas posibles.

Para establecer los puntos de fusión, se dispuso la pieza en una superficie plana sobre tapete de corte verde, junto a cuatro marcadores de escala circulares ubicados en las partes anterior, posterior y laterales del objeto. Además, se puso una escala recta junto al lateral izquierdo. Estos elementos son útiles durante la alineación y generación de la nube de puntos dispersa. Las fotografías cuentan con puntos de referencia que son tomados por el *software* para generar una nube de puntos coherente con el objeto fotografiado y para escalarlo de manera óptima. Esto evita errores durante el proceso, como la omisión de partes de la pieza, la duplicación, el desbordamiento del volumen total o parcial del modelo digital, entre otros.

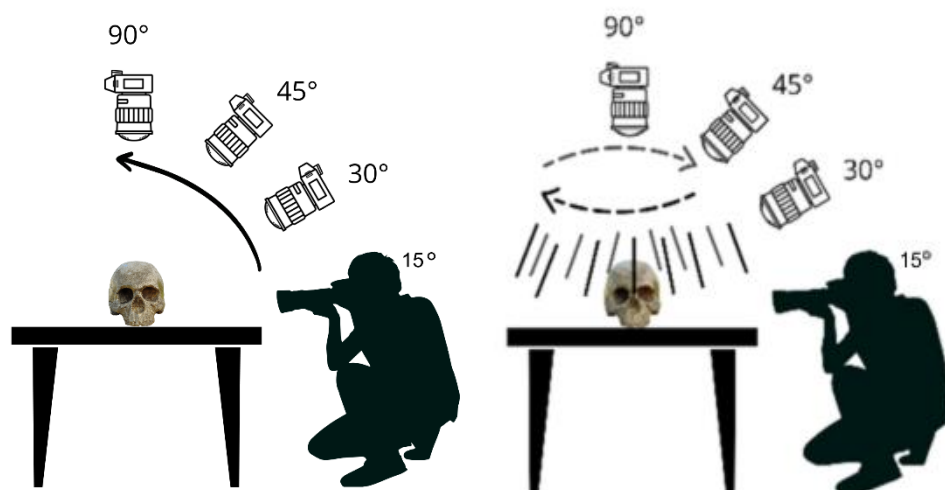


Figura 2. Metodología 1. Elaboración propia

La pieza se mantiene estática para obtener un modelo tridimensional que incluya todas las vistas exteriores posibles de la pieza arqueológica. El investigador rota lateralmente 20°, presiona el obturador y repite el proceso hasta completar los 360°. Esto permite superponer las

imágenes con una interpolación del 75 %. Cada toma se realiza con inclinaciones de 15°, 30°, 45° y 90°. Además, se realizan dos tomas que van desde la posición anterior a la posterior y de lateral derecho a lateral izquierdo, utilizando los mismos grados de inclinación mencionados. La Figura 2 ilustra el proceso de toma fotográfica.

3.2.2. Metodología 2

La toma de fotografías se realizó con un sistema de cámaras Pro de 12 MP: ultra gran angular apertura de $f/2.4$ y ángulo de visión de 120°, gran angular apertura de $f/1.6$, teleobjetivo apertura de $f/2.0$ y tecnología LiDAR (sistema de cámaras incluido en el iPhone 12 pro). Se utilizó una base giratoria sobre la que se dispusieron las piezas para evitar que el fotógrafo se desplazara alrededor del objeto. Esto se logra fijando la cámara sobre un trípode que se mantiene en una sola posición a 30 cm de la pieza y se mueve únicamente para tomar diferentes alturas: 15°, 30° y 45°. Mientras tanto, el plato fotográfico giratorio rota a intervalos de 20° hasta completar los 360°.

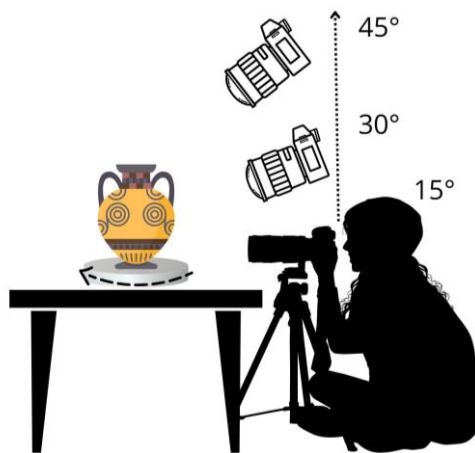


Figura 3. Metodología 2. Fuente: Elaboración propia.

Para generar puntos de fusión, se coloca la pieza en el centro del plato fotográfico giratorio y se colocan cuatro marcadores de escala circulares: uno frente a la parte anterior, uno frente a la parte posterior y uno en cada lateral del objeto (Figura 4). En función del tipo de base de la pieza (circular, ovalada, sin base, etc.), en ocasiones es necesario utilizar un soporte que mantenga el objeto estable durante la toma de fotografías.

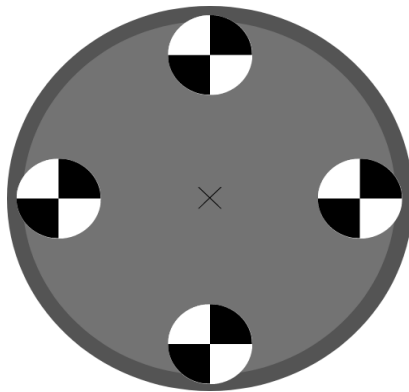


Figura 4. Plato fotográfico giratorio. Fuente: Elaboración propia.

Debido a las diversas funciones disponibles en la aplicación 3D Scanner App para la toma de datos, se seleccionó la opción Photos por la capacidad que tiene de proporcionar una captura de datos óptima según la metodología elegida. Esta función ofrece la posibilidad de establecer un intervalo de tiempo entre cada fotografía, que puede ser entre 0,9 segundos y 4 segundos, o realizar cada toma de forma manual. Cabe destacar que cada sesión de datos con esta

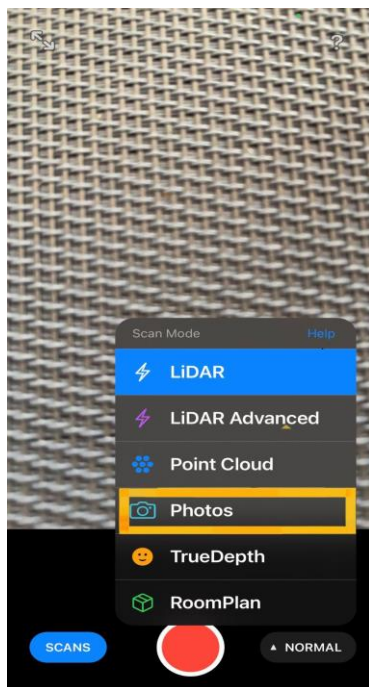


Imagen 8. Selección de la función Photos

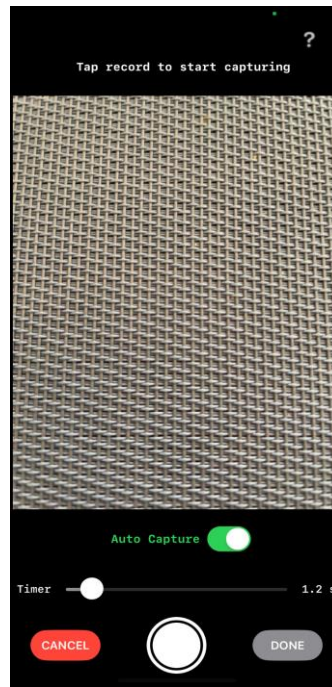


Imagen 9. Configuración del intervalo de tiempo

configuración permite un máximo de 250 fotografías.

Para las tomas de datos se optó por establecer un intervalo de tiempo de 1,8 segundos entre cada fotografía.

En ambos enfoques metodológicos, se busca capturar cada detalle de la pieza de manera exhaustiva. Por lo tanto, en ambas metodologías, las fotografías se centran en la pieza completa evitando recortes. Además, se busca garantizar la alta calidad de todas las fotografías, evitando imágenes borrosas, desenfocadas o con exceso de brillo. Sin embargo, en algunas piezas no fue posible capturar partes internas debido a que la limitada apertura impedía el ingreso de la cámara o a la presencia de obstrucciones en ciertos casos.

3.2.3. Metodología en exteriores

En cuanto a la metodología utilizada en exteriores para los abrigos rocosos del Parque Arqueológico Piedras del Tunjo, se consideraron las condiciones meteorológicas. Dado que no es posible controlar los niveles de luz en exteriores, se decidió realizar la toma de datos en días soleados por la mañana, aprovechando la presencia de nubes y la iluminación indirecta en los abrigos rocosos. Esto es importante debido a que la luz es un elemento crucial para obtener fotografías, ya que afecta visualmente el color, el volumen y la textura de los objetos (Nates, O. 2014). Por lo tanto, es fundamental buscar una iluminación constante para evitar que entre las imágenes haya discrepancias de color causadas por cambios abruptos durante la captura de datos.

En el caso de los abrigos rocosos, la toma de datos se realizó utilizando la tecnología LiDAR del sistema de cámaras Pro de 12 MP. Para cubrir el área deseada, se realizó un escaneo gradual de toda la zona. Este proceso se llevó a cabo de manera lenta y sin trípode, ya que con el control

manual se puede acceder a áreas pequeñas y adaptarse a las formas geológicas particulares de cada abrigo rocoso.

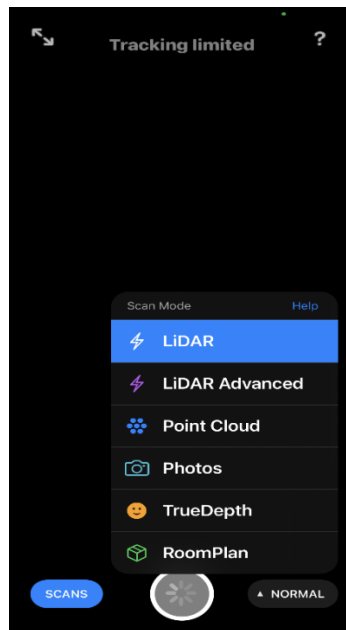


Imagen 10. Selección de la modalidad LiDAR

Paneo de cámara



Ilustración 7. Paneo de la cámara. Fuente: Elaboración propia

El paneo se debe realizar despacio para permitir que la cámara tome todos los datos posibles. El recorrido se puede realizar de diversas formas, dependiendo principalmente del sitio y de quien tome la fotogrametría. En este caso, se realizó el paneo de un lado a otro recorriendo toda

el área de abajo hacia arriba y cubriendo la totalidad del petroglifo y el abrigo rocoso. Una vez finalizado este proceso, se alejó el lente a dos metros sin desenfocar el área de interés, para realizar una toma general en círculo. Esto permite al *software* reconocer toda la geoforma de manera general y la posición de las tomas anteriores.

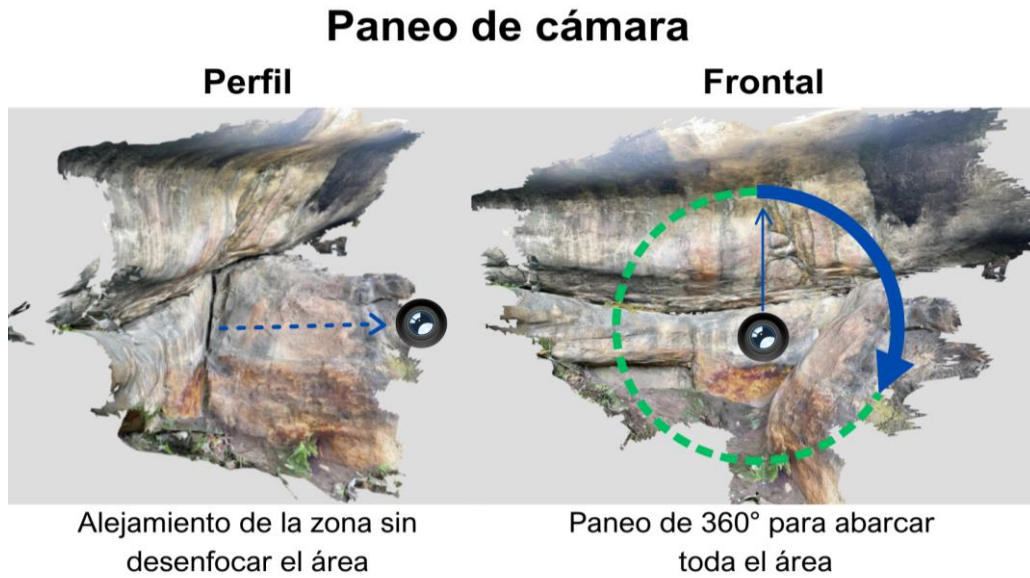


Ilustración 8. Paneo de cámara. Fuente: Elaboración propia.

Independientemente de la metodología usada, en ellas se obtuvo el número de fotografías necesario para el procesamiento y la construcción de los modelos 3D. A continuación, se presentan los datos de cada una de las piezas y espacios fotografiados.

Tabla 3. Tomas fotográficas

N.º	Ubicación	Código del tenedor	Nombre descriptivo	Material	Número de fotografías
1	Bogotá ICANH - Museo Nacional	#G-25	Copa	Cerámica	138
2	Bogotá ICANH - Museo Nacional	V-35	Alcarraza	Cerámica	235
3	Bogotá	#G-23	Vasija	Cerámica	193

	ICANH - Museo Nacional				
4	Bogotá ICANH - Museo Nacional	1050	Alcarraza	Cerámica	179
5	Bogotá ICANH - Museo Nacional	3555-A-3555	Figura	Cerámica	159
6	Bogotá ICANH - Museo Nacional	A-70-IV-3368	Vasija	Cerámica	134
7	Bogotá ICANH - Museo Nacional	QUIMB429	Figura	Cerámica	229
8	Bogotá ICANH - Laboratorio	FG-E0060-1	Cabeza reducida shuar	Biológico	166
9	Bogotá ICANH - Laboratorio	87-X-0010	Cráneo	Óseo	241
10	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo		Abrigo rocoso		976
11	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo		Abrigo rocoso, arte rupestre	Pigmento	463
12	Parque Arqueológico Piedras del Tunjo	Roca 20	Abrigo rocoso, galería de presidentes 1915	Pintura	30
13	Bogotá ICANH - Laboratorio	T-12	Cráneo	Óseo	33

3.3. Procesamiento de imágenes

Una vez se obtienen las fotografías, se lleva a cabo una revisión para descartar aquellas que presenten borrosidad o baja calidad. En caso de ser necesario, se pueden hacer correcciones utilizando programas de edición fotográfica, esto con el fin de evitar que el modelo resultante se vea afectado o contenga datos incorrectos.

Una vez finalizada esta etapa, se procede al procesamiento de los datos. En este caso, la mayoría de los modelos se procesaron utilizando la aplicación 3D Scanner App, mientras que uno de ellos se procesó con el *software* Agisoft Metashape Professional. Ambas herramientas utilizan los datos obtenidos de las fotografías y aplican los principios explicados en el marco teórico para generar un modelo 3D. A continuación, se describirá la técnica de procesamiento para cada uno de los *softwares*.

3.3.1. 3D Scanner App

3D Scanner App es una aplicación móvil exclusiva de la App Store de Apple y solo está disponible en dispositivos que cuenten con tecnología LiDAR. La interfaz de esta aplicación se encarga de realizar la captura de datos y el procesamiento posterior para obtener el modelo en cuestión de minutos.

Cada fotografía capturada con esta aplicación incluye información de escaneo LiDAR en los metadatos, lo que proporciona una alta precisión en la escala y textura del modelado 3D gracias al escaneo realizado sobre el objeto.

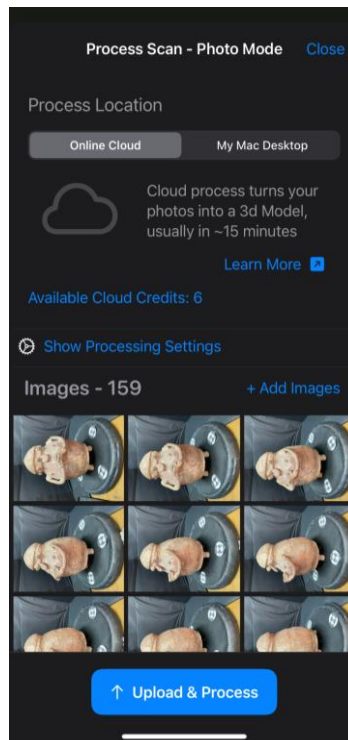


Imagen 11. Plataforma de procesamiento 3D Scanner App

El proceso no requiere intervención significativa del usuario, aparte de seleccionar la calidad deseada para el procesamiento. Una vez finalizada la captura de datos, se elige la opción “Upload and Process” y la aplicación se encarga de procesar las fotografías y generar el modelo 3D finalizado. El tiempo de procesamiento puede variar según la cantidad de fotografías, pero por lo general se obtiene el modelo completamente procesado en un lapso de 30 segundos a 15 minutos.

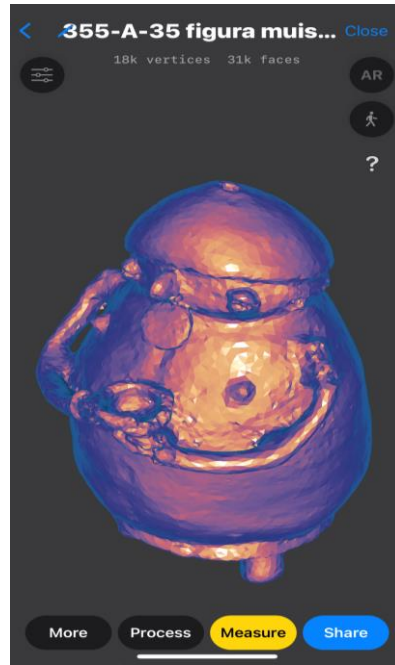


Imagen 12. Volumen de la pieza

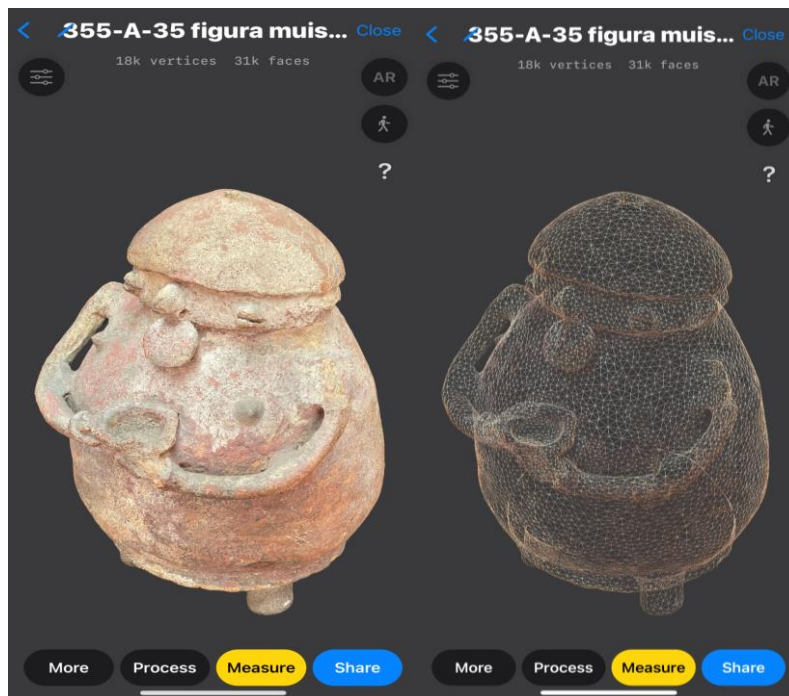


Imagen 13. Pieza procesada

Imagen 14. Malla generada en la pieza

Concluido el procesamiento es posible observar el modelo en las diferentes fases, es decir, observar la malla de puntos, el volumen, la textura, realizar mediciones, escalar, editar y

observar su posición geoespacial, si es que se habilitó esta opción. Así mismo, es posible medirlo con precisión y exportarlo en gran variedad de formatos.



Imagen 15. Medidas de detalles de la pieza

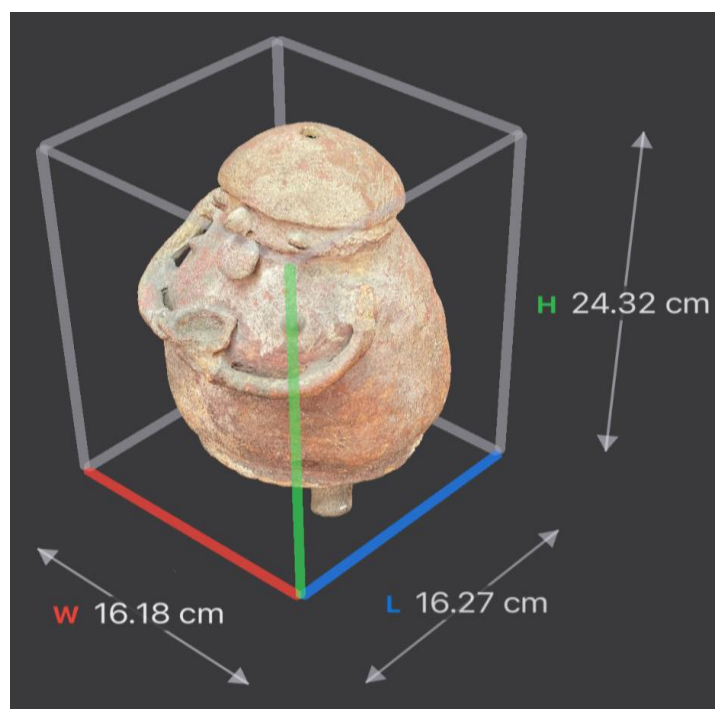


Imagen 16. Medidas de la pieza

Según la página oficial de 3D Scanner App, los formatos de exportación compatibles son los siguientes:

- **OBJ.** Este se considera un formato de modelo 3D universal, ya que es ampliamente compatible con las aplicaciones de edición de imágenes 3D. Generalmente consta de varios archivos con una textura de imagen OBJ, MTL y JPG, que se utiliza para representar una escena 3D texturizada.
- **USDZ.** Desarrollado a partir del estándar Universal Scene Description de Pixar, USDZ es el formato de archivo comprimido más utilizado por los dispositivos Apple.
- **GLTF (glTransmission Format).** Es un proyecto abierto de Khronos que proporciona un formato común y extensible para activos 3D que son eficientes y altamente interoperables con las tecnologías web modernas. Otro formato estándar para dispositivos Android.
- **GLB.** Es la versión binaria del archivo glTransmission Format (glTF), que utiliza la codificación JSON (JavaScript Object Notation). Por lo tanto, los datos de soporte (como texturas, sombreadores y geometría/animación) están contenidos en un solo archivo. Otro formato estándar para dispositivos Android.
- **FBX (Filmbox).** Es un formato de archivo propiedad (.fbx) de Autodesk, común en muchos programas 3D.
- **DAE.** Es un formato de archivo 3D abierto que se utiliza para intercambiar activos digitales entre una variedad de programas de gráficos basados en un esquema XML.
- **STL (STereoLithography).** Es un formato común para las aplicaciones CAD. Los archivos STL no tienen texturas fotográficas (Laan Labs, 3D Scanner App, 2021).

En este procesamiento, el paso más importante es el que se realiza durante la toma de datos, ya que entre mayor sea la calidad de las fotografías, mejor será el resultado.

3.3.2. Agisoft Metashape Profesional

Por otro lado, en el caso de Agisoft, el proceso no es automático, lo que supone que quien realiza el procesamiento controla las variables. Una vez recopiladas las imágenes, estas deben transferirse al computador y ser importadas al *software* para iniciar el proceso.

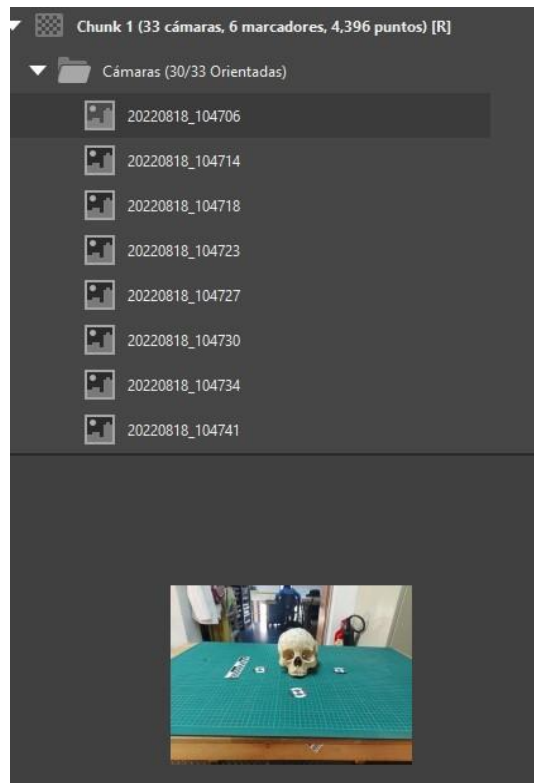


Imagen 17. *Chunk 1*, con las fotografías

El primer paso es ordenar las fotografías en la carpeta o *chunk* con la que se realizará el flujo de trabajo. Después, se debe hacer la identificación de los marcadores puestos alrededor de los objetos; estos permiten orientar, alinear y escalar el modelo. Una vez alineadas las fotos, se les aplican máscaras para eliminar datos innecesarios que puedan interferir con la generación del modelo. Finalizado esto, es posible iniciar con la creación del modelo tridimensional.

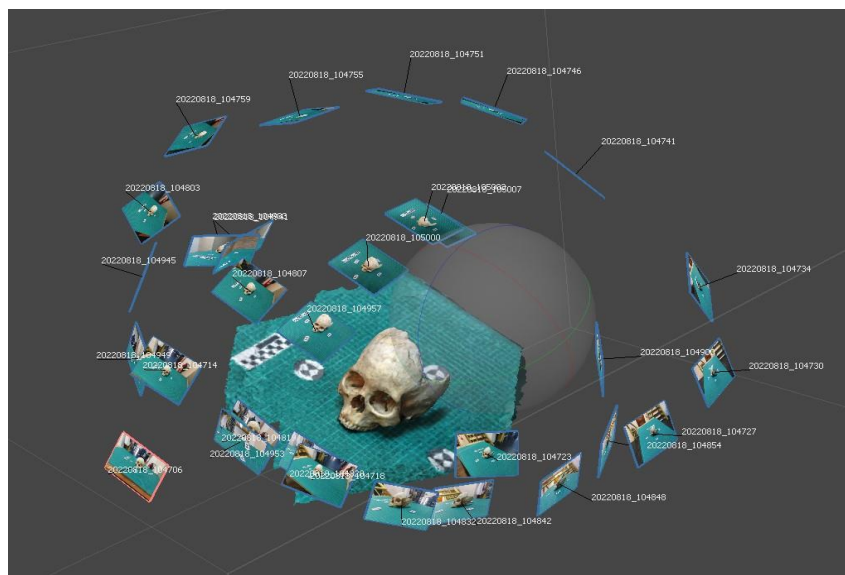


Imagen 18. Alineación de cámaras

La creación del modelo inicia con la orientación de las imágenes, que es un proceso automático cuyo resultado es la generación de una nube de puntos dispersa y el emparejamiento de las imágenes. Cada punto generado en este paso cuenta con información relacionada con la profundidad, el color y la ubicación, resultado del entrelazamiento de diferentes imágenes guardadas en el *chunk*. A partir de la nube de puntos generada, se escala el modelo utilizando las escalas y los objetivos puestos en la toma de datos. A estos se les llama puntos de control y cada uno se encarga de dar profundidad y medidas exactas para evitar aberraciones ópticas. En este caso, se procesaron un total de 4.396 puntos.

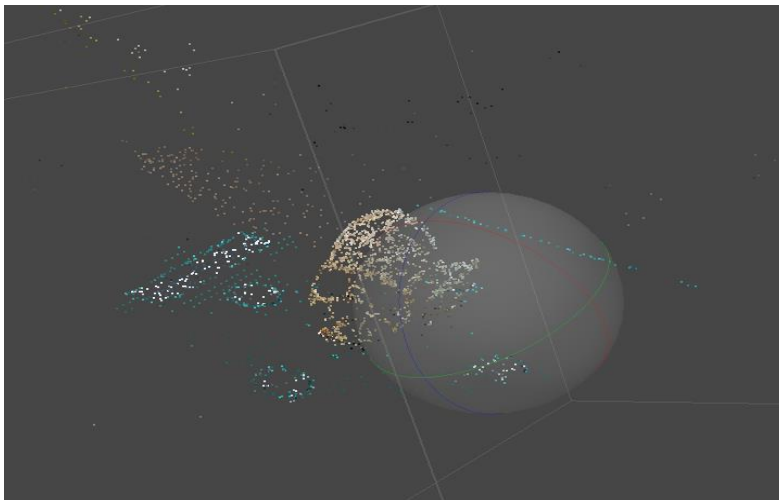


Imagen 19. Nube de puntos

Finalizado el proceso de escalado, se inicia la generación de la nube de puntos densa, que contiene información más detallada del modelo y, por tanto, le da mayor precisión. En este caso, se produjeron un total de 2.947.333 puntos. Después sigue la generación de una malla que une e interpola los puntos de la nube entre sí, formando un esqueleto digital sobre el cual se soportan el texturizado y el color. La malla generada en este caso cuenta con 113.617 caras y 57.200 vértices.

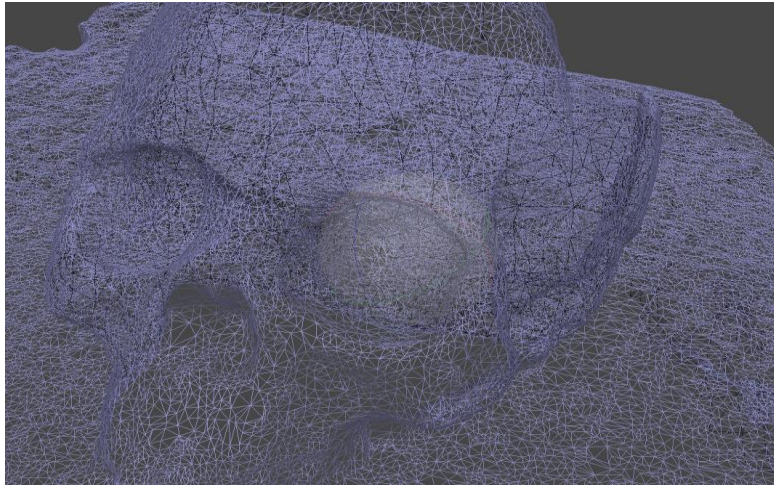


Imagen 20. Malla del modelo

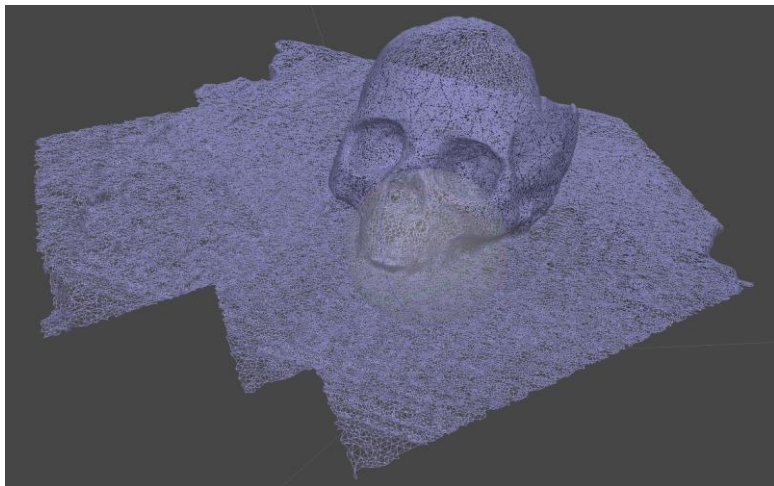


Imagen 21. Malla del modelo

Como paso final, se realiza el proceso de texturizado, que es automático y dota al modelo de relieve, rigidez y volumen. Sobre el volumen se reproduce el color extraído con base en la información de las fotografías, lo que da como resultado una reproducción tridimensional digital del objeto utilizado en la fotogrametría.

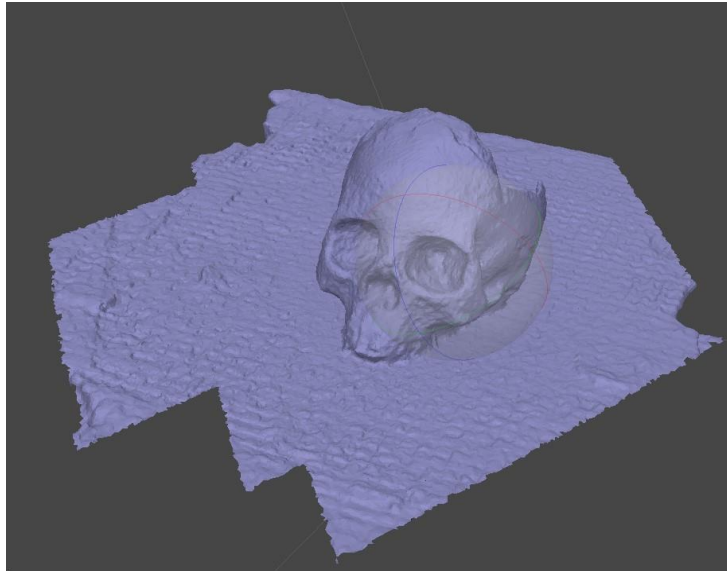


Imagen 22. Volumen



Imagen 23. Modelo finalizado

3.4. Repositorio

Debido a la complejidad y el costo asociado a la creación de un repositorio digital desde cero, se decidió buscar uno existente que cumpliera con los requisitos de archivo y conservación del patrimonio arqueológico colombiano. Además, se consideró el alto costo de establecer y mantener un repositorio privado, por lo que se buscó una opción práctica y de bajo costo.

En la actualidad, existen diversas plataformas externas dedicadas a compartir y comercializar archivos 3D en línea, como Thingiverse, YouMagine, Cults, MyMiniFactory, Pinshape e

Instructables, entre otras. Estas plataformas ofrecen funciones de búsqueda y descarga de archivos para impresión, uso en videojuegos y entornos de realidad virtual, tanto de forma gratuita como con pago. Sin embargo, el repositorio externo más utilizado por diversas instituciones para la preservación del patrimonio es Sketchfab.

Es una página web en la que desarrolladores de contenido 3D pueden subir sus creaciones para intercambiarlas, venderlas o permitir la libre descarga. Cuenta con diferentes tipos de licencias, entre las que se pueden apreciar CC BY, CC BY-SA, CC BY-ND, CC BY-NC, CC BY-NC-SA, CC BY-NC-ND Y CCO. Así mismo, se puede publicar y encontrar contenido en todos los formatos 3D, AR y VR en línea, con cargas ilimitadas. Es posible agregar etiquetas, metadatos y descripciones a las piezas. La audiencia que entra a los repositorios de museos que se encuentran en esta plataforma puede interactuar con el contenido y descargarlo.

Sketchfab es una plataforma que funciona como motor de búsqueda, repositorio, comercializador, visualizador, difusor y museo digital. Desde 2014, invita a instituciones interesadas en compartir y difundir el patrimonio cultural a cargar modelos tridimensionales de objetos, obras y arquitectura patrimonial contenidos en museos, para ofrecerlos al público. Estos modelos se comparten bajo la licencia Creative Commons (CC), lo que permite a los usuarios utilizar las obras protegidas por derechos de autor sin necesidad de solicitar permisos.

Actualmente, Sketchfab colabora con 27 organizaciones ubicadas en 13 países, incluidos museos arqueológicos como el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), el Instituto Smithsonian y The British Museum. Por lo tanto, se propone utilizar esta plataforma como repositorio y medio de difusión del patrimonio cultural colombiano, ya que cuenta con

la experiencia y las especificaciones adecuadas en su normativa para la divulgación de elementos culturales y patrimoniales.

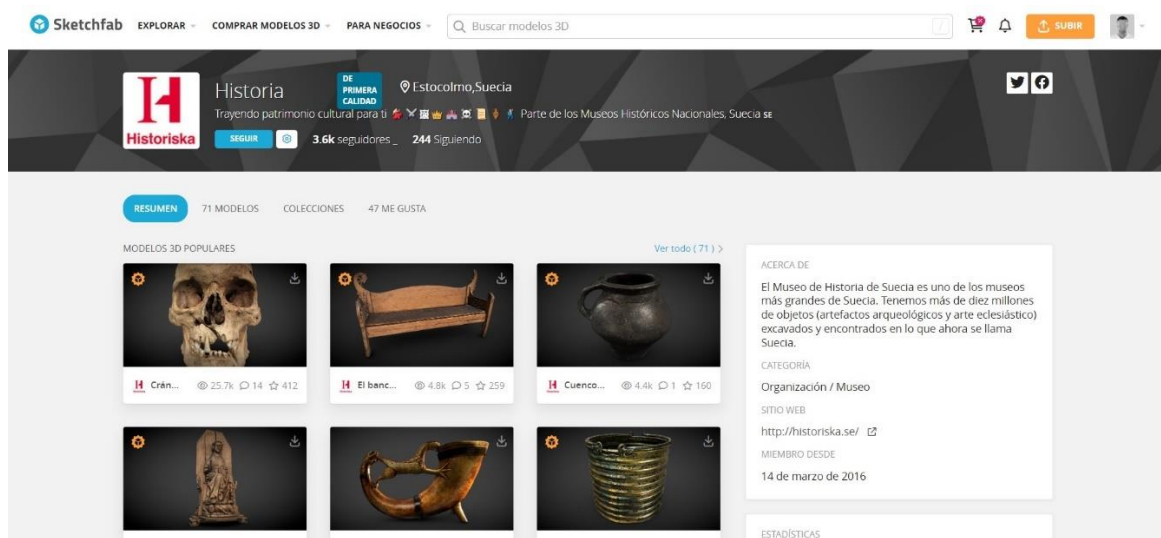


Figura 5. Museo digital Historiska de Suecia. Habilidad en fotogrametría

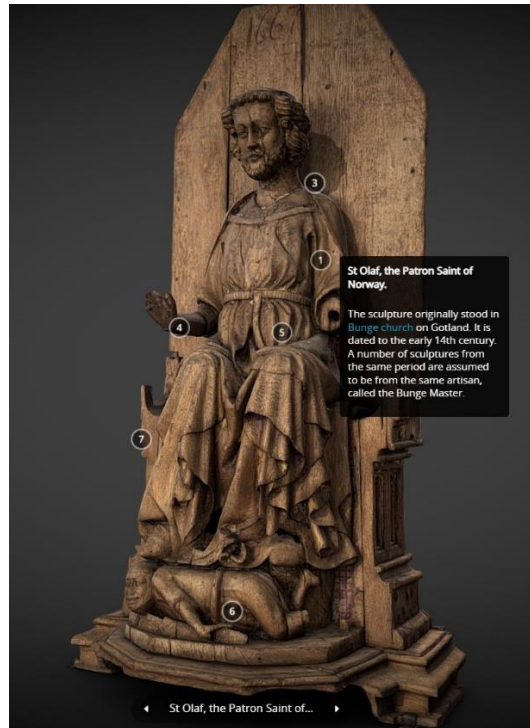

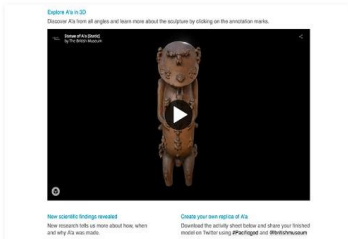






Figura 6. San Olaf, pieza de fotogrametría con anotaciones descriptivas
Cómo las instituciones culturales usan Sketchfab

INSERTADO EN CUALQUIER LUGAR
 El Museo Británico exhibe sus artefactos en 3D y VR en su sitio web y en artículos de prensa.

COMPARTIR EN LAS REDES SOCIALES
 El INAH comparte sus colecciones en 3D en su feed de noticias de Facebook.

EXHIBICIONES DE REALIDAD VIRTUAL
 The Economist Media Lab organizó una exposición de realidad virtual que mostraba modelos 3D de Rekrei (Proyecto Mosul).




Figura 7. Página web de Skechfab, donde se presentan algunos de los repositorios de museos. Fuente: Skechfab.com

Considerando que es necesario obtener los permisos correspondientes del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) para la creación de una cuenta institucional y la difusión de las piezas arqueológicas, se ha creado una cuenta regular donde se han cargado temporalmente los modelos. Estos se encuentran en un estado de borrador, lo que significa que no están disponibles para el público y solo pueden ser consultados por el titular de la cuenta

durante un máximo de 30 días. Esta carga temporal se realiza con fines explicativos y para la finalización de este trabajo en particular.

Se espera que en el futuro sea posible crear una cuenta institucional que permita cargar de manera definitiva los modelos para su exposición al público en general. Sin embargo, esto estará sujeto a la obtención de los permisos necesarios y a las políticas y los procesos establecidos por el ICANH para la difusión adecuada del patrimonio arqueológico.

4.Resultados

A continuación, se muestra cada modelo después del procesamiento:



Ilustración 9. #G-25 Copa guane. Modelo 3D en vistas lateral y superior



Ilustración 10. V-35. Alcarraza calima. Modelo 3D en vistas lateral, posterior y frontal



Ilustración 11. #G-23 Vasija. Modelo 3D en vistas lateral y superior



Ilustración 12. 1050 Alcarraza. Modelo 3D en vistas lateral, superior y frontal



Ilustración 13. 3555-A-3555 Figura muisca. Modelo 3D en vistas lateral, trasera, superior y frontal



Ilustración 14. A-70-IV-3368 Vasija guane. Modelo 3D en vistas laterales



Ilustración 15. QUIMB429. Modelo 3D en vistas lateral, trasera y frontal



Ilustración 16. FG-E0060-1 Cabeza reducida shuar. Modelo 3D en vistas frontal y posterior



Ilustración 17. Abrigo rocoso. Modelo 3D en vista frontal

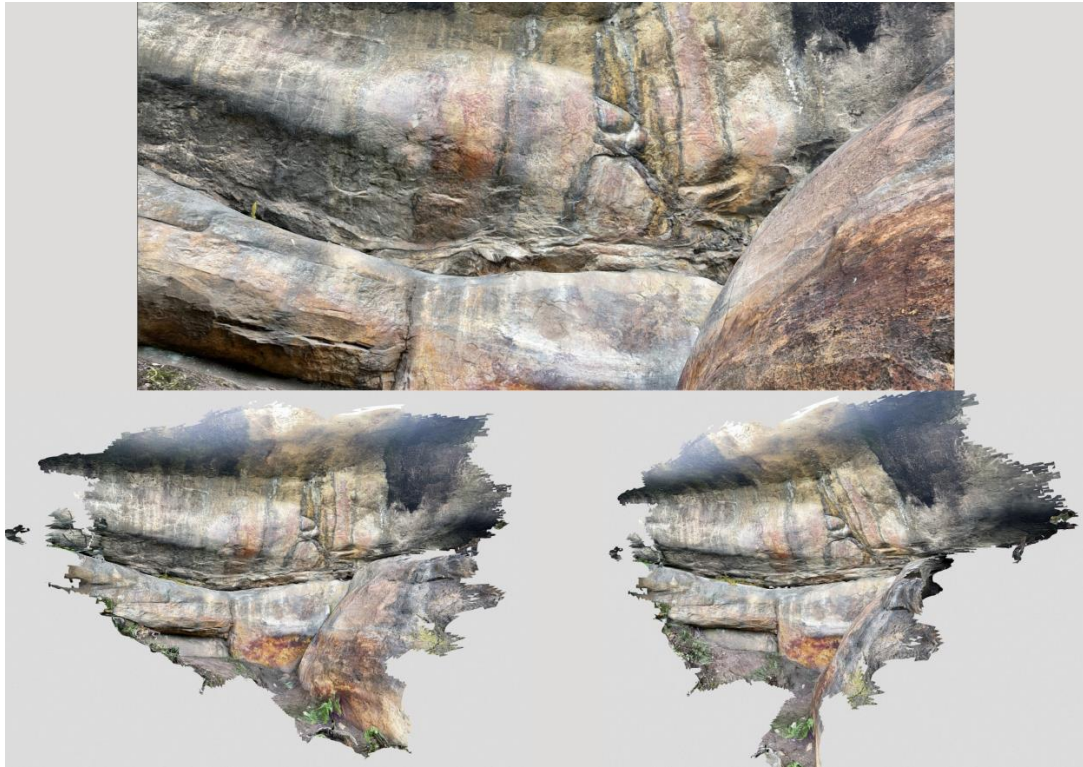


Ilustración 18. Abrigo rocoso, arte rupestre. Modelo 3D en vistas lateral y frontal

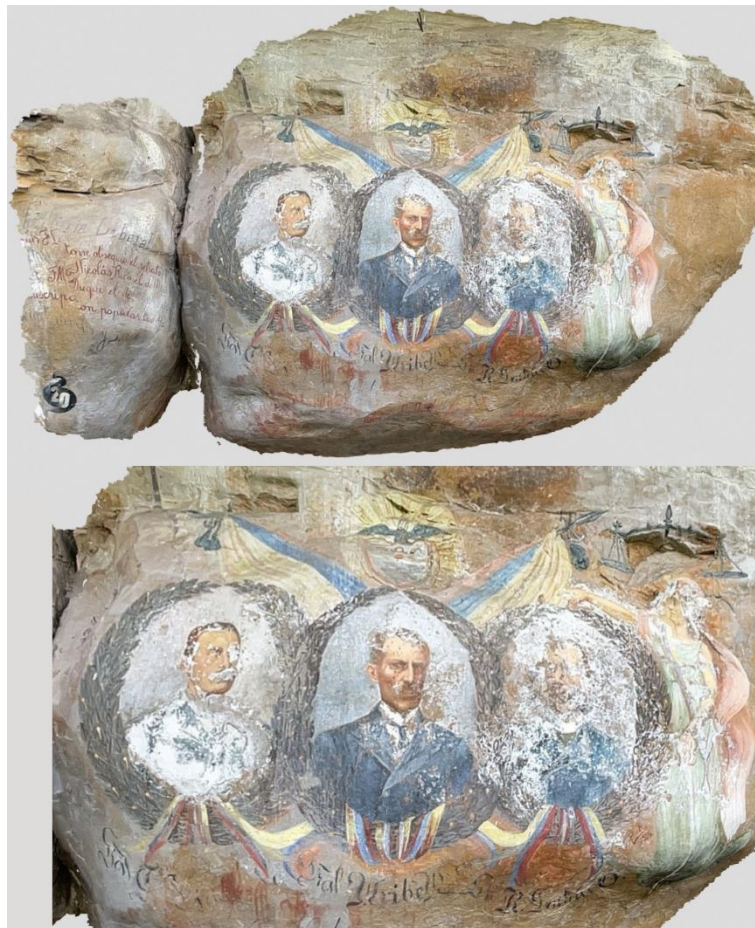


Ilustración 19. Roca 20, abrigo rocoso, galería de presidentes 1915. Modelo 3D en vista frontal



Ilustración 20. 87-X-0010 Cráneo. Modelo 3D en vistas inferior, frontal y trasera



Ilustración 21. Bombona Nariño T-12. Modelo 3D en vista frontal

El único modelo que se procesó con Agisoft Metashape Professional (cráneo Bombona Nariño T-12) presentó una menor calidad que los demás, debido a un problema con la resolución de las fotografías en la cámara utilizada. Mientras que los resultados obtenidos con los modelos

procesados con 3D Scanner App evidencian la alta calidad de procesamiento que tiene esta herramienta.

Estos resultados enfatizan la importancia de la preparación del espacio, la elección de la técnica adecuada y el uso de un equipo óptimo para lograr excelentes resultados. Si alguno de estos factores falla, el resultado se verá seriamente afectado, pues el modelo puede presentar pérdida de calidad o de escala e incluso puede ser irreconocible. En el caso del cráneo Bombona Nariño T-12, a pesar de que se utilizó un equipo de procesamiento de alta calidad como Agisoft, la baja calidad de las fotografías dio como resultado un modelo borroso que no sería útil para ninguna investigación, ya que sus características son irreconocibles.

Por otro lado, los modelos obtenidos utilizando el sistema de cámaras Pro del iPhone 12 Pro en combinación con 3D Scanner App ofrecen resultados satisfactorios en términos de documentación de objetos y sitios arqueológicos. A pesar de ser una tecnología portátil con un sistema de procesamiento menos complejo que Agisoft, todos los modelos obtenidos son reconocibles y presentan un alto nivel de nitidez y detalle, lo que los hace aptos para su estudio e investigación dentro de la comunidad arqueológica.

Es importante destacar que, además de controlar las variables en la toma de datos, la experiencia en el campo desempeña un papel crucial para obtener modelos 3D de alta calidad desde la primera captura. La familiaridad con la técnica, los conocimientos básicos de fotografía y la comprensión del funcionamiento del equipo son fundamentales para lograr un buen modelo durante el procesamiento.

El postprocesamiento también es un factor importante al presentar los modelos 3D. Aunque no se explicó en detalle en este documento, el postprocesamiento permite eliminar áreas innecesarias, corregir el color, la nitidez, agregar sombras y otros detalles que pueden ser útiles para reconstrucciones virtuales. Sin embargo, se recomienda tener en cuenta el propósito del modelo 3D, ya que la aplicación de ciertas características propias de la edición puede afectar estudios e investigaciones posteriores que se pretendan realizar sobre la pieza. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo el modelo puede ser visualmente alterado después de la edición:



Ilustración 22. Modelo 3D antes y después de la edición

Durante la captura de datos con 3D Scanner App, uno de los desafíos es obtener la parte inferior del modelo, ya que la aplicación no permite realizar ensambles de piezas. Para superar esta limitación, se requiere creatividad al posicionar el objeto durante la captura de datos, de modo que el *software* pueda reconocer la parte inferior. En caso de no ser posible, se puede recurrir a Agisoft para realizar el ensamble de las partes inferior y superior posteriormente.

En cuanto al repositorio digital, se estableció que las piezas digitalizadas se expondrán temporalmente y de manera privada en Sketchfab. Sin embargo, debido a que es una carga temporal y terceros no pueden acceder, a continuación, se proporciona un enlace libre a Google Drive para observar los modelos 3D: https://drive.google.com/drive/folders/1aGZChUW5wJHj9b5MTZGSqmulJ6Ur1Qvt?usp=drive_link. Se espera en el futuro colaborar con el ICANH u otra organización para crear un repositorio permanente de piezas accesible al público en general.

Con el fin de verificar la eficacia de la aplicación de esta tecnología en la investigación arqueológica, se realizó una demostración y se presentaron algunos de los modelos digitalizados a antropólogos y arqueólogos. Las respuestas fueron satisfactorias y se destacaron varios aspectos.

Lorena Lemus Rendón, jefa del laboratorio de arqueología del ICANH y estudiante de doctorado en la Universidad de los Andes, consideró de vital importancia realizar estas

digitalizaciones, ya que permiten llevar a cabo pedagogía con piezas que han sido extraídas de los territorios de las comunidades o que no pueden ser expuestas por diversas razones. Esto contribuye a la arqueología pública, la apropiación del patrimonio en los territorios y la difusión del conocimiento arqueológico. Solicitó amablemente la digitalización de algunas piezas para utilizarlas en su proyecto de doctorado.

Enrique Bautista Quijano, magíster en Antropología Biológica de la Universidad Nacional de Colombia y magíster en Historia de la Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, después de presenciar la captura de datos en el Parque Arqueológico Piedras del Tunjo, opinó sobre la versatilidad y portabilidad de esta tecnología y la calificó como una herramienta necesaria para los arqueólogos. Destacó su bajo costo y las posibilidades de uso en diversos sitios arqueológicos, como método de recolección de datos en campo y posterior investigación. Mencionó que, al utilizar tecnologías no intrusivas como la fotogrametría, se puede realizar un mejor trabajo investigativo. Planea aplicar la técnica en sus futuras investigaciones arqueológicas en el alto Magdalena.

José Vicente Rodríguez Cuenca, doctor en Antropología Física del Instituto de Antropología y Etnografía de la Academia de Ciencias de Rusia y profesional universitario en Ciencias Históricas y Arqueología de la Universidad Estatal Rusa de Voronezh, considera muy útil tener un repositorio digital de piezas arqueológicas y opina que los modelos obtenidos presentan resultados satisfactorios. Además, expresó su interés en adquirir un dispositivo para utilizar la fotogrametría en sus futuras investigaciones.

Patricia Ramírez Nieto, restauradora del ICANH, quien siguió de cerca el trabajo realizado en la Casa ICANH del Museo Nacional de Colombia, considera que esta labor es de gran utilidad para la preservación, restauración y difusión del patrimonio. Destaca que muchas de las piezas bajo la protección del ICANH no han sido expuestas debido a su fragilidad y mediante un repositorio digital podrían ser exhibidas al público en general.

5. Conclusiones

El Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) cuenta actualmente con una extensa colección de más de mil piezas arqueológicas provenientes de diferentes partes del país. Sin embargo, la mayoría de estas piezas no son expuestas debido a diversos factores, como su fragilidad, su valor, la falta de concordancia con la exhibición museográfica o la susceptibilidad que puedan generar en ciertos públicos. Además, en los registros de inventario de las piezas, muchas de ellas carecen de fotografías, y los informes arqueológicos anteriores a la era digital también pueden tener fotografías de baja calidad o no tener imágenes.

Es importante destacar que actualmente no existe un listado de piezas arqueológicas accesible para investigadores o el público en general. Esto, sumado a las condiciones de protección y fragilidad de las piezas que limitan su acceso, hace que esta colección arqueológica sea desconocida tanto para los investigadores como para el público. Estos factores obstaculizan el desarrollo libre de la investigación arqueológica en Colombia y pueden generar sesgos en los estudios relacionados con las piezas arqueológicas, dando lugar a la creación y difusión de hipótesis erróneas. Además, el desconocimiento de las comunidades sobre las piezas arqueológicas que han sido extraídas de sus territorios les impide generar un sentido de pertenencia y un relato colectivo sobre su pasado.

En vista de lo anterior, no es suficiente preservar y resguardar las piezas arqueológicas, ya que el objetivo principal es difundir el patrimonio a las generaciones actuales y futuras. Por lo tanto, es necesario contar con una plataforma de repositorio digital que permita el acceso sin restricciones a las piezas arqueológicas, aprovechando los avances tecnológicos que permiten la investigación, exposición y difusión del patrimonio de manera digital. La implementación de un repositorio digital contribuye a descentralizar la información y facilita el acceso a las piezas desde cualquier parte del mundo, evitando los costos y las dificultades de trasladarse a la ciudad de Bogotá para llevar a cabo investigaciones.

El repositorio digital no solo beneficia a la antropología y la arqueología, sino que también puede ser utilizado por áreas como el diseño gráfico, las artes, la arquitectura, el desarrollo de *software*, la animación, la ingeniería de *software*, entre otros. Estas disciplinas pueden utilizar

en sus investigaciones y desarrollos los modelos digitalizados, para la producción de recreaciones virtuales de espacios arqueológicos y obras de arte digital, entre otros proyectos.

Finalmente, aunque la fotogrametría no es la única técnica de digitalización 3D, se destaca por su rapidez, bajo costo, portabilidad y facilidad de aprendizaje. Por lo tanto, resulta una técnica útil para alimentar un repositorio digital. Sin embargo, este trabajo no pretende excluir otras técnicas no invasivas de recolección, reconstrucción y digitalización 3D, como la tomografía axial computarizada, la resonancia magnética, el escaneo con brazo digitalizador o los sensores remotos. Por el contrario, se espera que en el futuro se utilicen otras técnicas de digitalización 3D para enriquecer el repositorio.

Bibliografía

- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020, junio). *Infonórmate, boletín informativo Archivo de Bogotá. NTC-ISO/TR 18128:2016 Información y documentación–Evaluación del riesgo para procesos y sistemas de registros(2)*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <https://archivobogota.secretariageneral.gov.co/infonormate>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021, septiembre). *Infonórmate, boletín informativo Archivo de Bogotá. NTC-ISO 17068:2018 Información y documentación. Repositorio de confianza de terceros para registros digitales(3)*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <https://archivobogota.secretariageneral.gov.co/infonormate>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2021, junio). *Infonórmate, boletín informativo Archivo de Bogotá. NTC-ISO TR 17797:2016 Archivo electrónico. Selección de medios de almacenamiento digital para preservación a largo plazo(2)*. Bogotá, Colombia: Alcaldía Mayor de Bogotá. Obtenido de <https://archivobogota.secretariageneral.gov.co/infonormate>
- Almagro, A. (1973). Documentación fotogramétrica de ruinas y monumentos. *Bellas Artes*, 27, 45-46.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensors. (2012). *What is ASPRS? – ASPRS*. Recuperado el 11 de mayo de 2023, de ASPRS: <http://www.asprs.org/About-Us/What-is-ASPRS.html>
- Aparicio Resco, P. M. (2014). PAR. Arqueología y Patrimonio Virtual. Obtenido de *El uso de la fotogrametría digital y otras técnicas de virtualización en la arqueología mexicana*. <https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2014/03/11/el-uso-de-la-fotogrametria-digital-y-otras-tecnicas-de-virtualizacion-en-la-arqueologia-mexicana/>
- Archivo General de la Nación. (2020). *MGDA*. Obtenido de Repositorios Digitales: <https://mgd.archivogeneral.gov.co/productos/repositorios-digitales/>
- Archivo General de la Nación. (2020). *MGDA*. Obtenido de ¿Qué es el modelo? <https://mgd.archivogeneral.gov.co/inicio/que-es-el-modelo/>
- Archivo General de la Nación (2014, 6 de marzo). Ley 1712 de 2014. Ley de Transparencia y del Derecho de Acceso a la información Pública Nacional. DO: 49.084.
- Archivo General de la Nación. (2012, 11 de septiembre). Circular Externa 005. *Recomendaciones para llevar a cabo proceso de digitalización y comunicaciones oficiales electrónicas en el marco de la iniciativa cero papel*. Colombia.
- Archivo General de la Nación. (1994, 29 de mayo). Acuerdo 07 de 1994. *Reglamento General de Archivos. Art 5*. Colombia.
- Arenas, L. M. (2010). Fotografía científica. El arte de lo invisible. En U. d. Alcalá (Ed.), *III ciclo de conferencias Los jueves de la Ciencia*. Guadalajara: UNED Guadalajara.
- Barberà Giné, A. (2017). Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. *Unicum*(17), 153 - 162.
- Carmona, R. (2008). *Introducción a la visualización 3D*. (F. d. Ciencias, Ed.) Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela . doi:10.13140/2.1.4965.1525
- Caro-Herrero, J. L. (2012). Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística. (F. d. Turismo, Ed.) *TURITEC 2012: IX*

- Congreso Nacional Turismo y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, 519-534 . Obtenido de <http://hdl.handle.net/10630/5134>
- Castañeda, S. (s.f.). *Sistemas de Coordenadas en tres dimensiones*. 4. Barranquilla, Colombia. Universidad del Norte.
- Charnay, C. D. (1881). *Facade intérieure du palacio du Palenque*. *Historia y descubrimiento de Palenque*. En *Arqueología mexicana. Los tesoros de Palenque*. Mediateca INAH, Fototeca Nacional, Palenque, Chiapas, Mexico. Obtenido de <https://www.mediateca.inah.gob.mx/repositorio/islandora/object/fotografia%3A361119>
- Charquero Ballester, A. M. (2016). *Práctica y usos de la fotogrametría digital en arqueología*. *DAMA, 1*, 139-157. Recuperado el 8 de abril de 2022 de <http://web.ua.es/es/dama/>
- China, C. S. (2004, 17 de julio). *La paralaje anual. Midiendo distancias cortas*. Obtenido de *La paralaje anual. Midiendo distancias cortas*. <http://casanchi.org/ast/parannual.htm>
- CIMS, Carleton University, ICANH. (2019, abril). *[Fotogrametría] [Diapositiva en PowerPoint]*. Obtenido del Instituto Colombiano de Antropología e Historia. <https://www.icanh.gov.co>
- CIPA Heritage Documentation, ICOMOS, SEAV, International Forum of Virtual Archeology Seville. (2017). *The Seville Principles. International Principles Of Virtual Archaeology. ICOMOS General Assembly*. New Delhi: the 19th ICOMOS General Assembly.
- Congreso de la República (2012, 12 de julio). *Código General del Proceso*. Ley 1564 de 2012. Arts 243, 245, 246. Colombia.
- Congreso de la República (1999, 18 de agosto). *Ley 527 de 1999. Por medio de la cual se define y reglamenta el acceso y uso de los mensajes de datos, del comercio electrónico y de las firmas digitales, y se establecen las entidades de certificación y se dictan otras disposiciones*. DO: 43.673.
- Conyers, L., and Goodman, D. (1997). *Ground Penetrating Radar. An Introduction For Archaeologists: Walnut Creek, Altamira Press*, 232 p.
- Dean Goodman, S. P. (2013). *GPR Remote Sensing in Archaeology* (1 ed.). (H. Springer Berlín, Ed.) Berlín: Springer-Verlag Berlín Heidelberg 2013. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-31857-3>
- Delgado Anés, L., & Romero Pellitero, P. (2017). *La arqueología virtual, generadora de recursos para la comunicación y participación*. (L. Bocanegra Barbecho, & A. García López, Edits.) *Con la Red / En la Red. Creación, investigación y comunicación cultural y artística en la era Internet.*, 193-214. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/48875>
- Förstner, W., & Wrobel., B. P. (2016). *Photogrammetric Computer Vision: Statistics, Geometry, Orientation and Reconstruction*. Suiza: Springer International Publishing.
- García, G., & Ortiz, Á. (2013). *La proyección estereográfica y deformación conforme de métricas en la bola*. En P. (Perry, *Memorias del 21º Encuentro de Geometría y sus Aplicaciones*. (p. 19-21). Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica.
- García Lorca, S. (1999). *Arqueomática: la informática al servicio de la arqueología*. *Anales de prehistoria y arqueología*(15), 203-210. Obtenido de <https://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcnz8m3>

- González Reyero, S. (2015, 29 de septiembre). Los usos de la fotografía en favor de la arqueología como ciencia moderna. Francia 1850-1914 . *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid*. Recuperado el 25 de octubre de 2022 de <https://revistas.uam.es/cupauam/article/view/1247>
- Gutiérrez Alonso, A. (2017). *Representación morfológica de grabados y petroglifos: nuevas tecnologías y procesos en el tratamiento digital de imágenes RGB*. Universidad Politécnica de Madrid, Ingeniería Topográfica y Cartografía. Madrid: E.T.S.I. en Topografía, Geodesia y Cartografía (UPM). doi:10.20868/UPM.thesis.47745
- Holliday, C., & cohete V2. (1946). *La primera fotografía de la Tierra desde el espacio exterior*. Laboratorio de Física Aplicada Johns Hopkins, White Sands Missile Range, Nuevo México, Estados Unidos. Obtenido de <https://www.xataka.com.mx/espacio/hace-exactamente-75-anos-se-tomo-primera-foto-tierra-espacio-usando-camara-montada-cohete-aleman>
- ICANH. (2022, 18 de enero). *El Gobierno nacional aprobó la nueva estructura orgánica del ICANH y la nueva planta de personal a costo cero*. Obtenido de ICANH: <https://www.icanh.gov.co/prensa/actualidad-icanh/gobierno-nacional-aprobo-nueva-estructura-organica-del-icanh-nueva>
- ICANH. (2021, 10 de febrero). *Instituto Colombiano de Antropología e Historia*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022 de Preguntas y respuestas frecuentes.: https://www.icanh.gov.co/servicios_ciudadano/preguntas_respuestas_frecuentes
- ICANH. (2020, 20 de enero). *Instituto Colombiano de Antropología e Historia*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de Registro: <https://www.icanh.gov.co/?idcategoria=4800>
- ICANH. (2020, 6 de octubre). *Instituto Colombiano de Antropología e Historia*. Recuperado el 6 de 2023, de Ficha única para el reporte de hallazgos fortuitos de patrimonio arqueológico: <https://www.icanh.gov.co/transparencia-acceso-informacion->
- Khosravipour, A. S. (2014). Generating pit-free Canopy Height Models from Airborne LiDAR. *International Journal of Remote Sensing*, 35(1), 63-77. doi:10.14358/PERS.80.9.863
- Laan Labs, 3D Scanner App. (2021, 27 de diciembre). 3D SCANNER APP. Recuperado el 05 de 2023, de What type of 3D files can 3D Scanner Export?: <https://docs.3dscannerapp.com/faq/supported-formats>
- Lalanne, L. (1867). Photométrie, ou mesure des longueurs, des angles, des positions, des surfaces et des volumes d'après les photographies. *Journal of Surveying Engineering*, 133(1), 27-31. doi:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000144
- Lauria, G. S. (2022, 12 de febrero). A detailed method for creating digital 3D models of human crania: an example of close-range photogrammetry based on the use of Structure-from-Motion (SfM) in virtual anthropology. *Archaeol Anthropol Sci*, 14(42). doi:<https://doi.org/10.1007/s12520-022-01502-9>
- Laussedat, A. (1851). La photogrammétrie. *Journal of Surveying Engineering*, 126(1), 13-17. doi:10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000030
- Ley 594 de 2000. (2000, 14 de julio). *Por medio de la cual se dicta la Ley General de Archivos y se dictan otras disposiciones*. Colombia: DO: 44084.

- Mediateca INAH. (2017, 25 de octubre). *Mediateca INAH*. Recuperado el 10 de noviembre de 2022, de Viajeros en México II: Désiré de Charnay: <http://mediateca.inah.gob.mx/repositorio/node/4788>
- Medina Carrillo, F. (2014). *La fotogrametría digital como herramienta de trabajo para la toma de datos y catalogación de las iglesias románicas en la comarca de Las Merindades (Burgos)*. Universidad de Alicante. Escuela Politécnica Superior.
- Ministerio de Cultura de Colombia (2015, 26 de mayo). Decreto 1080 de 2015. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Cultura*. Colombia.
- Ministerio de Cultura de Colombia. (2012, 14 de diciembre). Decreto 2609 de 2012. *Por el cual se reglamenta el título V de la Ley 594 de 2000, parcialmente los artículos 58 y 59 de la Ley 1437 de 2011 y se dictan otras disposiciones en materia de gestión documental para todas las entidades del estado*. Colombia: DO 48647. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=50958#>
- Ministerio de las TIC. (2017, 30 de junio). G.INF.08 Guía para la gestión de documentos y expedientes electrónicos. MinTIC. Colombia. Recuperado el 11 de mayo de 2023, de <https://www.mintic.gov.co/arquitecturati/630/w3-article-61594.htm>
- Moyano, G. A. (2017, 8 de diciembre). El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. *COMECHINGONIA. Revista de Arqueología*, 21(2), 333–350. doi:<https://doi.org/10.37603/2250.7728.v21.n2.26789>
- NASA, ESA, CSA, & STScI. (2022). Nebulosa Carina. *Telescopio espacial James Webb*. NASA, Greenbelt, Maryland, Estados Unidos. Obtenido de <https://www.nasa.gov/webbfirstimages>
- Nates, Ó. C. (2014, 17 de mayo). *Óscar en fotos*. Obtenido de La luz como elemento fotográfico: <https://oscarenfotos.com/2014/05/17/la-luz-como-elemento-fotografico-2/>
- Niépce, N. (1826). *Point de vue du Gras*. Museo-Casa de Nicéphore Niépce, región de Borgoña, Francia. Obtenido de <https://photo-museum.org/es/>
- Niépce, N. (s.f.). *Nicéphore Niépce's House Museum*. Recuperado el 5 de junio de 2023, de Catálogo de las obras de Niépce - Musée Photo Maison Nicéphore Niépce: <https://photo-museum.org/es/catalogo-obras-niepce/>
- Pinzón Castellanos, D. (2021). *Aplicaciones de la arqueología virtual en la arqueomusicología: el caso del aerófono prehispánico identificado en Checua, Nemocón*. Tesis (pregrado) Antropología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pollack, A. (2021). *Arcyria pomiformis*. California. Obtenido de <https://www.instagram.com/p/CTxHgYNpxLV/>
- Pollack, A. (2019). Colleen Bidwill. *San Anselmo photographer focuses on nature's overlooked treasures*. Marin Independent Journal. Obtenido de <https://www.marinij.com/2019/01/19/san-anselmo-photographer-focuses-on-natures-overlooked-treasures/>
- Racines, J. (s.f.). Balsa de oro que representa la ceremonia de “El Dorado” de los indios. La imagen arqueológica en la construcción de la imagen de la nación en Colombia. El álbum *Antigüedades neogranadinas* de Liborio Zerda (12), (113-138). (Universidad de Los Andes, Ed., & C. Vanegas, Recopilador). Colombia: *Antípoda. Revista de*

- Antropología y Arqueología*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81422437007>
- Reilly, P. (1991). Towards a Virtual Archaeology. En S. R. (Eds.), *CAA90. Computer applications and quantitative methods in archaeology 1990 (BAR International Series 565)* (págs. 132-139). British Archaeological Reports.
- Roldán Llano, M. (2019). *Fotogrametría digital terrestre de rango cercano aplicada como una herramienta de análisis en un basurero prehispánico del sitio arqueológico San Pedro, Sucre*. Tesis (pregrado) Antropología, Universidad de Antioquia. Obtenido de https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/13543/1/RoldanMauricio_2019_FotogrametriaDigitalTerrestre.pdf
- Ruiz Zapatero, G. (2014). Fotografía y arqueología: ventanas al pasado con cristales traslúcidos. En G. Ruiz Zapatero, *José Latova: cuarenta años de fotografía arqueológica española (1975-2014)* (51-71). Alcalá de Henares: Comunidad de Madrid.
- Secretaría de Cultura, INAH, Dirección de Medios de Comunicación. (2022, 20 de julio). *Emprenden catalogación digital del acervo del Laboratorio de Bioarqueología de la ENAH. Boletín N° 341.*, Boletín N° 341. Obtenido de INAH: <https://www.inah.gob.mx/boletines/11365-emprenden-catalogacion-digital-del-acervo-del-laboratorio-de-bioarqueologia-de->
- Talbot, W. H. (1844). *Fox Talbot en su estudio de Reading en 1844*. Obtenido de <https://pepearmario.blogspot.com/2015/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html>
- Talbot, W. H. (1841). *Talbot. Hinojo salvaje. dibujo fotogénico*. Obtenido de <https://pepearmario.blogspot.com/2015/05/v-behaviorurldefaultvmlo.html>
- TheOtherJesse. (2008, 17 de marzo). *Law of sines proof*. Obtenido de Wikipedia: https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Law_of_sines_proof.svg
- Torreño Piñero, J. (2022). *Análisis de la fotogrametría como técnica aplicada a la protección, investigación y difusión del patrimonio histórico-arqueológico*. Trabajo fin de máster, Universidad de Cadiz. Obtenido de <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/27627/An%C3%A1lisis%20de%20la%20fotogrametr%C3%ADa%20como%20t%C3%A9cnica%20aplicada%20a%20la%20protecci%C3%B3n%20de%20investigaci%C3%B3n%20y%20difusi%C3%B3n%20del%20patrimonio%20hist%C3%B3rico-arqueol%C3%B3gico.pdf>
- Vanegas, C. (2011). La imagen arqueológica en la construcción de la imagen de la nación en Colombia. El álbum *Antigüedades neogranadinas* de Liborio Zerda. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 12, 113-138. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81422437007>