

RESEARCH ARTICLE

# TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES PARA LA DOCUMENTACIÓN DIGITAL 3D DE LAS CONSTRUCCIONES SUBTERRÁNEAS PATRIMONIALES: CATACUMBAS DE SICALPA VIEJO, ECUADOR

## *Geospatial Technologies for 3D Digital Documentation of Underground Heritage Constructions: Catacombs from Sicalpa Viejo, Ecuador*

*Luis Alejandro Velastegui-Cáceres,<sup>1</sup> Byron Guevara-Bonifaz,<sup>1</sup> Julia Velastegui-Cáceres,<sup>2</sup> Pedro A. Carretero Poblete<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador (lavelastegui@unach.edu.ec, bgguevara.fiar@unach.edu.ec, pcarretero@unach.edu.ec); <sup>2</sup> Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador (jdvelastegui@espe.edu.ec)



Figura 1. Ubicación de las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves en Sicalpa Viejo (Colta, Ecuador).

**RESUMEN.** *La conservación del patrimonio cultural subterráneo requiere documentación digital 3D de alta precisión. En Ecuador, este tipo de patrimonio se encuentra amenazado principalmente por eventos naturales de tipo sísmico. Las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de la Nieves (Sicalpa Viejo, Ecuador) tienen un alto valor patrimonial, ya que fueron construidas en la época colonial y han pasado por eventos sísmicos significativos, como el terremoto de 1797. La presente investigación presenta una metodología que usa tecnología vanguardista para la obtención de documentación*

*Recibido: 6/5/2024. Aceptado: 17/5/2024. Publicado: 25/5/2024.*

*digital considerando las particularidades de este tipo de construcciones subterráneas patrimoniales. Como resultado, se obtuvo el modelado 3D de todo el entorno de las catacumbas: nichos, osario, vestigios de huesos humanos de la época y detalles en piedra. Esta clase de documentación digital 3D es de gran utilidad para plantear proyectos de conservación del patrimonio cultural subterráneo antes o después de un evento sísmico.*

**PALABRAS CLAVE.** *Construcciones subterráneas, modelado 3D, catacumbas, conservación, patrimonio cultural, Sicalpa Viejo, Ecuador.*

**ABSTRACT.** *The conservation of underground cultural heritage requires high-precision 3D digital documentation. In Ecuador, this type of heritage is mainly threatened by natural seismic events. The catacombs of the Church of Our Lady of the Snows, at Sicalpa Viejo, Ecuador, have a high heritage value, because they were built in colonial times and have been through significant seismic events, such as the earthquake of 1797. This research presents a methodology that uses cutting-edge technology to obtain digital documentation, taking into account the particularities of this type of underground heritage constructions. As a result, 3D modeling of the entire environment of the catacombs was obtained: niches, ossuary, vestiges of human bones of that time and details in stone. This kind of 3D digital documentation is very useful for planning conservation projects of underground cultural heritage before or after a seismic event.*

**KEYWORDS.** *Underground constructions, 3D modeling, catacombs, conservation, cultural heritage, Sicalpa Viejo, Ecuador.*

## INTRODUCCIÓN

El patrimonio cultural que se encuentra en áreas subterráneas es susceptible al deterioro o destrucción por eventos naturales como las inundaciones, el paso del tiempo o los terremotos, como en este caso, entre otros. Las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves (Sicalpa Viejo, Ecuador) se encuentran ubicadas en el cantón Colta (Chimborazo) y tienen un alto valor patrimonial (figura 1), ya que fueron construidas en la época colonial y han sobrevivido a terremotos importantes como el de 1797.

Al llegar los españoles a la zona, en 1534, se asentaron en el llano que se sitúa al otro lado de esta comunidad, que llamaron Liribamba o Riobamba (hoy Sicalpa). Posiblemente, esta área estaba ocupada por familias puruhaes que, más tarde habrían sido sometidas por los incas. Según Costales (1964), la Iglesia de la Virgen o de Nuestra Señora de las Nieves fue iniciada en 1747 y concluida en 1779, cuando fue bendecida por Francisco Aguiar, obispo de Quito. No obstante, se supone que se asienta sobre otras construcciones religiosas anteriores y, posiblemente, sobre algún tipo de templo puruhá. Se situaba en la parte alta de la comunidad, sobre un plinto, construida en una sola nave con 48 m de largo y 8,5 m de ancho. En el último gran terremoto registrado, que destruyó la antigua Riobamba en 1797, la iglesia quedó sepultada hasta 1950, en que comenzó su nueva reconstrucción que no siguió el patrón de la original, como se puede apreciar en su fachada.

Las catacumbas (figura 2) que se sitúan bajo el altar de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves (figura 3) poseen un alto valor patrimonial, cultural y religioso (Sánchez 2024). Contienen 32 nichos, construidos con piedra andesita, caliza y ladrillo, donde se sepultaba a clérigos y personajes destacados de la ciudad en época colonial, que eran envueltos en mortajas de tela (Chapabay y Paredes 2024; Tene 2022). Hoy apenas se aprecian unos fragmentos de huesos de algunos nichos.

Las características que presentan las catacumbas ubicadas en Sicalpa Viejo requieren una documentación digital 3D con alto nivel de detalle debido a los elementos que contienen.

En la actualidad, la utilidad de tecnologías vanguardistas se ha convertido en un pilar fundamental para el registro 3D del patrimonio cultural (Glanfield 2023; Gradante *et al.* 2016; Tanasi *et al.* 2023; Velastegui *et al.* 2024). Cabe señalar que, pese a la diversidad de tecnologías existentes, se precisa identificar la más apropiada de acuerdo con el área de estudio.

El patrimonio cultural subterráneo, como es el caso de las catacumbas, requiere tecnología que no necesite luz natural, además de la versatilidad de esta metodología para áreas con limitado espacio (Aricò *et al.* 2023). La documentación digital del patrimonio cultural mediante el uso de tecnologías se convierte en la base para la conservación del patrimonio (Mendoza *et al.* 2023). Por ello, la metodología de documentación digital 3D del patrimonio cultural subterráneo que se presenta en esta investigación permite obtener una documentación





Figura 2. Catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.

digital con alto nivel de detalle y precisión, que posibilita el levantamiento y modelado 3D de todos los elementos que se encuentran en la zona estudiada. Además, en base a estos resultados, se pueden plantear proyectos de conservación considerando las diversas amenazas naturales que presenta el área.

## METODOLOGÍA

Las catacumbas destacan por su diseño, ya que se encuentran en los cimientos de la Iglesia de Nuestra

Señora de las Nieves. La solidez de su edificación, tanto en términos de materiales como de técnicas constructivas, ha permitido que soporten eventos sísmicos considerables, como el de 1797, que destruyó la ciudad de Riobamba (Egred 2000; Pilco 2019). Sin embargo, las catacumbas se encuentran expuestas al deterioro, principalmente por eventos sísmicos recurrentes debido a su ubicación geográfica.

Se utilizó un escáner láser marca *Faro Focus 3D Serie X* que cuenta con un láser tipo 1, el cual utiliza un rayo láser que se refleja en un objeto y vuelve al escáner. La distancia se mide con exactitud milimétrica por el cam-



Figura 3. Fachada de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.



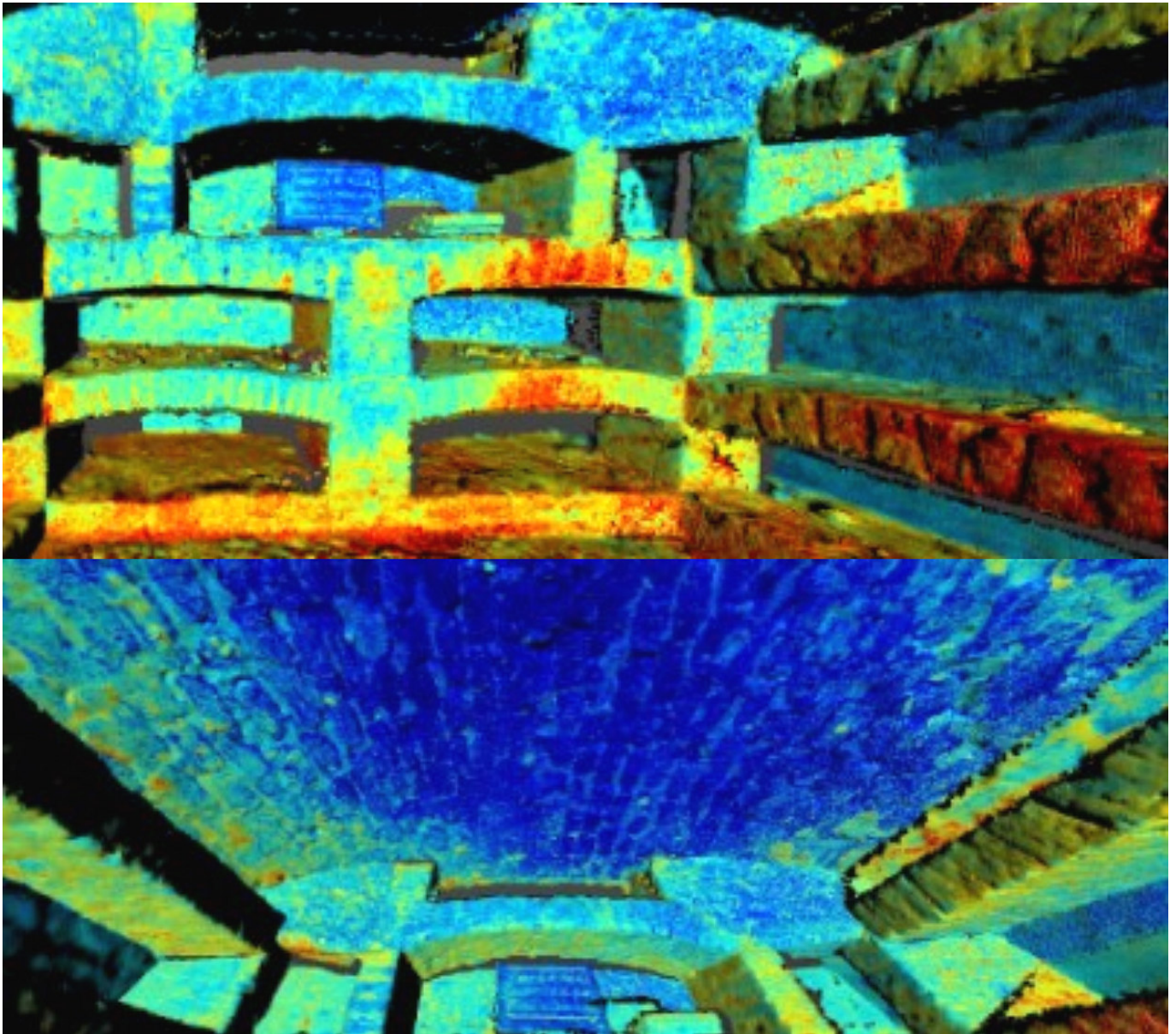


Figura 4. Modelado 3D obtenido del procesamiento de la nube de puntos 3D.

bio de fase entre el rayo emitido y el recibido. Para el ángulo vertical, el espejo desvía el rayo láser en dirección vertical sobre el mismo objeto y el ángulo se codifica al mismo tiempo que la medición de la distancia. Para el ángulo horizontal, el escáner láser gira 360° horizontalmente y el ángulo se codifica al mismo tiempo que la medición de la distancia.

Para la presente investigación se realizó un flujograma para la obtención de datos y el procesamiento de las nubes de puntos obtenidas. Se partió de la planificación previa al levantamiento, donde se especificaron las ubicaciones que debía tener el escáner láser terrestre en cada escena para obtener la mayor cantidad puntos. Posteriormente, se realizó el escaneo *in situ* y, con ello, el trabajo de gabinete para el procesamiento de los da-

tos obtenidos en el campo mediante el uso de *software* especializado, como el *Trimble RealWorks*, que permite un modelado 3D con alto nivel de detalle.

Las catacumbas se encuentran situadas en la parte subterránea la iglesia. Cabe señalar que, al existir ausencia de luz natural, la tecnología del escáner láser terrestre fue la más apropiada, ya que posibilita la toma de datos en áreas con ausencia de luz, lo cual permitió obtener con alta precisión nubes de puntos en escala de grises.

De acuerdo con la forma de las catacumbas, se planificaron tres escaneos distribuidos de forma que existiese un traslape aproximado del 40 % entre los planos. Respecto a la configuración de los parámetros de escaneo, se consideró un perfil de hasta 10 m, con tiempo



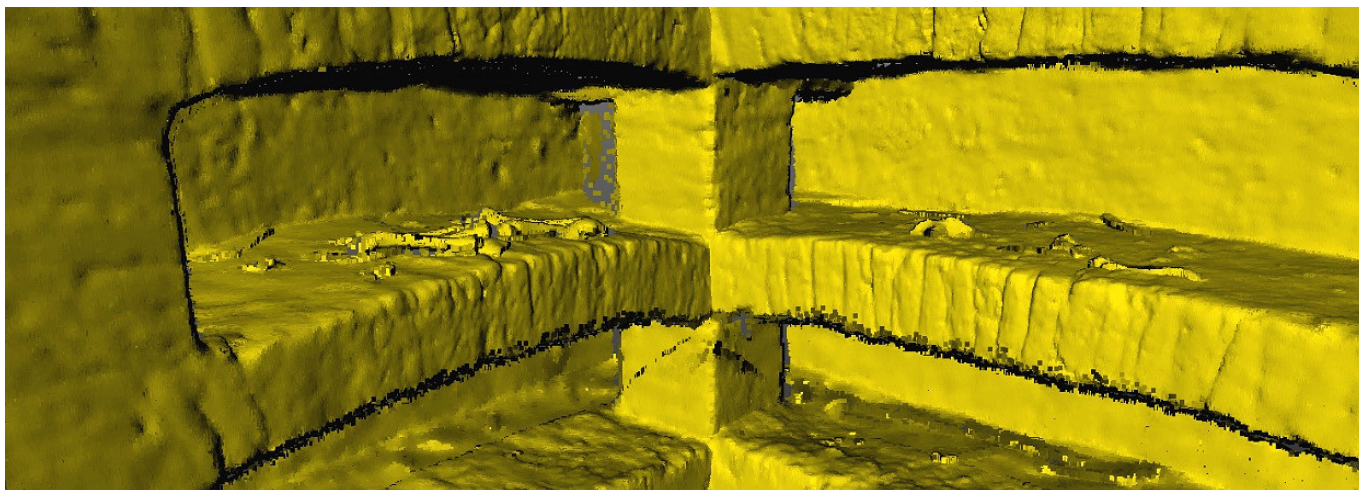


Figura 5. Documentación digital 3D de nichos y fragmentos de huesos humanos.

de 20 minutos entre cada escaneo, con la finalidad de obtener nubes de puntos con alto nivel de detalle. Los ángulos se programaron en horizontal de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  y en vertical de  $-60^{\circ}$  a  $90^{\circ}$  para la toma de datos en todo el entorno de las catacumbas. De acuerdo con las ca-

racterísticas del área de estudio, se analizó y determinó que el tipo de mediación ponderada más apropiada era la ponderada al centro.

Una vez obtenidas las nubes de puntos, se procedió a la unificación de las mismas por coincidencia de pla-

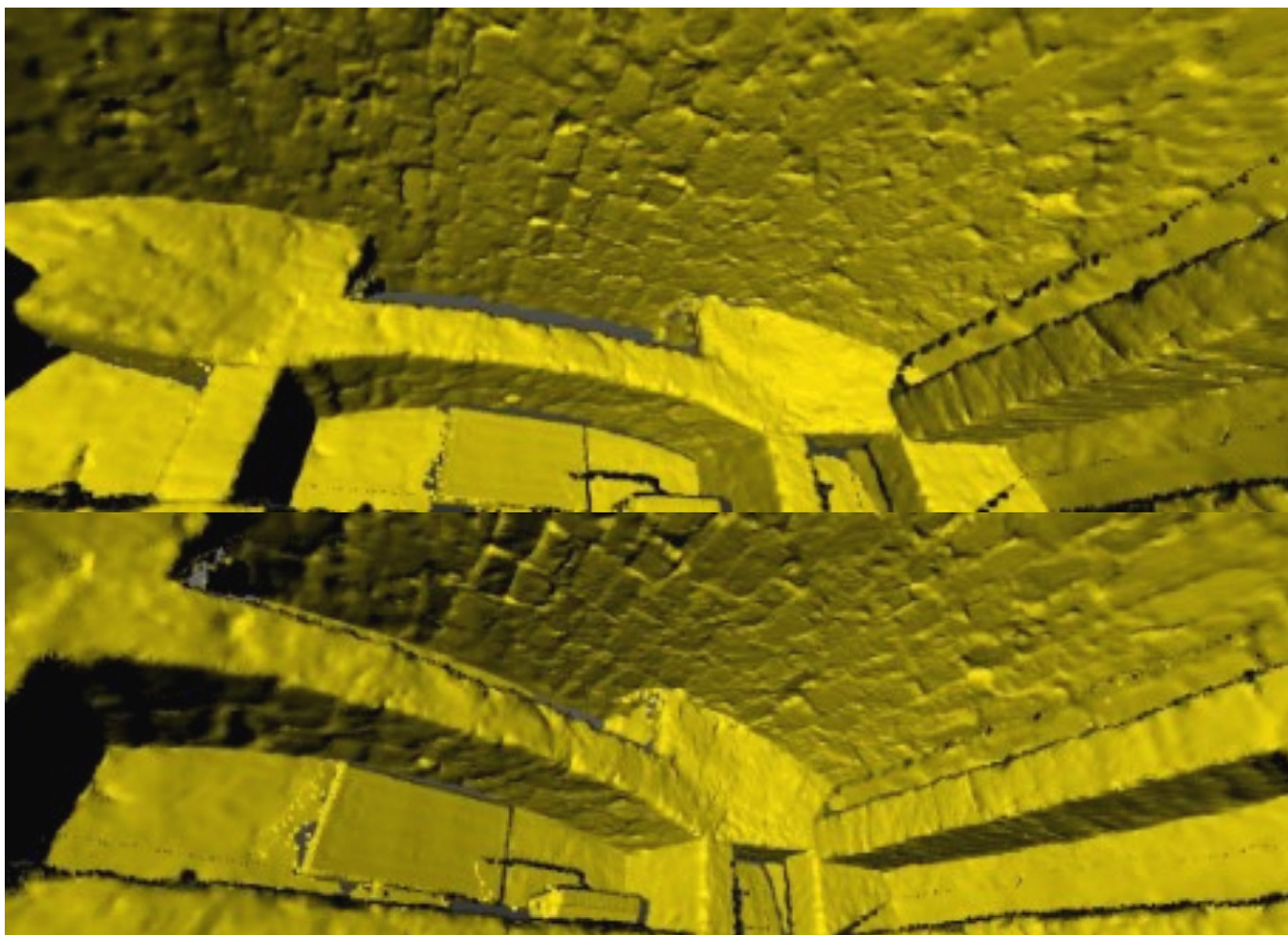


Figura 6. Documentación digital 3D del entorno superior de las catacumbas.



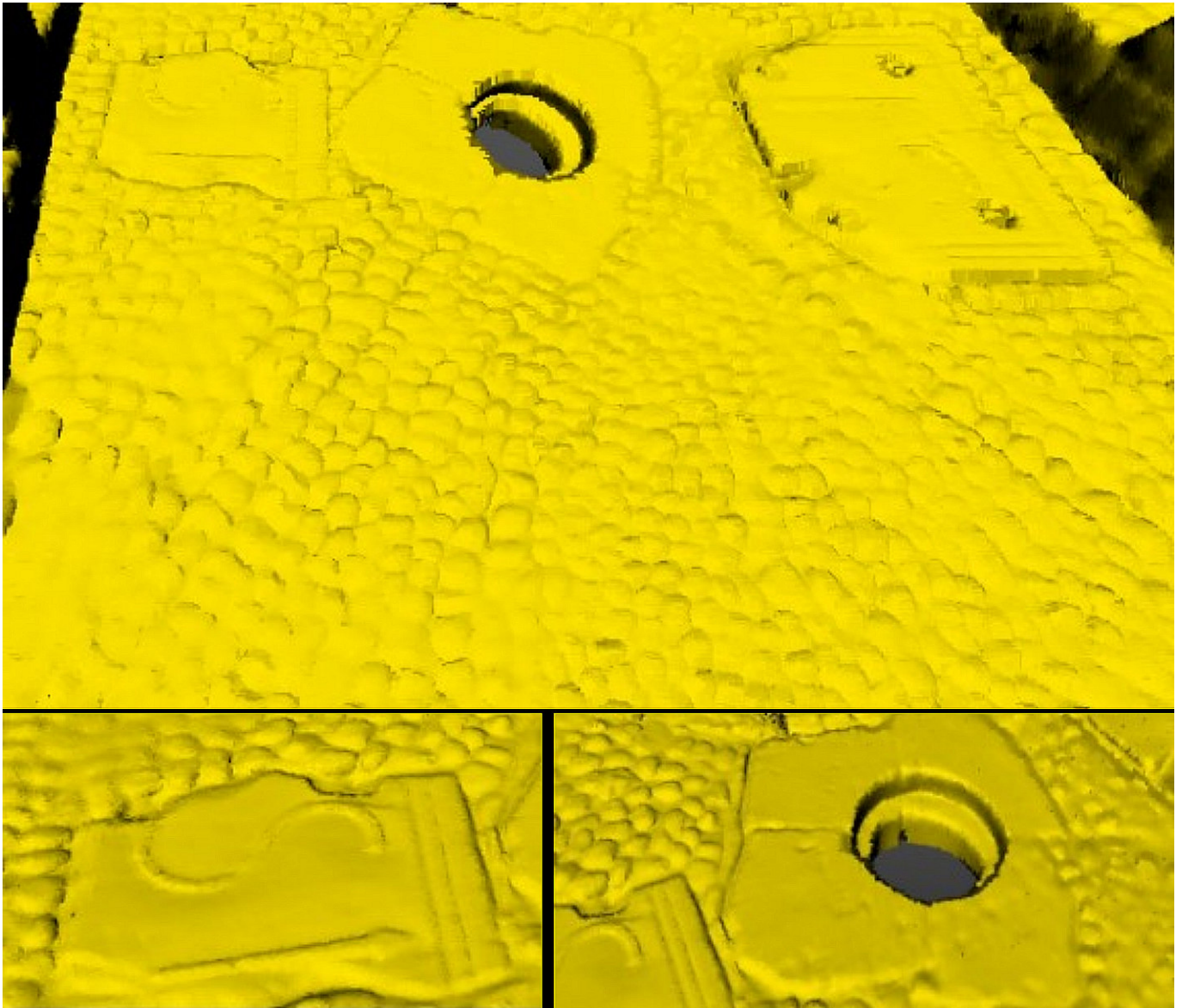


Figura 7. Documentación digital 3D del piso de las catacumbas con siglas talladas en piedra y osario.

nos debido al alto porcentaje de traslape entre cada escaneo realizado. Con la unificación, se identificaron las zonas que requerían segmentación para depurar la nube de puntos y delimitar apropiadamente el área de estudio. En base a las nubes de puntos unificadas, se obtuvo el modelado 3D de todo el entorno de las catacumbas, desde los nichos y el osario hasta los detalles en piedra.

## RESULTADOS

Como resultado de los escaneos realizados en las catacumbas, se consolidaron tres escaneos con un total de 78.526.471 puntos, que fueron unificados mediante el registro de planos, ya que se obtuvo aproximada-

mente un 40 % de puntos coincidentes entre los planos. Mediante el proceso de segmentación, se logró la nube de puntos purificada con un total de 63.925.194 puntos, lo cual permitió obtener una nube de puntos del área de estudio con un alto nivel de detalle (figura 4). La cantidad de puntos recolectados en cada escaneo y la densidad de estos facilitaron el modelado 3D de los fragmentos de huesos y, con ello, la obtención de la documentación digital 3D, no solo de los nichos sino también de este tipo de vestigios (figura 5). Pese al tamaño de los fragmentos de los huesos, fue factible el modelado 3D mediante la tecnología del escáner láser terrestre, debido a la configuración que se realizó en cada uno de los escaneos realizados.

En ciertos nichos existe la presencia de vestigios de huesos humanos pertenecientes a personajes importan-

tes de la época colonial. Contar con el registro global de las catacumbas permite reconocer los detalles de su construcción, como en el caso de la parte superior de las mismas, que mantiene su material de piedra original y su forma de arco de medio punto (figura 6). Este concepto de ingeniería de la época colonial precisa una documentación digital 3D para futuras intervenciones de conservación, considerando que este tipo de patrimonio cultural es propenso a un colapso en caso de un evento sísmico de gran magnitud.

También fue posible registrar digitalmente los detalles que se encuentran en el piso de las catacumbas, ya que el escáner láser tiene un ángulo vertical de toma de datos de  $-60^\circ$  a  $90^\circ$ . El modelado 3D contiene los detalles más finos, incluidas las siglas SI que apuntan hacia el agujero del osario, que son consideradas símbolos cristianos (figura 7). En la toma de datos se presenta la ausencia de puntos en el centro del piso, ya que este tiene, bajo el agujero que marca el osario, un pozo de 4 m aproximadamente, donde irían a parar los huesos reducidos de los difuntos, de forma que se pudieran reutilizar los nichos con nuevos cuerpos.

## CONSIDERACIONES FINALES

Las catacumbas, al encontrarse situadas en los cimientos de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves, presentan ausencia de luz natural y un entorno cerrado con dificultad de acceso, lo que implica unas características particulares para seleccionar la tecnología que se adap-

te a la toma de datos digitales 3D en ese tipo de entornos. La tecnología del escáner láser terrestre presenta esta adaptabilidad para el levantamiento de información en áreas subterráneas. Por ello, la configuración de los parámetros del equipo es dirimente para la obtención de productos de calidad y con alto nivel de detalle.

La documentación digital 3D de las catacumbas comprende el conjunto de elementos que presenta el área de estudio, desde su estructura y nichos hasta los tallados en piedra que yacen en el suelo, conformado por cantos rodados de río y dos grandes lápidas con las siglas SI apuntando hacia el agujero central del osario. La obtención de un registro con todo el entorno y detalles precisó varios escaneos con configuración angular horizontal de  $0^\circ$  a  $360^\circ$  y vertical de  $-60^\circ$  a  $90^\circ$ .

La documentación digital de construcciones subterráneas patrimoniales va de la mano del uso de tecnologías vanguardistas para optimizar tiempo y costes. Por ello, la metodología de la presente investigación se enmarca en la adaptabilidad para la documentación digital de patrimonios culturales que tengan características similares a las catacumbas de la Iglesia de Nuestra Señora de las Nieves.

Considerando que la zona de estudio es altamente sísmica, se destaca la importancia de contar con la documentación digital 3D de las catacumbas con alto nivel de detalle y precisión. Este tipo de documentación digital es de gran utilidad para el planteamiento de proyectos de conservación del patrimonio cultural subterráneo antes o después de un evento sísmico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARICÒ, M.; M. LA GUARDIA; M. LO BRUTTO. 2023. 3D Data Integration for Web Fruition of Underground Archaeological Sites: A Web Navigation System for the Hypogeum of *Crispia salvia* (Marsala, Italy). *Heritage* 6, 8: 5899-5918.
- CHAPALBAY, N. P.; A. D. PAREDES. 2024. *Catálogo ilustrado del estudio iconográfico e iconológico de la iglesia "Virgen de las Nieves" de la parroquia de San Luis*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- COSTALES, A. 1964. *La Azucena del Puruhá*. Riobamba: Casa de la Cultura Ecuatoriana.
- EGRED, J. 2000. *El terremoto de Riobamba*. Vol. 2. Quito: Abya Yala.
- GLANFIELD, M. L. 2023. *Applying 3D Structured Light Scanning to Roman Leather Insoles from Vindolanda: A Novel Approach to Podiatric Data Collection*. Master's Thesis. University of Western Ontario, Canada.
- GRADANTE, I.; M. SGARLATA; D. TANASI. 2016. 3D Digital Technologies to Record Excavation Data: The Case of the Catacombs of St. Lucy (Siracusa, Sicily). En *8th International Congress on Archaeology, Computer Graphics, Cultural Heritage and Innovation*, pp. 71-77. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- MANZANO, C. A.; R. ARTEÑO. 2018. Rescate patrimonial de las catacumbas de Sicalpa Viejo. En *Innovación, desarrollo humanístico y ciencia joven*, pp. 6-25. Colombia: REDIPE.
- MENDOZA, M. A. D.; E. DE LA HOZ; J. E. G. GÓMEZ. 2023. Technologies for the Preservation of Cultural Heritage: A Systematic Review of the Literature. *Sustainability* 15, 2: 1059.

- PILCO, M. M. 2019. *Gestión patrimonial y la diversificación de la oferta turística del cantón Colta, provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- SÁNCHEZ, E. M. 2024. *Las iglesias patrimoniales y el turismo religioso en la provincia de Chimborazo*. Tesis de Grado. Universidad Técnica de Ambato.
- TANASI, D.; D. CARDONA; S. HASSAM; K. KINGSLAND; M. KRAFT; P. TRAPANI; D. CALDERONE; L. DE GIORGI; G. LEUCCI. 2023. Remote sensing surveying at the Abbatija tad-Dejr Catacombs (Rabat, Malta). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 30: e00271.
- TENE, S. N. 2022. *Estudio cultural sobre la construcción y utilización de las catacumbas de Sicalpa Viejo, situadas en la Archibasílica de la Virgen de las Nieves: Riobamba*. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Chimborazo.
- VELASTEGUI-CÁCERES, L. A.; B. GUEVARA-BONIFAZ; J. VELASTEGUI-CÁCERES; P. A. CARRETERO; E. ESPINOZA-FIGUEROA. 2024. Documentación digital del patrimonio edificado: modelado en nubes de puntos 3D de la Iglesia de Balbanera, Ecuador. *Arqueología Iberoamericana* 53: 83-94.