

Fotogrametría digital para el levantamiento 3D *del sitio arqueológico de Todos Santos, Cuenca (Ecuador)*

Digital photogrammetry for the 3D model of the archeological site of Todos Santos, Cuenca (Ecuador)

Resumen

Autores:

Mg. Pablo Aparicio Resco¹
info@parpatrimonio.com

Mg. Freddy Espinoza-Figueroa²

freddy.espinoza@ucuenca.edu.ec

Mg. María del Cisne Aguirre Ullauri³

cisne2222@hotmail.com

Mg. Paulina Mejía Coronel⁴
mepaulil@hotmail.com

Arq. Cristian Matovelle Jara⁵
cfmatovelle@yahoo.com

¹PAR-Arqueología y Patrimonio Virtual

²Facultad de Ciencias de la Hospitalidad, Universidad de Cuenca

³Universidad Católica de Cuenca. Universidad Politécnica de Madrid.

⁴Diseñadora independiente mepaulil@hotmail.com

⁵Arquitecto independiente

Ecuador

Recibido: 31 Ago 2017

Aceptado: 30 Nov 2017

Los avances entorno a la tecnología cambiaron la perspectiva del ser humano sobre el mundo; en los últimos años ha existido un incremento vertiginoso de avances tecnológicos en varios campos, la conservación y gestión del patrimonio cultural no se han mantenido indiferentes; la fotogrametría digital tridimensional ha irrumpido a su favor, sobretodo en el campo de la documentación, con posibilidades de ser usada para múltiples fines, que involucren bienes patrimoniales como el caso del sitio arqueológico de Todos Santos en Cuenca (Ecuador), caracterizado por evidenciar vestigios de tres culturas: Cañari, Inca y Española. En este sitio se realizó un levantamiento fotogramétrico enmarcado en una experiencia formativa que abarcó el proceso de construcción del modelo 3D, desde la toma de imágenes, al trabajo en distintos softwares y los *render* finales. Las posibilidades de este proceso son versátiles, sin embargo, complementario como insumo técnico de conocimiento y difusión a las técnicas de documentación tradicionales; para casos en donde su potencial aporte a la conversación integral y se ajuste a la disponibilidad de recursos existentes.

Palabras clave: Fotogrametría, Levantamiento 3D, Patrimonio Cultural, Arqueología, Cuenca, Todos Santos.

Abstract:

Advances in technology have changed the perspective of the human being on the world; in recent years there has been a rapid increase in technological advances in various fields, conservation and management of cultural heritage have not remained indifferent, three-dimensional digital photogrammetry has broken in its favor, especially in the field of documentation, with possibilities of being used for multiple purposes, involving patrimonial assets such as the case of the archaeological site of Todos Santos in Cuenca (Ecuador), characterized by evidence of three cultures: Cañari, Inca and Española. In this site, a photogrammetric survey was carried out framed in a formative experience that included the process of construction of the 3D model, from the taking of images, to the work in different softwares and the final renderings. The possibilities of this process are versatile, however, complementary as a technical input of knowledge and dissemination to traditional documentation techniques; for cases where its potential contributes to the integral conversation and is adjusted to the availability of existing resources.

Keywords: Photogrammetry, 3D Survey, Cultural Heritage, Archeology, Cuenca, Todos Santos.

1. Introducción

Una de las estrategias de vanguardia para la conservación y difusión del patrimonio cultural es la documentación, el uso de tecnologías de información y comunicación permite contribuir a la construcción permanente de la memoria de la humanidad. La versatilidad de estas herramientas se basa en el fácil acceso al software -ya sea libre o de bajo costo- y a los medios fotográficos, que hacen posible su democratización. Esta experiencia formativa sobre fotogrametría ha permitido llevar a cabo el modelo 3D preciso de un yacimiento arqueológico insertado en el corazón de una Ciudad Patrimonio Mundial, Cuenca (Ecuador), lo que abre la puerta a explorar las posibilidades de aplicación de la técnica. Derivado de ello, el presente trabajo expone el proceso de construcción del modelo 3D fotogramétrico integral del yacimiento, desde la toma de imágenes hasta los *render* finales, pasando por la creación de las distintas mallas en el *software* Agisoft Photoscan y otros procesos previos. De este modo, se contribuye a la puesta en valor de la técnica, pero de manera principal a la difusión del *diario de campo* de la intervención de arqueología virtual y las posibilidades que presenta para realizar intervenciones de conservación, difusión e interpretación y monitoreo de bienes patrimoniales. Finalmente, se evidencia la necesidad de incorporar y capacitar en el uso de este recurso dentro del quehacer patrimonial, tanto en la academia, la administración pública, como en el ejercicio profesional.

2. Estado del arte

Las instituciones especializadas en documentación patrimonial como ICOMOS (International Council for Monuments and Sites), CIPA (International Committee for Architectural Photogrammetry), ISPRS (International Society for Photogrammetry & Remote Sensing), ICOM (International Center for the Conservation and Restoration of Monuments) y UIA (International Union of Architects) (Yilmaz *et al.*, 2007), por nombrar las más importantes en su quehacer, han contribuido al desarrollo y mejoramiento del proceso y resultados de la documentación, mediante la tecnología, a través de instancias como la virtualización del patrimonio. El patrimonio cultural es un fenómeno moderno que implica la ruptura entre presente-pasado (Criado-Boado & Barreiro, 2013), pero también es preocupante el futuro que tendrán sus distintas manifestaciones (Barber, 2013); los esfuerzos de conservación merecen reunir datos sobre la condición física para emprender acciones

que podrían cambiar total, o parcialmente, a largo, mediano o corto plazo, el objeto. La documentación y difusión son algunas de las actividades que se deben llevar a cabo dentro de la *cadena de valor* para la conservación (Criado-Boado & Barreiro, 2013), siendo la primera –documentación– el componente trascendental para su conservación. Al patrimonio cultural se le debe conocer, para entender su naturaleza -el objeto- reconociendo y priorizando sus elementos materiales e inmateriales, antes de emprender acciones, intervenciones e incluso políticas que puedan cambiar su naturaleza (Querol, 2010; Hassani, 2015). Es importante también su interpretación (ICOMOS, 2004) en torno a la relación con autenticidad, integridad intelectual, responsabilidad social y respetabilidad hacia el contexto cultural y significado (Monfort-Roselló, 2012).

El patrimonio arqueológico por su parte, afronta importantes retos a nivel mundial, como por ejemplo, la planificación oportuna para su conservación, investigación y puesta en valor, así como para la difusión e interpretación, con el fin de que las sociedades adopten una visión y posición positiva de su conservación, evitando la falsa creencia de que son una carga impuesta, más que un valor añadido (Querol, 2010). De manera complementaria, los medios digitales han contribuido a mitigar esta situación, así como a proveer herramientas de mayor precisión que conceden ahorro de recursos para la conservación, procesos de estudio y análisis con mayores alcances y otros beneficios. Una de esas técnicas es la fotogrametría digital, la cual se basa en la correlación semiautomática de imágenes para la obtención de información geométrica tridimensional de los objetos representados (Santana Quintero, 2010). Mediante algoritmos matemáticos, un computador analiza los puntos comunes entre varias imágenes y detecta su posición en el espacio tridimensional, dando lugar a nubes de puntos que a su vez permiten crear modelos 3D fotorrealistas.

En los últimos años se ha desarrollado con fuerza esta técnica en el campo de la arqueología y arquitectura histórica. El acceso a *software* de bajo costo e incluso gratuito, así como la disponibilidad de mejores equipos informáticos y fotográficos, han fomentado e impulsado su uso para convertirla en una herramienta fundamental para la precisa documentación geométrica y estudio de yacimientos y objetos arquitectónicos. Sus posibilidades aplicadas a la arqueología son múltiples, tales como: a) permite llevar a cabo una documentación digital en 3D de gran precisión de objetos físicos, ya sean pequeñas piezas o yacimientos complejos, a relativo bajo coste; b) ofrece amplias posibilidades para el análisis e investigación de los elementos documentados de forma remota y no invasiva, asegurando de este modo la integridad del objeto documentado durante todo el proceso; c) abre enormemente el abanico de posibilidades para la difusión e interpretación; d) aporta herramientas para la conservación, reconstrucción y restauración de los elementos documentados; e) es aplicable a otras áreas como la arquitectura y las artes plásticas, dando lugar a nuevas posibilidades que

dependerán de la necesidad de cada proyecto. A partir de estos modelos se pueden obtener ortofotos, secciones, planimetrías o crear museos virtuales, infografías, videos y animaciones, entre otros. Por ejemplo, el yacimiento de El Sequeral (Calahorra, La Rioja), ha creado un sistema de información patrimonial con el objetivo de sistematizar el registro de las excavaciones, proporcionando su lectura e interpretación posterior de cada nivel arqueológico (Antoñanzas, Iguácel de la Cruz, Lopetegui Galarraga, & Valle Melón, 2003), aplicando la técnica fotogramétrica. En otros casos, como en Boligni (Alicante) ha sido usada en la realización de secuencias estratigráficas mediante modelos tridimensionales acumulativos (Charquero Ballester & López Lillo, 2012), demostrando “[...] la versatilidad de las técnicas de documentación a través de procesos fotogramétricos” (Aparicio Resco, Carmona Barrero, Fernández Díaz & Martín Serrano, 2014, p. 18).

Recientemente, el Competence Center for Cultural Heritage Digitization at the Fraunhofer Institute for Computer Graphics Research IGD, ha presentado el proyecto *CultLab3D*, que se precia de llevar a cabo procesos de digitalización 3D del patrimonio cultural de manera rápida, eficiente y rentable, diseñado para automatizar, escanear, archivar grandes cantidades de datos en excelente calidad valiéndose de la visualización 3D integrada con navegadores comunes y tecnologías WebGL y X3D (Santos *et al.*, 2017).

En Latinoamérica existen pocos ejemplos de fotogrametría terrestre digital. Casos representativos aplicados a la arqueología se encuentran en Perú y México. No obstante, los mayores esfuerzos se han encaminado hacia la digitalización del patrimonio cultural arquitectónico, derivado generalmente por su condición monumental, más que en yacimientos arqueológicos o arquitectura menor. Resulta, en este sentido, una técnica fundamental para la difusión patrimonial que “[...] permite convertir al objeto patrimonial en producto patrimonial” (Martín Guglielmino, 2007, p. 5) mediante un proyecto de interpretación que genere mensajes que satisfagan al usuario a través de actividades “[...] destinadas a conocer, valorar y facilitar el acceso a la oferta cultural” (p. 5). De otro lado, es importante la interpretación que se pueda generar en el sitio para inducir “[...] la apreciación por parte del público de los lugares pertenecientes al patrimonio cultural como centros y fuentes de aprendizaje y la reflexión, así como recurso de carácter local para el desarrollo sostenible de una comunidad y el diálogo intercultural” (Monfort-Roselló, 2012, p.70). Esta herramienta puede coadyuvar a emprender acciones de conservación preventiva, sirviendo para acciones de “[...] monitoreo que permiten una detección temprana de los síntomas de los efectos indeseados (daño)” (Van Balen, 2011, p.44).

Actualmente, en el caso de Cuenca (Ecuador), la fotogrametría tridimensional no se encuentra implantada como herramienta de trabajo. Existen escasos profesionales que la practican en la academia o

investigación, no obstante, el IERSE (Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador) adscrito a la Universidad del Azuay, ha desarrollado proyectos (Fotogrametría Arquitectural) en la ciudad (IERSE, 2016). Por otros profesionales se podría asumir que aún existe desconocimiento de sus beneficios y aportes, motivo por el cual, el exponerlos a través de casos cercanos y concretos, es de relevancia para propender a su implementación, incluso en los ámbitos de la conservación preventiva y la restauración del patrimonio cultural en su diversidad.

2.1 Sitio arqueológico de Todos Santos

El sitio arqueológico conocido como Todos Santos, se sitúa dentro del Museo de Sitio Manuel Agustín Landívar perteneciente a la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, Núcleo del Azuay. Está ubicado al Sur-Oriente de la ciudad de Cuenca, en él se funden tres culturas, la Cañari, Inca y Española. La última data *in situ*, antes de la fundación oficial de la ciudad en 1557 y, posiblemente, como mencionan varios cronistas de la ciudad, los sillares de la destruida Tomebamba se utilizan para la construcción de los primeros molinos. Comprende una superficie aproximada de 1600 m², en un terreno de topografía escarpada, cuya pendiente no supera los 30 grados de inclinación media Norte-Sur, hacia el cauce del río Tomebamba (Fig. 1), sin embargo, se encuentra desprovisto de esfuerzos de gestión y conservación. A nivel físico a simple vista se evidencian desprendimientos y deslizamientos de piedras en diferentes sectores, así como deterioros en el material cultural que lo compone, generando situaciones que comprometen a día de hoy y a futuro, su integridad y posibilidades de conservación.



Figura 1: Plano de localización del Sitio Arqueológico de Todos Santos.

Fuente: Tecnología de Información para la puesta en valor del Patrimonio. Dirección General de Áreas Históricas y Patrimoniales. GAD Municipal De Cuenca. 2017

El acometer el levantamiento fotogramétrico tridimensional a más de servir para documentarlo, supuso canalizar efectivamente las acciones de intervención en un muro en condiciones deplorables, permitiendo mejorar su estado y disminuir el impacto que pudiese generarse en la autenticidad del conjunto.

Confluyeron para el efecto tanto el sector público como el privado (Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, Núcleo del Azuay, Museo de Sitio Manuel Agustín Landívar, Universidad Politécnica Salesiana, PAR y ERA Cultura).

3. Método

El presente estudio, como experiencia académica, fue realizado por el coordinador, tutor y estudiantes del Curso de fotogrametría 3D para la digitalización del Patrimonio Cultural organizado por la Universidad Politécnica Salesiana (sede Cuenca). Su realización inició en el mes de abril de 2015 y requirió alrededor de 100 horas de labor para la obtención de resultados concretos. *A posteriori* las organizaciones ERA Cultura y PAR-Arqueología y Patrimonio Virtual realizaron la intervención, difusión y acondicionamiento para la interpretación del sitio. En términos prácticos, el enfoque utilizado en el proceso es de tipo cualitativo-descriptivo, el cual se detalla a continuación:

3.1 Actividades preliminares e iniciales in situ

a) Zonificación del yacimiento

El sábado 18 de abril de 2015 se realizó el primer contacto con el sitio en donde quedaron expuestas las vicisitudes, mismas que derivaron en la presencia permanente en el sitio durante las diferentes fases de realización del modelo. Dada la imposibilidad de disponer de un vehículo aéreo no tripulado (UAV o dron) que hubiera facilitado la toma de fotografías para el levantamiento fotogramétrico, se decidió llevar a cabo toda la documentación mediante fotogrametría terrestre. Para la primera toma de datos se realizó la división del yacimiento en nueve zonas, según las características, complejidad de la evidencia arqueológica, la practicidad en la delimitación de las áreas a trabajar, la facilidad para la toma de imágenes y el número de colaboradores (9). Un décimo participante realizó la georreferencia, y, el restante (2) coordinó el proceso (Figs. 2 y 3).



Figura 2: Esquema de trabajo, yacimiento arqueológico de Todos Santos (Cuenca, Ecuador).

Fuente: PAR.

b) Georreferenciación

Sobre la zonificación definida se procedió a la disposición de dianas sobre el terreno, mismas que serían los puntos de concatenación entre segmentos y a nivel global. Se dispusieron 54 dianas, 6 por zona. Además, se tomaron otros nueve puntos; el de la posición de la estación total, y otros 8 puntos de referencia sobre elementos presentes en el propio yacimiento (elementos fijos que no podían desplazarse voluntaria o involuntariamente como las dianas). El objetivo de la toma de puntos con equipo topográfico (Fig. 3), fue obtener la precisa localización del yacimiento y en lo posterior efectuar la georreferenciación de los modelos fotogramétricos parciales en escala real. El resultado fue una tabla en formato .xls con las coordenadas UTM (Zona 17 Sur WGS84) de la totalidad de los marcadores localizados; se obtuvo también el archivo CAD en formato .dwg con los puntos dispuestos espacialmente.



Figura 3: Toma de datos con Estación Total.

Fuente: Grupo de trabajo.

3.2 Toma de datos

Se dividió en dos etapas en consideración a la complejidad del sitio, los factores extrínsecos (iluminación principalmente) y la búsqueda de mejoramiento del resultado final.

a) Primera toma de imágenes

Las dificultades encontradas a la hora de realizar los levantamientos fotogramétricos parciales fueron varias: a) durante la sesión inicial de trabajo, el tiempo varió entre momentos de sol y sombra, aunque predominó el cielo despejado, lo que propició zonas marcadas tanto de iluminación intensa como de sombra en las imágenes. Con ello se produjo gran variación de los diferentes reportajes fotográficos (Fig. 4), b) como se ha comentado anteriormente, no se planteó la toma de imágenes mediante aeronaves no tripuladas o drones, lo cual derivó en la generación de abundantes fotografías por cada zona, y, c) cada zona fue documentada por una persona distinta y, por lo tanto, con equipos fotográficos diferentes que varían en calidad y prestaciones, que condicionaron la obtención de levantamientos análogos de cada zona, lo que a su vez influyó en el posterior procesamiento y puesta en común.

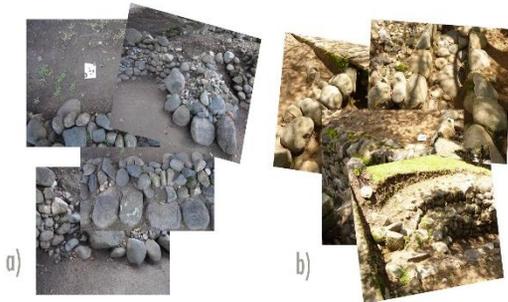


Figura 4: Diferencia entre la tonalidad e iluminación de las fotografías de la Zona 1 (a) y las fotografías de la Zona 7 (b) (2015).

Fuente: Grupo de trabajo.

b) Segunda toma de imágenes

De pruebas iniciales y la identificación de carencias de algunos de los levantamientos fotogramétricos parciales, condición propia de la experiencia didáctica, se derivó la necesidad de completar la malla final con nuevos levantamientos de información *in situ*. Se planteó entonces la creación de nuevas zonas que permitieran corregir errores y completar el modelo; estas se identificaron como Y1, Y2 e Y3. Además, se incluyeron zonas de detalle o de espacios concretos, X1, X2, X3, X4, X5 y X6. En total, el modelo final lo conforman 18 levantamientos fotogramétricos parciales con zonas significativas de solape entre sí (Fig. 5), a fin de garantizar la documentación exhaustiva del yacimiento y minimizar los errores de referencia y articulación.

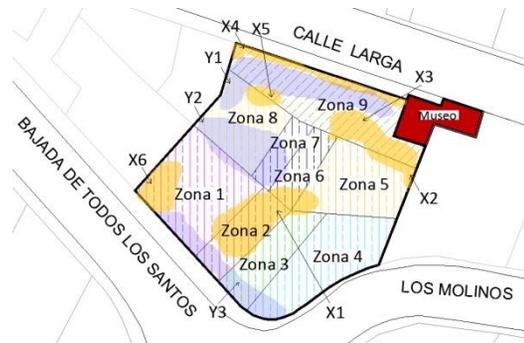


Figura 6: Esquema de trabajo planteado para la segunda toma de imágenes.

Fuente: Grupo de trabajo & PAR.

3.3 El modelo fotogramétrico tridimensional

Después de la toma de imágenes y puntos con la estación total, la generación del modelo fotogramétrico fue la siguiente etapa. En este caso, los sub-modelos que componen el final se llevaron a cabo en varios equipos computacionales. Sería tedioso explicar, uno por uno, los levantamientos fotogramétricos de las dieciocho partes que comparten el modelo, y tampoco es la intención del presente artículo.

En su totalidad se llevaron a cabo en el software *Agisoft Photoscan Standard* (Fig. 6). La versión demo de la edición Professional fue utilizada para mostrar su potencial para la georreferenciación de modelos 3D. La georreferenciación final se llevó a cabo en el software libre *Meshlab*, mientras que el montaje se realizó en *Blender 2.73* (Fig. 7).

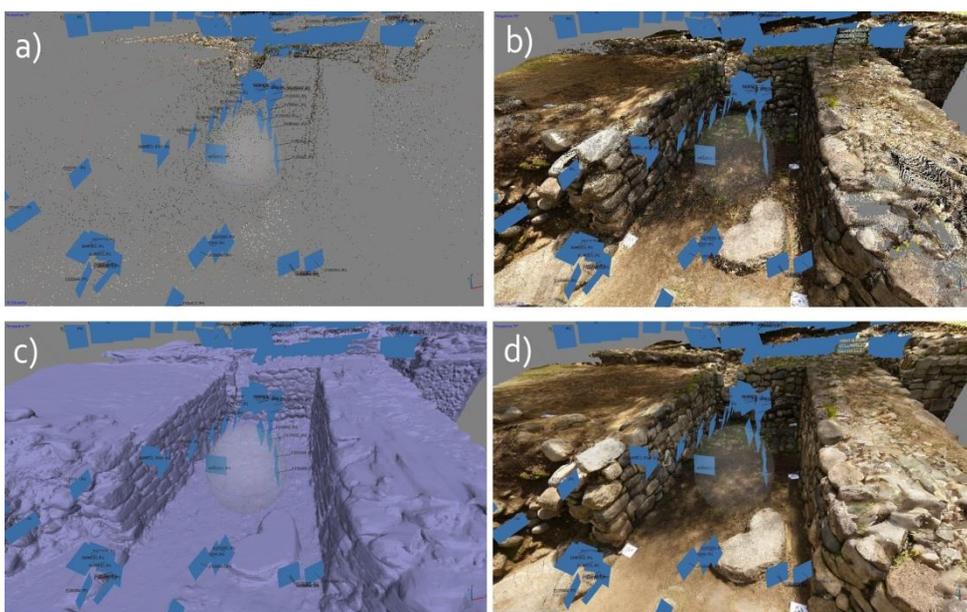


Figura 5: Levantamiento fotogramétrico de la zona 7. a) nube de puntos dispersa; b) nube de puntos densa; c) geometría; d) texturizado fotográfico (2015).

Fuente: PAR

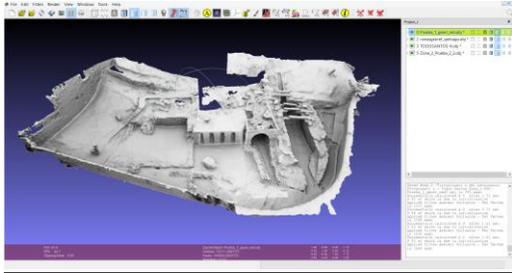


Figura 7: Captura de pantalla de *Meshlab* durante el proceso de georreferenciación de algunas de las mallas del modelo 3D (2015).

Fuente: PAR.

Los mayores problemas se encontraron, precisamente, en este último proceso por varias causas. Inicialmente la dificultad de trabajar con 18 mallas fotogramétricas, lo cual entorpece el funcionamiento fluido de cualquier software, aunque se disponga de equipos potentes.

En adelante la falta de información geométrica de calidad en algunas zonas en las que se encontraban varios marcadores, provocaron desajustes de medición con la estación total; varias mallas no coincidieron con exactitud absoluta, lo cual sumado al hecho de que el software *Blender* (Fig. 8) no trabaja, a día de hoy, con georreferenciación absoluta, fue necesario repetir el proceso, reduciendo el tamaño de los datos de salida del equipo topográfico y pasando de este modo, a la georreferenciación relativa que permitió trabajar con los modelos.



Figura 9: Captura de pantalla durante el proceso de colocación de las mallas en *Blender*.

Fuente: PAR

4. Resultados

Una vez alineados los 18 sub-modelos del yacimiento en *Blender*, tuvo lugar un proceso de edición que se enfocó en tres objetivos: a) eliminar las zonas duplicadas de las distintas mallas, escogiendo aquellas más detalladas y precisas, y suprimir los bordes sobrantes de los modelos, b) igualar los tonos de las texturas de los sub-modelos y suavizar la transición entre ellas, lo que se llevó a cabo utilizando tanto Adobe Photoshop como la herramienta *texture painting* de *Blender*; además, se eliminaron algunas sombras del terreno que confundían la interpretación de los restos conservados, y, c) añadir algunos detalles mediante modelado manual, como las puertas de reja que cierran el actual recinto del yacimiento (Fig. 9). Finalmente, se crearon los renderizados finales en *Blender*, tanto de distintas zonas como del yacimiento completo, para permitir su

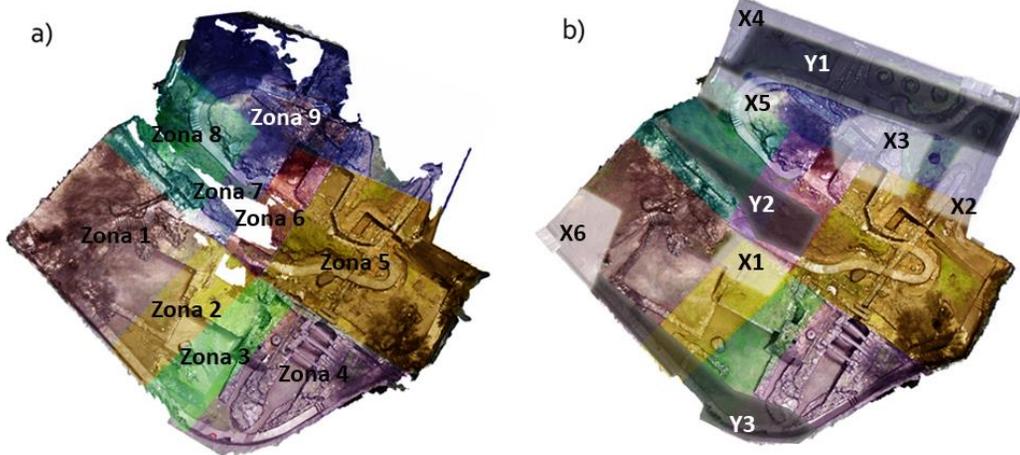


Figura 8: Levantamiento fotogramétrico de Todos Santos. a) Modelo durante el proceso de montaje y edición en *Blender*, primera toma de fotografías; b) modelo casi definitivo del levantamiento fotogramétrico, segunda toma de fotografías (2015).

Fuente: Grupo de trabajo &PAR.



Figura 10: Levantamiento fotogramétrico de Todos Santos, ortofoto (2015).
Fuente: PAR.

visualización y difusión (Fig. 9). Entre estos destaca la ortofoto del yacimiento (Fig. 10), que constituye hasta el momento el plano más detallado que existe del mismo. Para la obtención del modelo integral del objeto estudio, como producto concreto máximo proyectado, la aplicación metodológica rigurosa representa en buena medida la garantía de su consecución.

El modelo fotogramétrico tridimensional del componente arqueológico del Museo de Sitio Manuel Agustín Landívar motivó, más allá de un producto académico, la gestión de actividades en pro de su

conservación, tal como la restauración del muro principal de la zona 1 (Fig. 3). Esta actividad se llevó a cabo entre los meses de mayo y julio de 2015 por parte de ERA Cultura en coordinación con la Casa de la Cultura Ecuatoriana Benjamín Carrión, Núcleo del Azuay, y el personal del museo y el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural (Regional 6), como encargados de la custodia y preservación del yacimiento, y veedores del proceso, respectivamente. Se cree firmemente que este recurso y esta labor mancomunada, pueden plantear una experiencia piloto a nivel nacional para el monitoreo del sitio (Figs. 11, 12, 13 y 14).

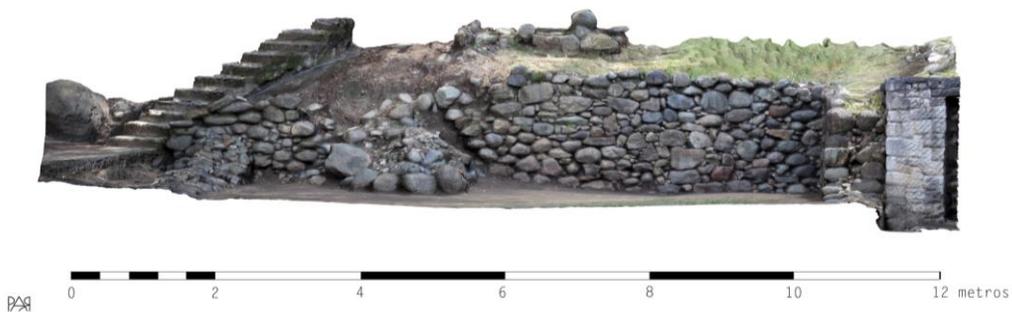


Figura 11: Ortofoto frontal del derrumbe en el muro de la Zona 1 (2015).
Fuente: PAR.



Figura 12: Vista en perspectiva del derrumbe en el muro de la Zona 1 (2015).
Fuente: PAR.



Figura 13: Ortofoto superior del derrumbe en el muro de la Zona 1 (2015).
Fuente: PAR.



Figura 14: Muro intervenido por ERA Cultura en 2015 (2017).
Fuente: Fotografía tomada por Freddy Espinoza F.

En adelante, el modelo fotogramétrico integral fue usado para renovar la señalética del sitio a través de paneles informativos (Fig. 15) con la intención de difundir e interpretar el sitio dentro del colectivo de visitantes. Pedro Carretero, coordinador del curso y miembro de ERA Cultura, fue el encargado de acometer esta actividad, así como la investigación histórica en torno al sitio, con el fin de complementar la documentación e ilustraciones productos del ejercicio fotogramétrico, con breves reseñas históricas. Los tres paneles están ubicados en la zona 2, 5 y 9 (Fig. 16).



Figura 15: Panel para la interpretación del sitio (2017).
Fuente: Fotografía tomada por Freddy Espinoza F.

5. Discusión

La fotogrametría digital aplicada al patrimonio presenta amplio potencial como mecanismo y herramienta de documentación, medio de difusión y puesta en valor, e incluso para restauraciones y acciones de monitoreo. Sin embargo, y pese a la innegable predisposición generacional frente a los medios digitales, no es recomendable sustituir por completo la aplicación de metodologías tradicionales para iguales fines. Lo idóneo, en este sentido, en la fase de experimentación técnica territorial actual, sería su articulación, de tal manera que los resultados obtenidos sean de alta calidad, en función de los planteamientos específicos de cada momento.

La inversión para emprender un proceso de fotogrametría como el planteado en este estudio resulta mínima frente a otras técnicas como el escáner láser, aplicado la cueva de Parpalló (España), en donde se combina la exploración láser terrestre con fotogrametría de rango cercano para la documentación arqueológica tridimensional, obteniendo modelos 3D de alta resolución incluso de los grabados, así como consiguiendo secciones, elevaciones, vistas fotorrealistas en perspectiva y, un sinnúmero de posibilidades de navegación visual y operatividad (Lerma, Navarro, Cabrelles, & Villaverde, 2010); este, como otros ejemplos de bienes del patrimonio, expone una multiplicidad de técnicas aplicables cuya utilización conlleva onerosas inversiones, y no siempre se presentan como opciones factibles. Por su parte, la aplicación de la fotogrametría se evidencia accesible y adaptable a las diversas condiciones de los bienes culturales. Actualmente, en 2017, esto va cambiando y la rentabilidad, almacenamiento de datos y accesibilidad es un tema en el que se trabaja (Santos *et al.*, 2017). Se debe reconocer que la alta automatización del procesamiento de datos que conlleva puede resultar una gran oportunidad para actividades propias de la conservación, como el monitoreo en excavaciones arqueológicas. Según el día – de excavación- se pueden seleccionar distintos métodos con afán de reforzar el enfoque tradicional (Rinaudo, Chiabrand, Lingua, & Spanò, 2012). La fotogrametría puede servir como línea base para estudios futuros e incluso para la difusión pública a partir de mejores propuestas de producción –incluso video- generando

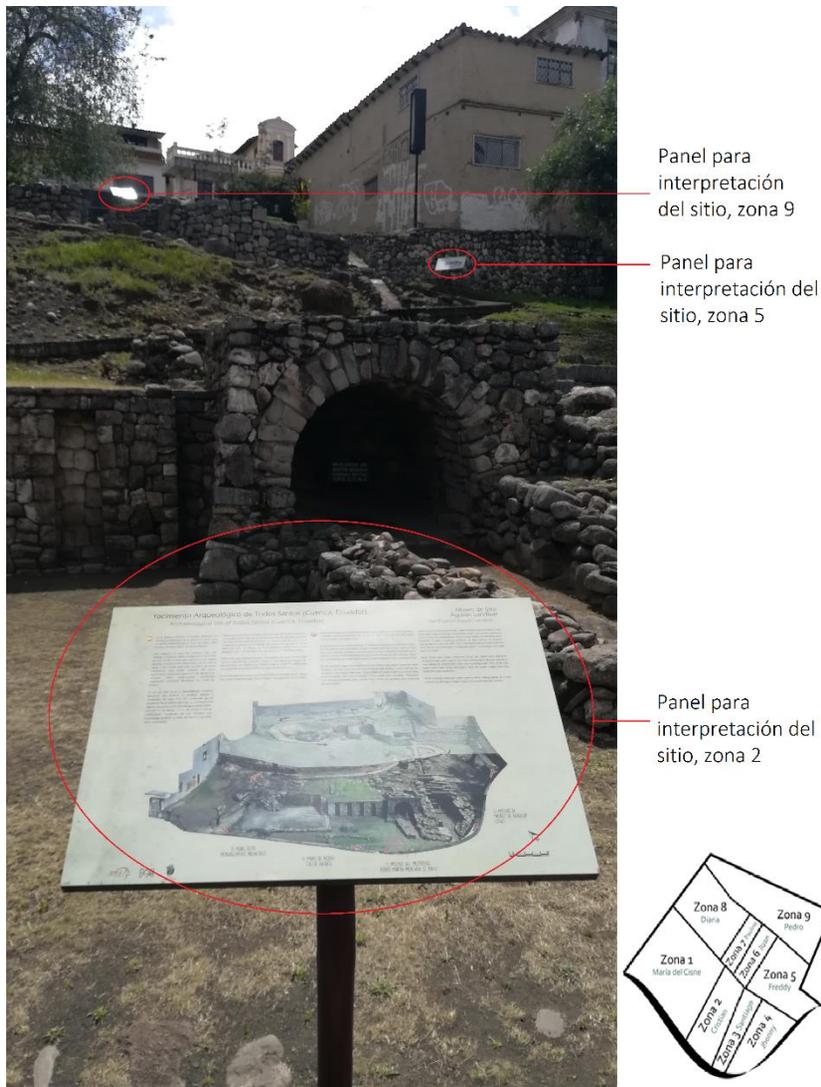


Figura 16: Ubicación de los paneles informativos (2017). Fuente: Grupo de trabajo Fuente: PAR.

mejor documentación, difusión e interpretación (De Reu *et al.*, 2013). A pesar de las bondades del método y subprocesos, también se enfrenta a complicaciones prácticas que suelen asociarse a las condiciones climáticas (viento, lluvia, otros), así como a la disponibilidad de medios tecnológicos dispares, como la propia situación del presente, o desde el ámbito ambiental, las condición de iluminación, soleamiento y otros (Altan, Celikoyan, Kemper & Toz, 2004).

Desde la experiencia internacional, el apostar por tecnologías aplicadas en la cotidianidad, muestra la rotunda mejora en los procesos de conservación patrimonial, evidenciados también a través del presente estudio, a través de la recuperación efectiva del muro deteriorado, y cuya puesta en valor inmediata ha frenado la pérdida de valor individual del objeto y por supuesto del complejo arquitectónico. Además, esta experiencia,

demuestra cuán necesarias son las sinergias entre entidades públicas y privadas para la salvaguardia del patrimonio, así como la necesidad de experimentación práctica con el fin de desarrollar nuevas experiencias.

La demanda de tecnologías 3D para digitalizar el patrimonio aumenta en función de la rapidez y eficiencia. Ha demostrado ser una opción prometedora para el futuro, y los esfuerzo actuales se sitúan en la rentabilidad, rapidez, eficiencia, accesibilidad con la intención de lograr capturas a gran escala y cálculo de modelos virtuales 3D a partir de hallazgos arqueológicos (Santos *et al.*, 2017).

Finalmente, es destacable que pese a ser el presente artículo la exposición oficial del proceso y los resultados, autores como Castro (2014), Arias (2015) y Burneo (2016), lo exponen a partir de la difusión que en redes sociales se le ha dado, evidenciando el interés docente y

estudiantil por incursionar en este campo innovador de la documentación patrimonial y áreas asociadas que van más allá del desgastado discurso académico sobre lo multidisciplinario.

6. Conclusión

Desde el segmento operativo es imperativo puntualizar la impostergable necesidad de capacitación permanente al colectivo de actores vinculados a la conservación patrimonial, a fin de orientar la incorporación y mejoramiento de los procesos a ella vinculada; el caso de la fotogrametría tridimensional es un ejemplo palpable, pero que a su vez no es independiente; demanda el dominio –previo– de los diferentes medios de representación gráfica y el uso adecuado de las herramientas que cada uno asocia.

La tecnología está abriendo nuevas posibilidades para la gestión y conservación del patrimonio cultural, e incluso para procesos educativos que intenten acercar ese patrimonio a las nuevas generaciones, considerando que la difusión es un proceso de entrada (lo que ofrece el objeto) y salida (como interactúa el público con el objeto).

La particular situación del sitio arqueológico de Todos Santos lo hace complejo para documentar mediante fotogrametría terrestre de corto alcance, debido a que, desde el sur, resulta difícil la realización de fotografías elevadas que permitan ver ciertos ángulos de los distintos elementos arquitectónicos. De este modo, en la actualidad el levantamiento más sencillo y preciso debería llevarse a cabo mediante el uso de aeronaves no tripuladas o drones. La aplicación de la técnica de

documentación y la construcción del modelo fotogramétrico, representó en su momento un trabajo pionero, tanto en el sitio como a nivel urbano, en lo que respecta a estudios previos y gestión del sitio. Se cree que no se trató ni trata de un hecho aislado, aunque su implementación vislumbre un tortuoso camino.

7. Agradecimientos

Al conjunto de compañeros del Curso de Fotogrametría Digital para la documentación 3D del patrimonio cultural, celebrado entre abril y mayo de 2015 (Cornelio, Diana, Jhonny, Santiago, Pedro y Juan), así como a Pablo Aparicio de PAR–Arqueología y Patrimonio Virtual, Pedro Carretero de ERA Cultura y Coordinador del Curso de Fotogrametría para la digitalización 3D del patrimonio cultural, Casa de la Cultura Núcleo del Azuay Benjamín Carrión y sobre todo, al Museo de Sitio Manuel Agustín Landívar, por la acogida durante la realización del trabajo.

Como citar este artículo/How to cite this article:
Aparicio, P., Espinoza-Figueroa, F., Aguirre, M., Mejía, P., & Matovelle, C. (2018). Fotogrametría digital para el levantamiento 3D del sitio arqueológico de Todos Santos, Cuenca (Ecuador). *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 7(13), 25-35. doi:10.18537/est.v007.n013.a02

Bibliografía

- Altan, M. O., Celikoyan, T. M., Kemper, G., & Toz, G. (2004). Balloon photogrammetry for cultural heritage. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 35(B5), 964–968. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/3316/69fffe6b2162fb4b1ca446bccefcc644f2b.pdf>
- Antoñanzas, M. A., Iguácel de la Cruz, P., Lopetegui Galarraga, A., & Valle Melón, J. M. (2003). El Sequeral (Calahorra, La Rioja). Investigación fotogramétrica y arqueología. *Arqueología de La Arquitectura*, (2), 13–16. doi.org/10.3989/arqarqt.2003.i2
- Aparicio Resco, P., Carmona Barrero, J. D., Fernández Díaz, M., & Martín Serrano, P. M. (2014). Fotogrametría Involuntaria: rescatando información geométrica en 3D de fotografías de archivo. *Virtual Archaeology Review*, 5(10), 11–20.
- Barber, L. (2013). (Re) Making Heritage Policy in Hong Kong: A Relational Politics of Global Knowledge and Local Innovation. *Urban Studies*, 51 (6), 1179–1195. doi.org/10.1177/0042098013495576
- Charquero Ballester, A. M., & López Lillo, J. A. (2012). Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica: fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant). *Virtual Archaeology Review*, 3, 81–88. Recuperado de <http://193.145.233.67/dspace/handle/10045/33415>
- Criado-Boado, F., & Barreiro, D. (2013). El patrimonio era otra cosa. *Estudios Atacameños*, (45), 5–18.
- De Reu, J., Plets, G., Verhoeven, G., De Smed, P., Machteld, B., Cherretté, B. De Clercq, W. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40 (2), 1108–1121.
- ICOMOS. (2004). Carta ICOMOS para la Interpretación y Presentación de Sitios de Patrimonio Cultural. Ratificada por la 16 Asamblea General del ICOMOS, Québec (Canadá). Recuperado de https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/interpretation_sp.pdf
- IERSE. (2016). Fotogrametría arquitectural. Recuperado de http://gis.uazuay.edu.ec/ide2015/fortalecimiento_infraestructura.php
- Lerma, J. L., Navarro, S., Cabrelles, M., & Villaverde, V. (2010). Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study. *Journal of Archaeological Science*, 37(3), 499–507. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440309003781>
- Monfort-Roselló, M. (2012). *Multimedia para la Difusión del Patrimonio Natural y Cultural*. San Juan: Editorial Académica Española.
- Querol, M. Á. (2010). *Manual de gestión del patrimonio cultural* (1era Edición). Madrid: Ediciones Akal S. A.
- Rinaudo, F., Chiabrande, F., Lingua, A., & Spanò, A. (2012). Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be a answer. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX (B5), 583–588.
- Santos, P., Ritz, M., Fuhrmann, C., Monroy, R., Schmedt, H., Tausch, R. Fellner, D. (2017). Acceleration of 3D Mass Digitization Processes: Recent Advances and Challenges. In M. Ioannides, N. Magnenat-Thalmann & G. Papagiannakis (Eds.), *Mixed Reality and Gamification for Cultural Heritage*. Springer Cham 99–128). doi.org/10.1007/978-3-319-49607-8_4
- Yilmaz, H. M., Yakar, M., Gulec, S. A., & Dulgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4), 428–433. doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.004