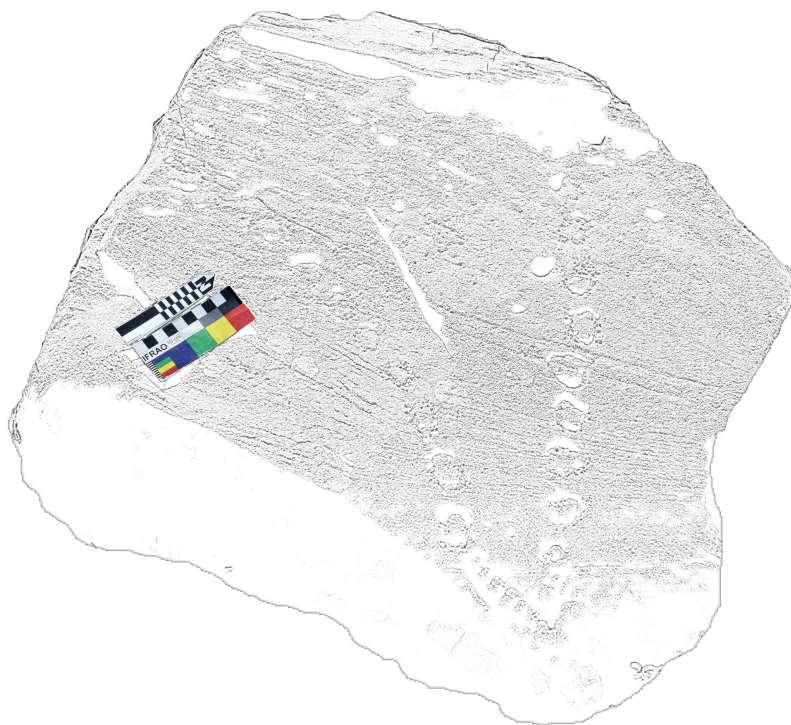


ISSN: 1688-8774

Anuario de Arqueología

2016



Universidad de la República
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación
Departamento de Arqueología

Anuario de arqueología

2016

ANUARIO DE ARQUEOLOGÍA 2016

<http://anuarioarqueologia.fhuce.edu.uy>

anuariodearqueologia@gmail.com

Instituto de Ciencias Antropológicas – Departamento de Arqueología – Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación – Universidad de la República.

ISSN: 1688–8774

Ilustración de portada: Petroglifo de Colonia Itapebí, Departamento de Salto. Modificado de la figura 3 de “*Contenidos simbólicos y técnicas de grabado en las manifestaciones rupestres del norte uruguayo. Un abordaje desde la arqueología experimental*” (este volumen).

Editor responsable

Leonel Cabrera

Secretaría de edición

Carla Bica

Paula Tabárez

Composición digital

Gonzalo Figueiro

Consejo editor

Jorge Baeza – Uruguay

Roberto Bracco – Uruguay

Leonel Cabrera – Uruguay

Carmen Curbelo – Uruguay

Antonio Lezama – Uruguay

José López Mazz – Uruguay

Comité científico

Tania Andrade Lima – Brasil

Martín Bueno – España

Primitiva Bueno – España

Felipe Criado Boado – España

Nora Franco – Argentina

Arno A. Kern – Brasil

Jorge Kulemeyer – Argentina

Daniel Loponte – Argentina

Hugo Gabriel Nami – Argentina

Fernando Oliva – Argentina

Patrick Paillet – Francia

Gustavo Politis – Argentina

Ana María Rocchietti – Argentina

Mónica Sans – Uruguay

Marcela Tamagnini – Argentina

Fernanda Tocchetto – Brasil

Andrés Troncoso – Chile

Agradecemos la colaboración en este número:

Comité editor

Jorge Baeza – Uruguay
Carmen Curbelo – Uruguay

Comité científico

Jorge Kulemeyer – Argentina
Daniel Loponte – Argentina
Hugo Gabriel Nami – Argentina
Gustavo Politis – Argentina

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores y no necesariamente refleja el criterio o la política editorial del Anuario de Arqueología. La reproducción parcial o total de esta obra puede hacerse previa aprobación del Editor y mención de la fuente.

El Anuario de Arqueología agradece el aporte de todos los autores que participan en esta edición.

Índice

Editorial	6
-----------------	---

Proyectos de Docentes del Departamento de Arqueología (FHCE-Udelar)

Contenidos simbólicos y técnicas de grabado en las manifestaciones rupestres del norte uruguayo. Un abordaje desde la Arqueología Experimental	9
--	---

Artículos Científicos

El heterogéneo paisaje del Patrimonio Cultural. Algunas ideas para su (de)construcción <i>Carmen Curbelo</i>	16
---	----

Metodologías de excavación y recuperación diferenciales en el sitio Ch2D01-IA (Rocha, Uruguay) y sus efectos en el registro arqueofaunístico <i>Federica Moreno y Gonzalo Figueiro</i>	35
---	----

Reseña de trabajos monográficos de Estudiantes

Fotogrametría digital aplicada al registro en excavación y restitución de estructuras. El caso del sitio arqueológico Ester Chafalote, Rocha <i>Carla Bica</i>	49
---	----

Análisis tipológico funcional de una colección lítica proveniente de la cuenca baja del humedal del Arroyo Maldonado <i>Mariana Silvera</i>	77
--	----

Registro gráfico de piezas arqueológicas mediante digitalización y modelado en 3D. Caso práctico: modelado tridimensional de material lítico y cerámico perteneciente a dos colecciones arqueológicas locales <i>María José Vidal</i>	111
--	-----

Fotogrametría digital aplicada al registro en excavación y restitución de estructuras. El caso del sitio arqueológico Ester Chafalote, Rocha

Carla Bica

Laboratorio de Arqueología del Paisaje y Patrimonio
(Departamento de Arqueología, FHCE/unidad asociada al CURE, Udelar)

Tecnicatura Universitaria en Museología (FHCE, Udelar)

carla.bica@lappu.edu.uy

Se presenta la fotogrametría digital como técnica de registro gráfico y sus posibilidades analíticas como herramienta para la investigación arqueológica. Se plantean aspectos generales de las tecnologías digitales de documentación geométrica y de la fotogrametría digital en particular, así como su impacto en el campo de la arqueología. La técnica de fotogrametría digital fue aplicada al proceso de excavación del sitio Ester Chafalote (Sierra de Aguirre, Rocha), con el objetivo de obtener datos para la caracterización morfoestructural del *cairne* excavado y contar con elementos gráficos para su restitución. Se presentan los modelos 3D georreferenciados y de alta precisión obtenidos, así como productos gráficos derivados (ortoimágenes y planimetrías). Los resultados permiten avanzar en el registro, visualización, análisis e interpretación del sitio en términos de su proceso de formación. Al mismo tiempo, robustecen el análisis y evaluación de las hipótesis reconstructivas vinculadas a los procesos de formación y desmoronamiento de la entidad, y apoyan su monitoreo orientado a la preservación del sitio arqueológico. La aplicación de la técnica de registro gráfico permite ejemplificar la potencialidad de realizar documentación tridimensional y geométrica de alta precisión a elementos o estructuras arqueológicas para análisis morfológico, espacial y semántico, en distintas escalas y resoluciones. Asimismo, facilita la elaboración de productos derivados de análisis y aporta elementos para potenciar la gestión patrimonial y su divulgación.

Palabras clave: fotogrametría digital, excavación arqueológica, restitución, *cairne*.

La fotogrametría digital permite representar espacios tridimensionales a partir de la aplicación de principios geométricos a soportes bidimensionales (imágenes fotográficas). El resultado son modelos 3D que, una vez georreferenciados o escalados, adquieren precisión milimétrica y permiten examinar los aspectos morfológicos, espaciales y semánticos de las entidades en estudio, así como obtener productos derivados de alta precisión métrica. La versatilidad de la técnica permite documentar entidades de interés arqueológico en distintos ambientes, y a distintas escalas y resoluciones.

Se exponen aquí aspectos generales de la documentación geométrica y de la fotogrametría digital aplicada a la arqueología en particular. Se presenta un ejemplo de aplicación de la fotogrametría digital para la documentación del proceso excavación y restitución de una estructura en piedra, adscripta como *cairne*, en el sitio arqueológico Ester Chafalote (Sierra de Aguirre, Rocha); actividades de investigación enmarcadas en el Proyecto “*Paisajes contruidos desde la Prehistoria. Lógicas de ocupación y uso del espacio por poblaciones indígenas en la transición tierras altas/tierras bajas*” (CSIC I+D 2015-17)¹. La técnica de documentación geométrica se aplicó al registro arqueológico para producir datos orientados a la representación y caracterización morfo-arquitectónica del *cairne* en estudio. Esto involucró la representación de la estructura de forma geométrica, a partir de modelos 3D de alta precisión, y la obtención de productos derivados, ortoimágenes y planimetrías, que aportan a la comprensión de los procesos de formación del sitio. En forma complementaria, se buscó contribuir a la implementación de prácticas responsables en la gestión de los sitios arqueológicos, orientadas a su conservación y preservación, así como a la reproducción digital de contextos arqueológicos para la socialización del conocimiento. A continuación, se expone un trabajo de síntesis de la monografía elaborada para la aprobación del curso Técnicas de Investigación en Arqueología. Los aspectos teóricos y operativos de la fotogrametría como técnica de registro gráfico en arqueología pueden ser ampliados en Bica (2016).

Documentación geométrica de entidades arqueológicas

El desarrollo vertiginoso de tecnologías digitales ha impactado fuertemente en las actividades de investigación arqueológica (Olson y Caraher 2015; Shott 2014). Estos aspectos se han centrado en el abordaje geoespacial del registro y la representación de datos arqueológicos con base digital (Evans y Daly 2006; Olson y Caraher 2015; Shott 2014). La innovación constante de instrumental, *software* y *hardware*, y el descenso de costos, permite a los equipos de investigación incorporar

¹El proyecto se inscribe en el Laboratorio de Arqueología del Paisaje y Patrimonio, Departamento de Arqueología, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación/ unidad asociada al Centro Universitario de la Región Este, Universidad de la República.

tecnologías digitales orientadas a obtener un registro preciso, de forma más rápida y eficiente que con métodos clásicos (ver por ejemplo de Reu et al. 2013; Doneus et al. 2011; Olson y Caraher 2015; Remondino 2011; Shott 2014). Estas tecnologías definen nuevos campos de actuación que renuevan la investigación arqueológica y la socialización de sus resultados.

La utilización e integración de tecnologías digitales en la dinámica general de trabajo arqueológico permite la captura y manejo de información espacial de forma indirecta y no destructiva. Se emplean sensores que trabajan con distintas escalas (desde el terreno a artefactos singulares o microscópicos), en distintos ambientes (terrestre y subacuático) y con distintas resoluciones (Olson y Caraher 2015; Shott 2014). Los sensores —estación total, escáner láser terrestre, cámara fotográfica, entre otros— actúan en distintas ondas del espectro electromagnético y permiten registrar entidades respetando sus características espaciales, su geometría y su información semántica (textura, color), en algunos casos. Lo novedoso de estas tecnologías es que además de permitir obtener resultados representados en el plano (2D), permiten el procesamiento y visualización de la información espacial documentada en forma tridimensional (3D). En arqueología, el manejo de datos espaciales a través de la aplicación de estas tecnologías digitales se ha orientado a la documentación, análisis e interpretación de esa información espacial, con énfasis en su representación virtual (Olson y Caraher 2015; Shott 2014). Se trata de herramientas que permiten la gestión de la cultura material al facilitar su inventario, catalogación y divulgación. Como forma destacada, su aplicación posibilita la restitución y reproducción de las entidades e incluso el diseño de soluciones encaminadas a su restauración y anastilosis (Olson y Caraher 2015).

En arqueología las tecnologías de documentación digital 3D se utilizan en dos modalidades de abordaje (Remondino 2011). Los datos espaciales obtenidos digitalmente pueden ser utilizados de manera parcial, para crear entornos virtuales y elaborar hipótesis reconstructivas, o en forma completa, orientado al análisis del registro. Esta última modalidad es la de mayor aplicación en arqueología y se realiza a partir de técnicas topográficas, sensores activos y sensores pasivos. Las *técnicas topográficas* utilizan la estación total o Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), para registrar la localización espacial de una entidad. Los instrumentos toman datos en forma de puntos, líneas y polígonos, a partir de los cuales es posible obtener Modelos Digitales de Elevación (MDE), mapas altimétricos y planialtimétricos. Los *sensores activos* emiten una señal que rebota en la superficie de la entidad registrada y es recapturada como data. Registran de forma directa la geometría 3D de las superficies y producen representaciones digitales 3D de tipo cuantitativo (nubes de puntos). Los sensores más comunes son los de luz láser, los sistemas basados en triangulación y los sistemas de luz estructurada. Pueden ser posicionados en distintas plataformas: aerotransportadas, como los sistemas Li-

DAR (*Light Detection Radar*); terrestres, como los escáneres láser terrestres; y de mesa, como los escáneres de luz estructurada para el registro de piezas de pequeño tamaño. Los *sensores pasivos* también pueden ser incorporados en distintas plataformas y requieren la captura de imágenes 2D para transformarlas en información 3D a partir de algoritmos matemáticos incorporados en el *software* específico utilizado. Este es el caso de las técnicas de modelado 3D basadas en imágenes, como la fotogrametría.

La combinación e integración de diferentes sensores y técnicas es una solución ideal para el relevamiento 3D y caracterización de sitios arqueológicos complejos (Orengo 2013; Remondino 2010, 2011). La elección de las técnicas de registro digital y la necesidad de integración de datos depende de los objetivos del proyecto de investigación, la exactitud requerida, las dimensiones del objeto/escena y las características de la superficie a registrar, las limitaciones de su ubicación, la portabilidad y facilidad de uso de los instrumentos, la experiencia de trabajo del equipo, presupuesto del proyecto, entre otros. Paralelamente, la aplicación de tecnologías digitales en el ámbito del Patrimonio Cultural también supone la actualización de las directrices internacionales que atienden a su investigación, divulgación y preservación (ver UNESCO 1958; ICOMOS 1964). Sobre los procedimientos adecuados para la correcta aplicación de tecnologías digitales a entidades arqueológicas ver *La Carta de Londres* (Denard 2009) y *Los Principios de Sevilla* (IFVA 2011).

Fotogrametría digital

La fotogrametría tiene un desarrollo temprano que está asociado a la evolución técnica de su soporte original: la imagen fotográfica. En términos generales, la fotogrametría proporciona métodos de obtención de información cuantitativa sobre los objetos registrados. Esa información se presenta como la reconstrucción de un espacio 3D (espacio-objeto) a partir de un conjunto de imágenes 2D obtenidas por el registro de patrones de ondas electromagnéticas (espacio-imagen), sin mediar contacto físico directo entre el sensor y el objeto de interés (Coelho y Nunes 2007; Linder 2009). En este proceso, el sensor de tipo pasivo (la cámara fotográfica) captura la luz y genera imágenes planas a partir de sus propios parámetros de calibración. El sistema 3D toma esos parámetros para representar el espacio-objeto y le asigna un sistema de referencia espacial basado en coordenadas cartesianas x, y, z , con origen absoluto o arbitrario, de acuerdo al caso. El resultado es un modelo 3D geoméricamente preciso, a partir del cual se puede determinar, entre otras, la posición espacial del objeto, la orientación, establecer distancias, áreas y volúmenes. Además, se puede contar con variables de textura y color de la entidad, que permiten la lectura semántica del objeto (Coelho y Nunes 2007).

Clasificaciones y principios geométricos de la fotogrametría

Desde su origen hace poco más de cien años, la fotogrametría sufrió cambios técnicos sustanciales vinculados con la obtención de información métrica de objetos representados en fotografías. Atendiendo la evolución de los métodos de registro históricamente empleados, la fotogrametría se puede clasificar como analógica, analítica y digital (Linder 2009). Considerando la escala, se puede clasificar en orbital, aérea y terrestre (Coelho y Nunes 2007). La orbital presenta un desarrollo reciente a través de plataformas satelitales u otros vehículos espaciales. La aérea está asociada a la geomática y al registro a partir de plataformas aerotransportadas. Es la fuente tradicional de obtención de cartografías y cuenta con un desarrollo temprano. La fotogrametría terrestre o de corto alcance presenta una gama amplia de aplicaciones para resolver problemas a distintas escalas y desde distintas disciplinas (arquitectura, control industrial, ingeniería civil, física médica y arqueología). En forma reciente también se viene desarrollando la técnica para el registro en ambientes subacuáticos (Coelho y Nunes 2007; Linder 2009).

La fotogrametría se sustenta en una serie de principios provenientes de la geometría y la óptica, que aplican de manera independiente a la escala, ambiente o dispositivos utilizados para el registro y procesamiento de imágenes (ver Coelho y Nunes 2007). De acuerdo al principio óptico de estereoscopia es posible reconstruir la información geométrica de un objeto, al igual que lo realizan los ojos humanos, a partir de la aplicación de técnicas específicas en al menos dos fotografías con suficiente solape. El resultado es un modelo estereoscópico en el ámbito analógico o un modelo 3D en el digital. En forma paralela, el proceso fotogramétrico exige la corrección de los errores geométricos propios de la proyección central de los haces de luz en las fotografías (distorsiones y deformaciones generadas por el sistema de lentes de la cámara fotográfica). Sin estas correcciones, las fotografías pueden ser visualizadas, analizadas e interpretadas, pero no permiten derivar medidas fiables a partir de ellas. El proceso de rectificación de las imágenes debe cumplir con una serie de condiciones y parámetros expresados en algoritmos que permiten calcular las coordenadas tridimensionales de cualquier punto representado en ambas imágenes (para ampliar sobre principios geométricos, ver Coelho y Nunes 2007; Linder 2009).

Particularidades técnicas de la fotogrametría digital

La innovación de la fotogrametría digital en relación a sus precursoras es que todo el proceso de trabajo se realiza con base digital y de forma automatizada. Esto implica que las rutinas de trabajo se ejecutan generalmente en un mismo computador y a partir de un paquete de *software* específico que permite automatizar el volumen, gestión y cálculo numérico de datos. El *software* fotogramétrico

incorpora y procesa los metadatos de las fotografías digitales del objeto registrado -alojados en el fichero *EXIF* de cada fotografía-, sobre los que realiza los cálculos algorítmicos necesarios de calibración de las tomas e identifica los puntos coincidentes en las distintas fotografías para generar un modelo 3D. De acuerdo a la plataforma de trabajo, existen dos tipos de *software* fotogramétrico: de cálculo en la nube y de escritorio. El *software* de cálculo en la nube (aplicaciones *cloud computing*), realiza los cálculos algorítmicos en servidores externos, alojados en la web. El usuario carga las imágenes en la aplicación y los servidores generan y exportan el modelo 3D para que el usuario pueda interactuar en un *software* de visualización. El *software* de escritorio (aplicaciones *desktop*) realiza el cálculo de algoritmos utilizando las prestaciones del propio computador. Esto permite al usuario controlar la mayor parte del flujo de trabajo fotogramétrico y, de acuerdo a los objetivos de documentación, obtener un modelo 3D de alta precisión métrica. Como contraparte, requiere de un equipo informático con buenas prestaciones ya que de ellas dependerá el tiempo requerido para ejecutar el procesado.

La operativa general de trabajo para elaboración de un modelo fotogramétrico consiste en dos etapas: levantamiento de datos y procesamiento de datos (de Reu et al. 2013; Doneus et al. 2011). La estrategia de levantamiento fotogramétrico se define en función de los objetivos del proyecto de investigación y por el tipo de objeto a documentar (alzado, pintura rupestre, planta de excavación, piezas arqueológicas, otros), su entorno (presencia/ausencia de vegetación u otros elementos que interfieran en el registro) y las condiciones de iluminación disponibles para la toma de fotografías. La adquisición de fotografías debe realizarse de forma sistemática, siguiendo la pauta de obtención de imágenes nítidas, bien iluminadas y con un solape de al menos 60 por ciento. De acuerdo a las exigencias de calidad del proyecto, se pueden utilizar cámaras fotográficas réflex, compactas o de teléfonos celulares. En esta etapa también se definen y toman los puntos de control, que servirán en la etapa de procesamiento para asignar coordenadas o referencias métricas absolutas a los modelos 3D (esto es, para escalarlos y georreferenciarlos).

La etapa de procesamiento de datos inicia al momento de incorporar las fotografías en el *software* y culmina con la obtención de un modelo 3D. El primer paso en el flujo de trabajo, denominado *alineación de cámaras*, implica el reconocimiento de los parámetros de calibración de la cámara fotográfica al momento de las tomas para la rectificación de los errores geométricos de las imágenes. A continuación se realiza la *construcción de la geometría 3D* de la escena/objeto documentado. Es la operación más intensa para el *software* y en ella aplica los algoritmos asociados a la construcción de la geometría 3D de la superficie de la escena para elaborar el modelo 3D. El resultado es una nube densa de puntos, que corresponde a un conjunto de coordenadas x, y, z que retrata la distribución espacial de los puntos que componen la escena. Los puntos se unen en una malla

poligonal que da origen al modelo 3D. Finalmente, se puede asignar textura fotorealista al modelo 3D, donde cada polígono adquiere un gradiente de color que representa la superficie del objeto (información semántica).

Una vez obtenido el modelo 3D se pueden aplicar procedimientos para obtener productos derivados finales o salidas gráficas para procesar en otro *software*. A los efectos de la investigación en arqueología resulta de suma utilidad obtener modelos 3D escalados y georreferenciados, MDT y/u ortoimágenes a partir de los cuales calcular distancias, volúmenes y áreas de superficie. Los resultados obtenidos pueden ser visualizados e intervenidos por los usuarios en distintos entornos virtuales. En los entornos de escritorio, los resultados pueden ser incorporados en fichas en formato PDF 3D o en *software* específico de visualización que permita interactuar con los modelos. En entornos web, existen plataformas que almacenan modelos 3D y que también permiten su visualización y manipulación por parte de los usuarios.

Antecedentes de aplicación de fotogrametría digital en arqueología

La aplicación de técnicas fotogramétricas digitales con propósito de investigación arqueológica es muy reciente. Su incorporación a metodologías de trabajo ha sido rápida y abarca distintos ámbitos de actuación (Orengo 2013). Se realizaron experiencias de documentación de sitios arqueológicos a escala territorial y en topografías complejas para su análisis espacial a partir de fotografías aéreas de baja altitud desde plataformas no tripuladas UAV (*unmanned aerial vehicles*) (Verhoeven et al. 2012). También fue aplicada para el registro de entidades arquitectónicas, orientado al estudio de sus relaciones espaciales y estratigráficas, para proveer de cronologías relativas a los sitios y al estudio de su funcionalidad (Harrower et al. 2014). Se realizaron análisis morfométricos 3D y de taxonomía comparada para esculturas antropomorfas de tamaño natural a partir de modelos 3D fotogramétricos (Bevan et al. 2014). En arte rupestre, se ha empleado la técnica orientada a la investigación, gestión y preservación de sitios prehistóricos (Plets et al. 2012). Se reconstruyó el volumen de cuevas con motivos rupestres y la morfología de paredes con pinturas y grabados (Domingo et al. 2013); se documentaron pinturas y petroglifos a escala submilimétrica y se realizaron estudios tecntraceológicos sobre petroglifos para identificar técnicas de grabado y picoteo (Plisson y Zotkina 2015); se comparó la técnica digital con otras tradicionales como el calco directo y por frotación (Plets et al. 2012). En el ámbito de la arqueología subacuática, se realizaron modelos 3D de pecios sumergidos para visualizar detalles constructivos, restituir componentes de la nave, comprobar el estado de conservación de los restos y realizar su monitoreo (Miñano et al. 2012). La fotogrametría digital también está siendo utilizada para documentar fases de excavación y revertir el proceso en un entorno virtual simulado (Forte 2014). La precisión de sus resultados también ha sido comparada con otras técnicas de documentación geométrica 3D, como el

escáner láser terrestre Doneus et al. (2011); Koutsoudis et al. (2014); Remondino (2011); Remondino et al. (2014).

En Uruguay se han abordado problemáticas que utilizan técnicas digitales de documentación geométrica, modelado 3D y reconstrucción virtual a distintas escalas (ver por ejemplo Blasco 2013; Capdepon 2013; Machado 2011; Tornini y Gavirondo 2012). Sin embargo, aún no se cuenta con antecedentes de trabajo arqueológico en los que el registro espacial se realice a partir de técnicas fotogramétricas digitales.

Caso de estudio: registro de excavación y restitución de un *cairne* en el sitio arqueológico Ester Chafalote, Rocha

Se presenta un caso de aplicación de fotogrametría digital como técnica de registro gráfico en el proceso de investigación arqueológica. Su uso está orientado a la documentación del proceso de excavación de un *cairne* en el sitio Ester Chafalote (Sierra de Aguirre, Rocha). A partir de la generación de modelos 3D y materiales gráficos derivados, se busca apoyar la representación y caracterización morfo-arquitectónica de la entidad, así como contribuir con el manejo responsable del sitio y su monitoreo.

Los cairnes como manifestación arqueológica

La existencia de estructuras construidas en piedra atribuidas a grupos prehistóricos ha sido ampliamente documentada en América del Sur y el resto del mundo (ver Sotelo 2012). En Uruguay, estas construcciones son conocidas en la literatura arqueológica como “*cairnes*” y “*vichaderos*” (ver por ejemplo Femenías 1983; Figueira en Araújo 1900; Sotelo 2012, 2014). Se trata de estructuras elaboradas a partir del amontonamiento o imbricación de bloques de piedras sin aglutinantes. Pueden presentar forma monticular o circular. Los montículos tienen forma de semiesfera, de planta circular o elíptica (entre 2 y 6 m de diámetro) y alturas que no superan 1 m. Los círculos presentan alzados en forma anular, planta circular (entre 6 y 10 m de diámetro máximo) y alturas que no superan 1 m (Sotelo 2014: 314) (Figura 1). Estas estructuras se presentan de forma singular o en conjuntos, y se localizan generalmente en las cimas de sierras y cerros en las regiones centro-norte y este del territorio, integrados a la Cuchilla de Haedo y a la Cuchilla Grande, respectivamente (Femenías 1983; Figueira en Araújo 1900; Sotelo 2012, 2014). Desde el período colonial se atribuye origen prehistórico e indígena a estas construcciones (ver Femenías 1983; Figueira en Araújo 1900; Sotelo 2012, 2014). Han sido referidas como sepulturas indígenas, marcadores territoriales, lugares de observación por dominar extensas cuencas visuales, entre otras funciones



Figura 1. Amontonamientos de piedras. Izquierda: estructura monticular perteneciente a conjunto en el cerro del Maestro, Rivera. Derecha: Estructura circular perteneciente a conjunto en el cerro Charrúa, Tacuarembó. *Fuente:* Sotelo (2014: 315, figuras 2 y 3).

(Femenías 1983; Figueira en Araújo 1900; Sotelo 2012, 2014). Lezama (2004) informa sobre la excavación de un “vichadero”, al que se atribuyó origen prehistórico. En forma reciente, este fenómeno arqueológico de antropización del medio comenzó a ser estudiado de manera sistemática (Gianotti y Sotelo 2014; Sotelo 2012, 2014).

Intervención 01 del sitio Ester Chafalote

En 2015 se realizó una excavación arqueológica en el sitio Ester Chafalote, localizado en la estribación Norte de Sierra de Aguirre, en la cuenca del A° Chafalote, Rocha (Figura 2). El sitio está integrado por una estructura anular construida en piedra (*cairne*) sobre afloramiento, de 6 m de diámetro aproximadamente (Figura 3). La estrategia de excavación se desarrolló siguiendo la metodología estratigráfica propuesta por Harris (1991) y se centró en conocer las características morfoestructurales del *cairne* y contar con una primera aproximación a su desarrollo estratigráfico y cronología (Gianotti y Sotelo 2014). Como primer paso, se retiró la cobertura vegetal de la estructura y área contigua (16 × 10 m), procedimiento necesario para poder realizar su correcta documentación. Se realizaron cinco sondeos próximos a la entidad. Se definió una trinchera de excavación de 6 × 1,20 m con orientación NE-SO.

El logro de los objetivos de la aplicación de fotogrametría digital al proceso de excavación estuvo orientado a obtener modelos 3D de precisión milimétrica y georreferenciada del *cairne*, de su proceso de excavación y de su restitución (realizada en junio de 2015). Para ello, en forma previa a la excavación y durante el desarrollo de la misma, se realizaron levantamientos fotogramétricos de la estructura combinados con técnicas topográficas de modo de generar material gráfico referente a las

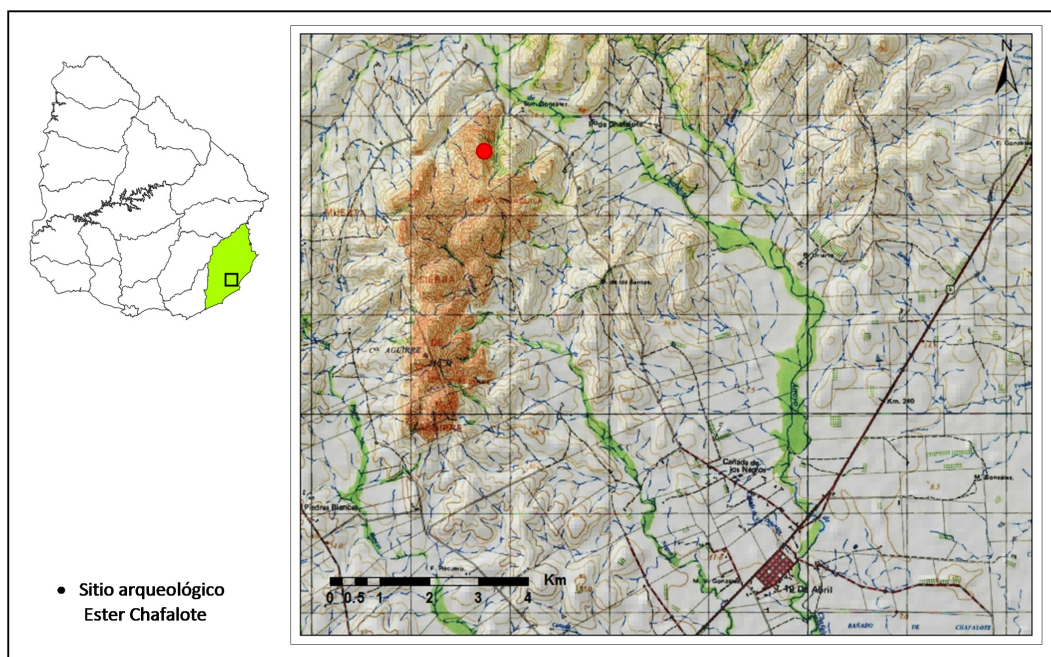


Figura 2. Ubicación y contexto geográfico del sitio Ester Chafalote en Sierra de Aguirre. Detalle de Carta topográfica SGM 1:50.000, D26-Chafalote sobre MDE.

unidades estratigráficas (UE) definidas durante la excavación y asignar coordenadas absolutas a los modelos 3D. Estas representaciones y los productos derivados de la técnica aportaron elementos al estudio y caracterización de la estructura y permitieron evaluar aspectos de los procesos de formación de sitio. Por último, los modelos 3D realizados permitirán el monitoreo de la integridad de la entidad, contribuyendo a su preservación.

Materiales y métodos

Se aplicó la técnica de fotogrametría digital al *cairne* Ester Chafalote para cada una de las siguientes fases definidas operativamente de acuerdo a las etapas de intervención del sitio:

Fase I: registro de la estructura de forma previa a la excavación.

Fase II: registro de plantas y perfiles en el proceso de excavación, de acuerdo a las UE definidas en campo.

Fase III: registro de la estructura restituida.

La estrategia metodológica de registro fotogramétrico propuesto para la intervención del sitio involucró actividades en campo (pasos 1 y 2) y en laboratorio



Figura 3. Sitio Ester Chafalote y entorno paisajístico desde punto cardinal Sur. Estructura desmalezada con planteo del área de excavación. *Fuente:* archivo LAPPU.

(pasos 3 a 7):

1. Planificación de la toma de datos (imágenes y mediciones).
2. Adquisición de datos: registro fotográfico y de puntos de control.
3. Elaboración de modelos 3D.
4. Georreferenciación y escalado de modelos 3D a partir de puntos de control.
5. Elaboración de ortoimágenes cenitales y de perfiles.
6. Elaboración de mapa planimétrico de plantas y de perfiles a partir de dibujo vectorial.
7. Elaboración de archivos interactivos para la visualización de la información.

Se diseñaron y utilizaron fichas para registrar los metadatos del levantamiento fotogramétrico en campo y del procesamiento de los modelos 3D. También se diseñó y utilizó una ficha para la visualización y manejo interactivo de los modelos con información básica sobre los mismos (ver ejemplo de Ficha de Modelo 3D en Anexo). En todos los casos, se siguieron las recomendaciones internacionales

establecidas para la documentación 3D de bienes culturales (Denard 2009; IFVA 2011).

Desarrollo metodológico de la aplicación de la técnica

Para el desarrollo de los pasos 1-3 (planificación de la toma de datos; adquisición de datos y elaboración del modelo 3D) se siguieron las etapas estándar de registro y procesamiento fotogramétrico propuestas por Doneus et al. (2011) y de Reu et al. (2013). Los pasos vinculados al pos-procesado (pasos 4 al 7) se diseñaron y desarrollaron de acuerdo a los objetivos particulares de la intervención en el sitio. El detalle gráfico de los procedimientos y aspectos operativos generales se pueden ver en Bica (2016).

1. Planificación de la toma de datos.

Para la elaboración de la estrategia de levantamiento de datos de las Fases I, II y III se valoraron tres particularidades de la escena a documentar: la topografía irregular del sitio, las características morfológicas y particularidades constructivas de la entidad (piedras de distinto tamaño, posición y buzamiento) y la incidencia de la luz solar sobre la misma.

2. Adquisición de datos: registro fotográfico y de puntos de control.

El registro fotográfico se realizó con una cámara digital réflex de objetivo único, Nikon D90, sin calibrar. La cámara cuenta con sensor CMOS de $23,6 \times 15,8$ mm y 12,9 megapíxeles de resolución (Nikon Corporation 2008). Las fotografías fueron tomadas en formato .RAW, sin compresión de datos. La resolución de las imágenes es 4288×2848 píxeles, distancia focal de 35 mm, punto focal $f/5.6$, tiempo de exposición $1/125$ y sensibilidad ISO 200. La estrategia de captura buscó el solape entre las fotografías a partir de una estrategia de “domo” (toma de fotografías en forma circular, solapada en anillos concéntricos) y la obtención de imágenes de detalle de la estructura (Figura 4). La posición del fotógrafo en cada toma presentó una distancia aproximada de 1 m. También se realizaron tomas cenitales con trípode, de 1,06 m de extensión máxima. En este caso se utilizó disparador con retardo de 10 segundos para disminuir la trepidación de la cámara. La toma de puntos de control se realizó con estación total Leica 1209 TPS, en sistema de coordenadas UTM 21-22, *datum* Yacaré. Se tomaron diez puntos a partir dianas pre-numeradas de 1×1 cm distribuidas sobre la estructura (Figura 5). Las coordenadas fueron almacenadas en formato .txt. La información de adquisición de datos fue incorporada a la ficha de registro fotogramétrico diseñada para esta intervención, que se integra al sistema de registro utilizado en el proyecto de investigación (sistema de registro LAPPU).

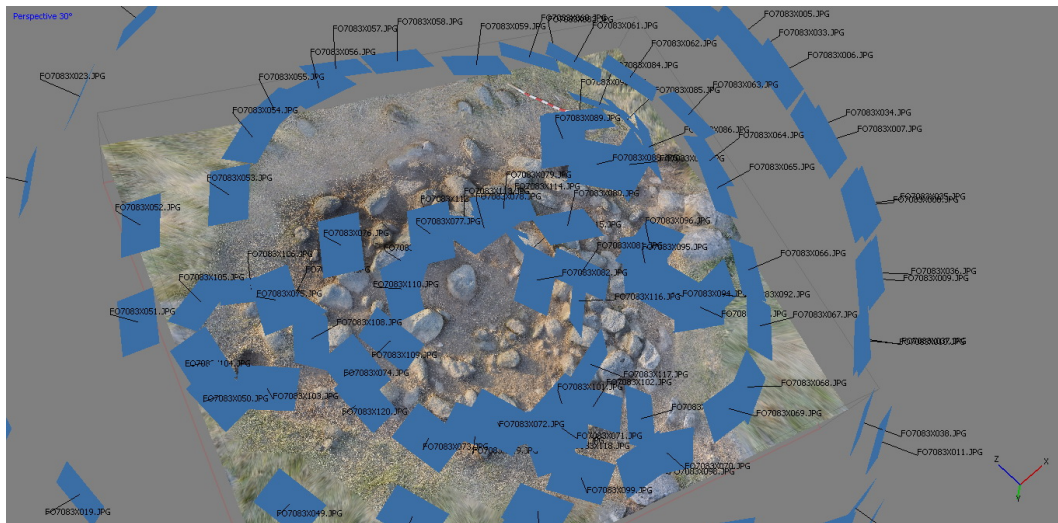


Figura 4. Visualización de la posición de cada una de las tomas fotográficas en estrategia de “domo” correspondiente a uno de los levantamientos de datos fotogramétricos.



Figura 5. Escena de registro fotogramétrico de la estructura. *Izquierda:* posición de la escala y el detalle de las dianas distribuidas sobre la estructura (indicadas con flecha roja). *Derecha:* detalle de posición y aspecto de las dianas utilizadas en el levantamiento topográfico. *Fuente:* archivo LAPPU.

3. Elaboración de los modelos 3D.

Pre-procesamiento de las imágenes.- Se transfirieron a un ordenador los datos de cada secuencia de captura ($n = 10$) alojados en la memoria de la cámara fotográfica. Se adjudicó número de tanda fotográfica a cada secuencia de tomas, se seleccionaron las imágenes a procesar de acuerdo a la buena calidad de las tomas y se descartaron las fotografías que presentaban mala exposición o estuviesen fuera de foco. Se adjudicó denominación a cada modelo 3D a procesar (M01-M10).

Procesamiento de los modelos 3D.- Para la elaboración de los modelos 3D se utilizó el *software* fotogramétrico de escritorio Agisoft PhotoScan Professional® (Agisoft LLC 2016) y procesador Intel® Core i7-3630 QM de 2,40 GHz, 12GB de memoria RAM y una tarjeta gráfica NVidia Geforce GT 650M de 2GB, de la marca Hewlett Packard. Se ejecutaron cuatro procesos en el menú de trabajo del *software* para obtener los modelos 3D fotorrealísticos y se inspeccionó cada etapa para detectar y descartar posibles errores en el procesamiento de las imágenes:

a. Alineación de las cámaras. Para cada tanda de fotografías se desarrolló la misma operativa: se importó la selección de fotografías al *software* y se realizó la depuración manual y controlada a partir de la herramienta “máscaras” de los elementos que pudiesen distorsionar los resultados de la representación en las fotografías que requiriesen. El resultado fue una “nube de puntos escasa” (Figura 6) y la representación del conjunto de posiciones de las tomas para cada tanda.

b. Creación de la geometría del objeto. Construcción de modelo de nube densa de puntos. Luego de depurar la nube de puntos escasa se construyó la “nube densa de puntos” (Figura 7). El resultado fue un modelo 3D compuesto de nubes de puntos que reconstruyen la geometría de la escena, con referencia a color y sin ella.

c. Construcción de la malla. Este paso finaliza la reconstrucción de la geometría del objeto al obtener una malla 3D poligonal que representa su superficie.

d. Texturizado del modelo 3D. Una vez obtenida y editada la geometría del objeto se elaboró su textura fotorrealística mejorar la calidad de su visualización (Figura 8). Los datos del modelo 3D fueron guardados en formato .psx y exportados para ser almacenados en formato .obj.

4. Georreferenciación y escalado de los modelos 3D.

Se incorporó información métrica a cada modelo 3D, que permitiese conocer y monitorear volúmenes, áreas, dimensiones, posición, color, entre otros. De acuerdo a los objetivos del proyecto de investigación arqueológico, se realizaron dos procedimientos: la georreferenciación y el escalado de los modelos.

Georreferenciación.- Se incorporó al programa fotogramétrico la tabla de datos

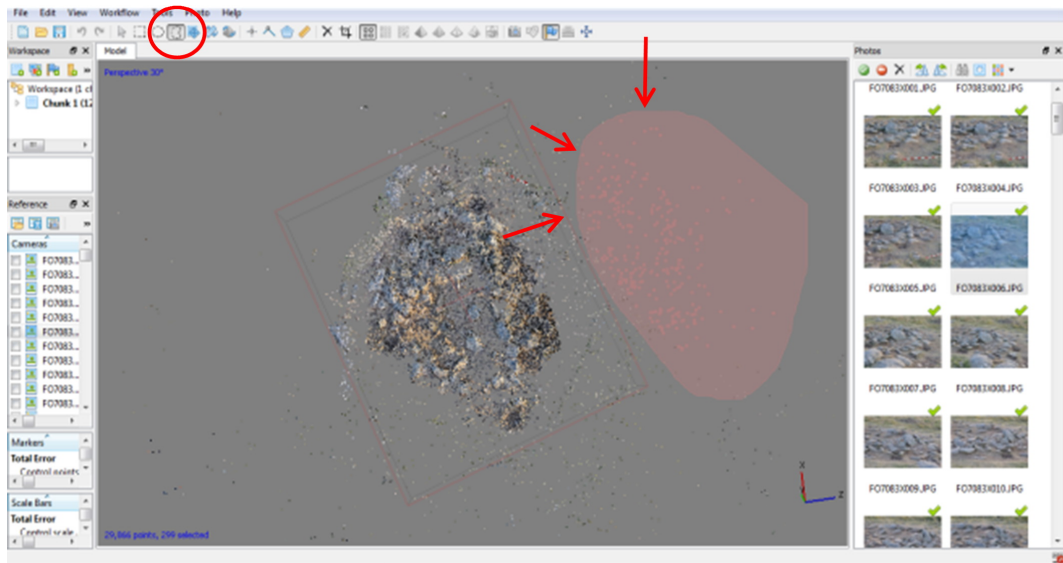


Figura 6. Procesamiento de los modelos 3D. Depuración de “nube de puntos escasa” obtenida por alineación de cámaras para M02 y espacio de trabajo en Agisoft PhotoScan. El círculo rojo indica el comando “selección” y las flechas indican el área de puntos seleccionados para suprimir.

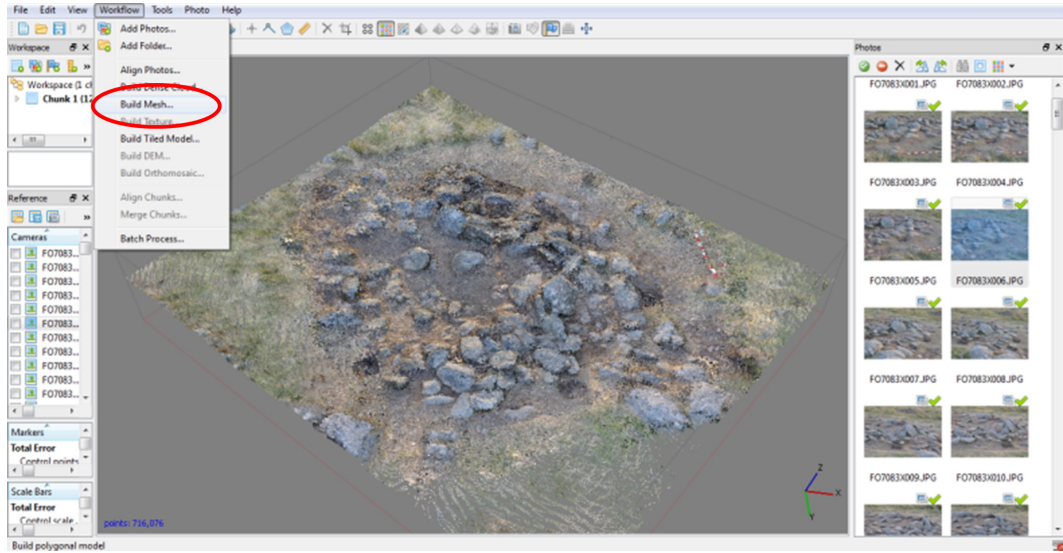


Figura 7. Procesamiento de los modelos 3D. “Nube densa de puntos” con referencia a color obtenida para M02 sobre la que se despliega la barra de trabajo donde se indica la opción “construir malla”.

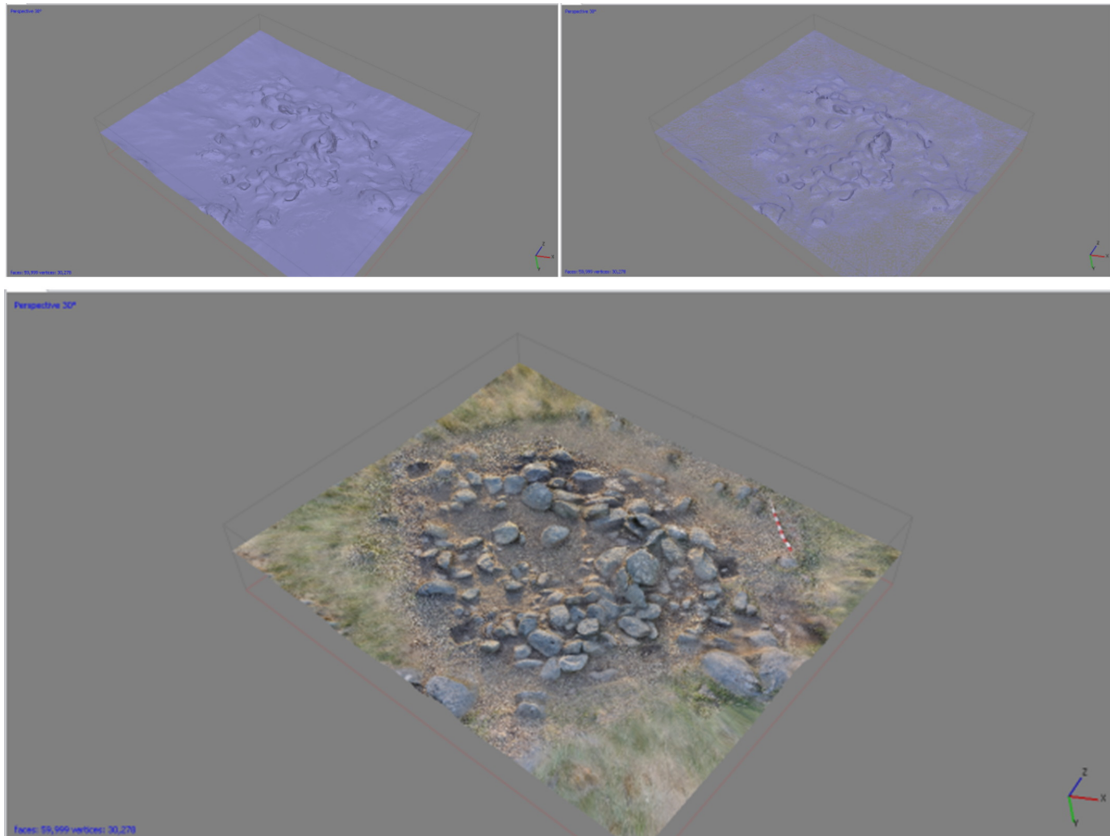


Figura 8. Visualización de geometrías para M02. *Arriba, de izquierda a derecha:* vista sólida y alámbrica del modelo 3D, respectivamente. *Abajo:* modelo 3D texturizado.

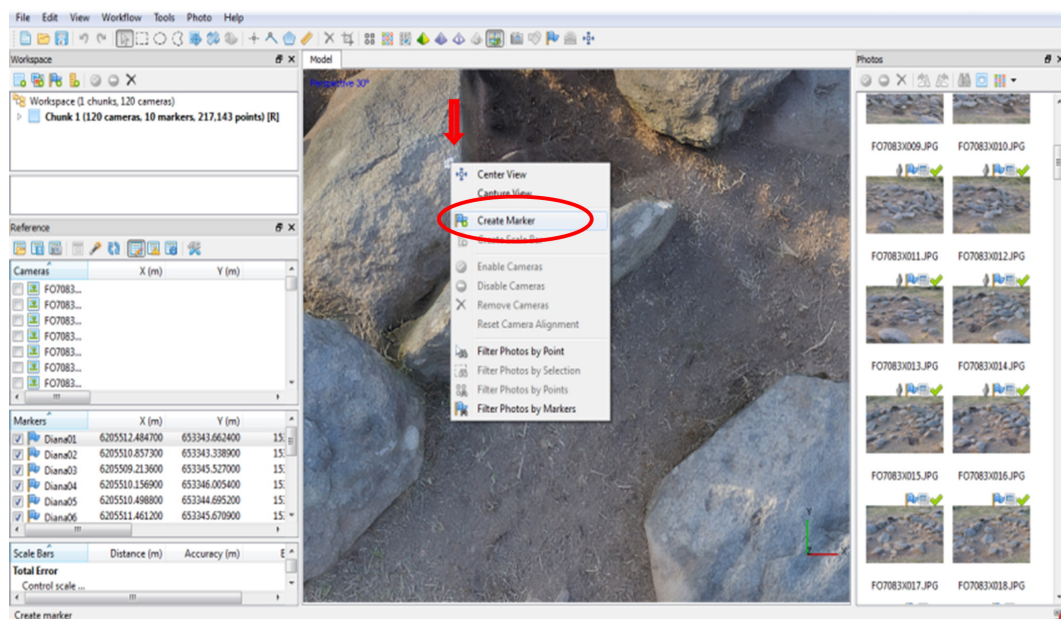


Figura 9. Proceso de georreferenciación de modelo 3D M02. Se indica sobre la imagen la creación de marcadores para cada punto registrado con estación total.

con las coordenadas de las referencias obtenidas por el levantamiento topográfico realizado con estación total. Se identificaron las dianas en el modelo 3D y se incorporaron las coordenadas espaciales a partir de marcadores (Figura 9). Con esta información, el modelo puede ser exportado en distintos formatos para su visualización y manipulación de acuerdo a los objetivos de investigación establecidos o a los requerimientos de usuario.

Escalado.- A partir del mismo sistema de marcadores se identificaron sobre los modelos 3D las referencias métricas correspondientes al jalón de 1 m posicionado en cada escena. De este modo, los modelos adquirieron referencias espaciales absolutas y fue posible realizar mediciones de alta precisión a partir de ellos (Figura 10).

5. Elaboración de ortoimágenes cenitales.

Se elaboró una ortofoto cenital a partir de cada uno de los modelos 3D correspondientes a las tres Fases operativas. Se seleccionó el comando “*Build orthomosaic*” en el menú de trabajo y se especificaron las coordenadas de georreferenciación de la ortoimagen. Se seleccionó la carpeta de destino, así como el formato (geo)TIFF de salida gráfica.

6. Elaboración de mapas planimétricos de la estructura. Dibujo vectorizado.

Las ortoimágenes fueron importadas en AutoCad[®], programa de diseño asistido. Se procedió al dibujo vectorial de la estructura sobre las ortoimágenes de



Figura 10. Resultados de incorporación de referencias métricas al modelo 3D de M02. *Izquierda:* detalle de toma de medidas sobre modelo 3D (las flechas indican la distancia tomada y la elipsis el resultado en cm). *Derecha:* vista del modelo 3D georreferenciado y su localización en la pendiente (las banderas azules indican los puntos de control).

planta de excavación. Se identificaron las UE en planta, de acuerdo a las definiciones de UE realizadas en campo.

7. *Elaboración de archivo interactivo para visualización de la información.*

Se realizó una plantilla en procesador de texto con información básica referente a las entidades registradas y sus metadatos. Se exportaron los resultados en formato PDF interactivo para facilitar la visualización por parte de cualquier usuario que desee extraer información a partir del modelo. La ficha contiene el modelo 3D escalado e interactivo con una barra de herramientas para la visualización (permite cambiar luces, colores, texturas para la interacción con aspectos métricos y semánticos de la entidad), vistas predeterminadas para facilitar la navegación, ortoimágenes y dibujos asociados. También presenta los metadatos de la elaboración del modelo 3D e información adicional.² Al poder abrirse con Acrobat Reader estándar (lector y visor de archivos PDF, disponible para su descarga en: <http://acrobat.adobe.com/la/es/acrobat/pdf-reader.html>), permite interactuar con el modelo sin necesidad de saber utilizar *software* específico de visualización 3D.

²Un ejemplo de ficha de modelo 3D puede descargarse de la página web del presente volumen.

Resultados

La aplicación de la técnica de fotogrametría digital permitió obtener diez modelos 3D de alta precisión de la estructura arqueológica en estudio. La estrategia de trabajo se ajustó a las directrices internacionales de documentación 3D (Denard (2009); IFVA 2011), que garantiza la transparencia de los procedimientos del proceso de registro, documentación e interpretación de los modelos.

Se obtuvieron 10 modelos 3D que registran distintos momentos del proceso de intervención arqueológica. Se realizaron dos modelos 3D para la Fase I de registro (M01 y M02), correspondientes al momento previo a la excavación. El primer modelo 3D se realizó a continuación de la limpieza de vegetación arbustiva del sector de la estructura. El segundo se realizó luego de retirado el tapiz vegetal, pero previo a la remoción de sedimentos (Figura 11). De la Fase II, de registro de plantas y perfiles en el proceso de excavación de acuerdo a las UE definidas en campo, se obtuvieron siete modelos (M03 a M09). Cada uno corresponde a un momento del proceso de excavación y se identifican las UE (Figura 12). Los modelos permitieron, además de la documentación de UE, realizar la deconstrucción del proceso de excavación orientada a la restitución de la estructura una vez finalizada la intervención. De la Fase III, se realizó un modelo 3D de la estructura ya restituida (M10) (Figura 13).

Como gráficos derivados de los modelos 3D se obtuvieron ortoimágenes y dibujos de detalle de planta (Figura 14). No se realizó planimetría para el primer modelo (M01) que conserva el tapiz vegetal. Se realizaron detalles de planta (Figura 15) y secciones de perfiles de excavación como apoyo al dibujo buscando aportar a la comprensión de los procesos de formación del sitio y reconocimiento de las UE definidas en excavación. Todos los modelos 3D y sus metadatos fueron incorporados a fichas PDF 3D para interactuar con ellos a partir de un programa informático de uso generalizado.

Evaluación de la técnica y conclusiones

La fotogrametría digital se presenta como una herramienta de relevancia en distintos niveles de la investigación arqueológica. La aplicación de esta técnica de registro gráfico ejemplifica la potencialidad de realizar documentaciones tridimensionales y geométricas de alta precisión a elementos o estructuras arqueológicas para análisis morfológico, espacial y semántico, en distintas escalas y resoluciones. Al mismo tiempo, facilita la elaboración de productos derivados de análisis (MDE, ortoimágenes, planimetrías de secciones, alzados y perfiles) y aporta elementos para potenciar la gestión patrimonial y su divulgación.

La fotogrametría, como técnica de documentación, permite en términos de tiempo y recursos, realizar registros rápidos y precisos durante el desarrollo de

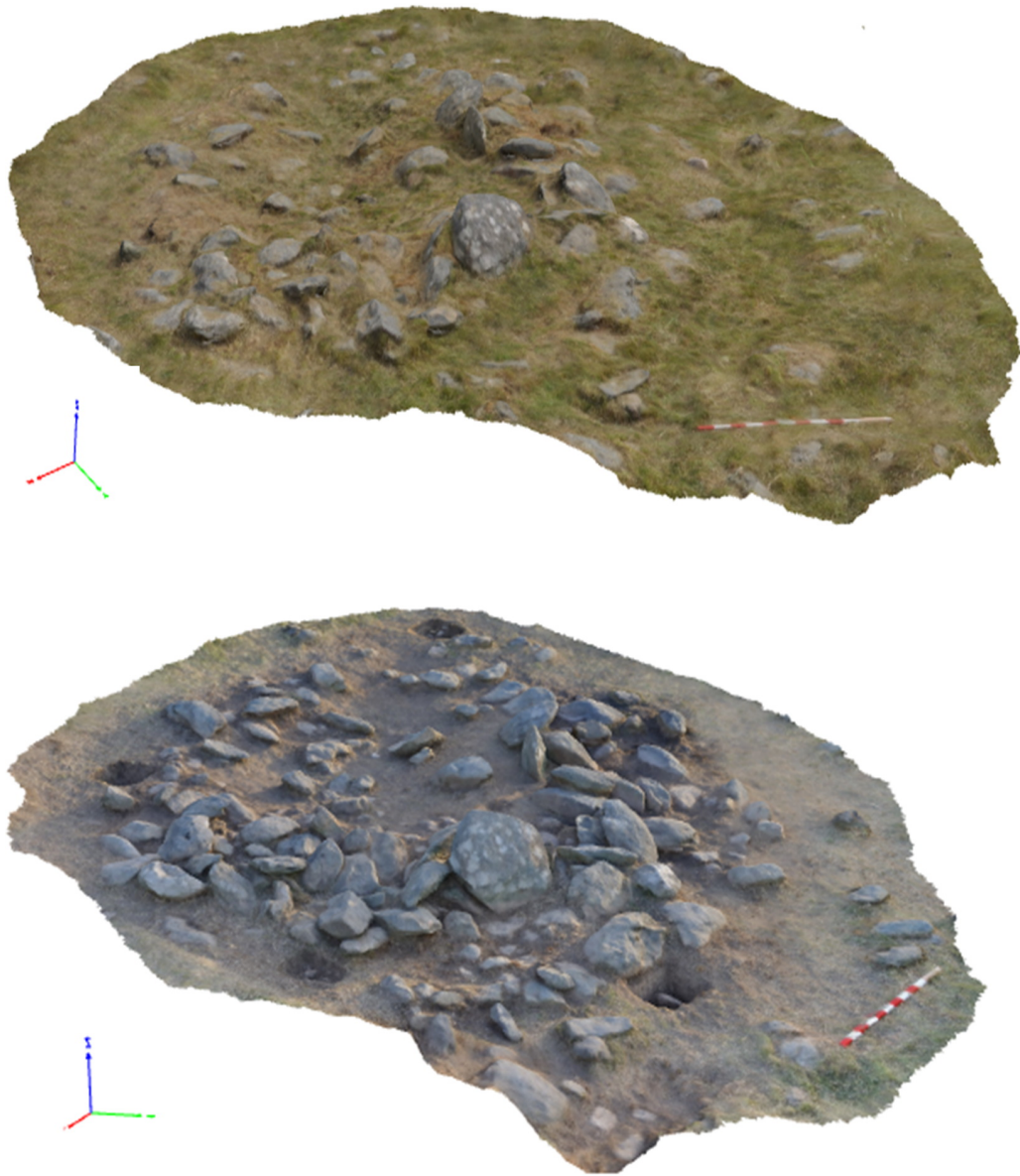


Figura 11. Vista general desde el Este de los modelos 3D obtenidos para la Fase I de registro fotogramétrico. *Arriba:* estructura con tapiz vegetal (M01). *Abajo:* estructura sin tapiz vegetal (M02).

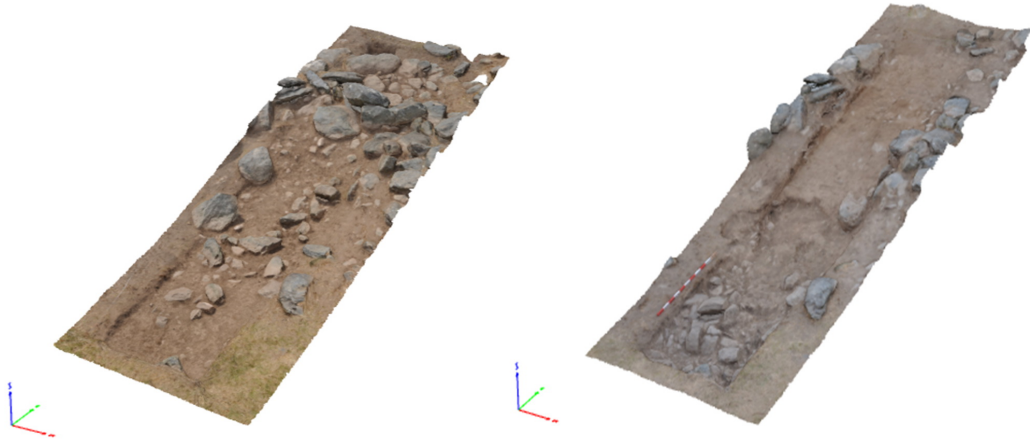


Figura 12. Vista general desde el Sureste de los modelos 3D obtenidos para la Fase II de registro fotogramétrico de plantas y perfiles de excavación. *Izquierda:* M03. *Derecha:* M08.

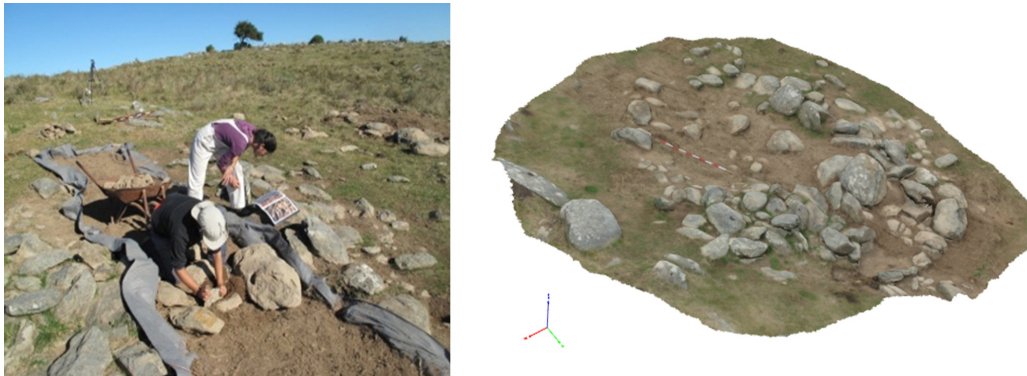


Figura 13. Fase III de registro correspondiente a la restitución de la estructura. *Izquierda:* proceso de restitución en el sitio Ester Chafalote (Fuente: Archivo LAPPU). *Derecha:* vista general del modelo 3D de la estructura restituida (M10).

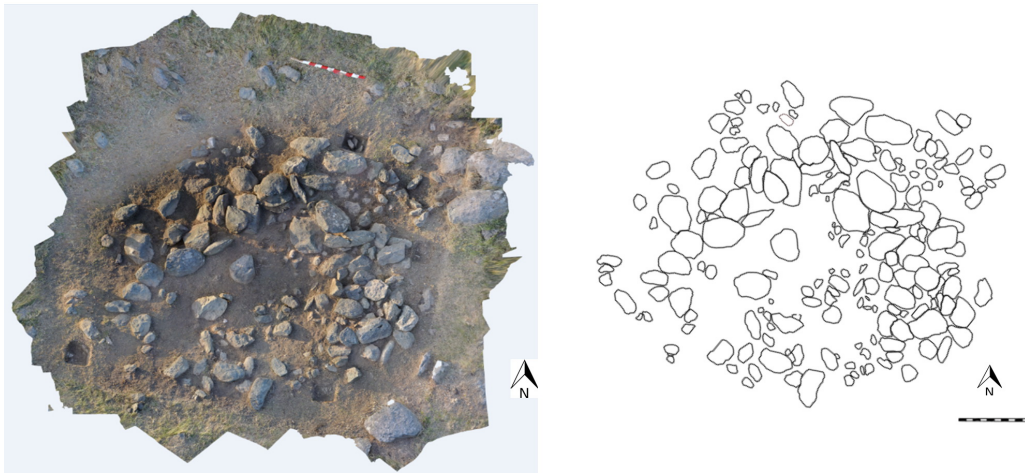


Figura 14. Productos gráficos obtenidos a partir del modelo 3D M02. *Izquierda:* ortomagen de planta. *Derecha:* dibujo de planta.

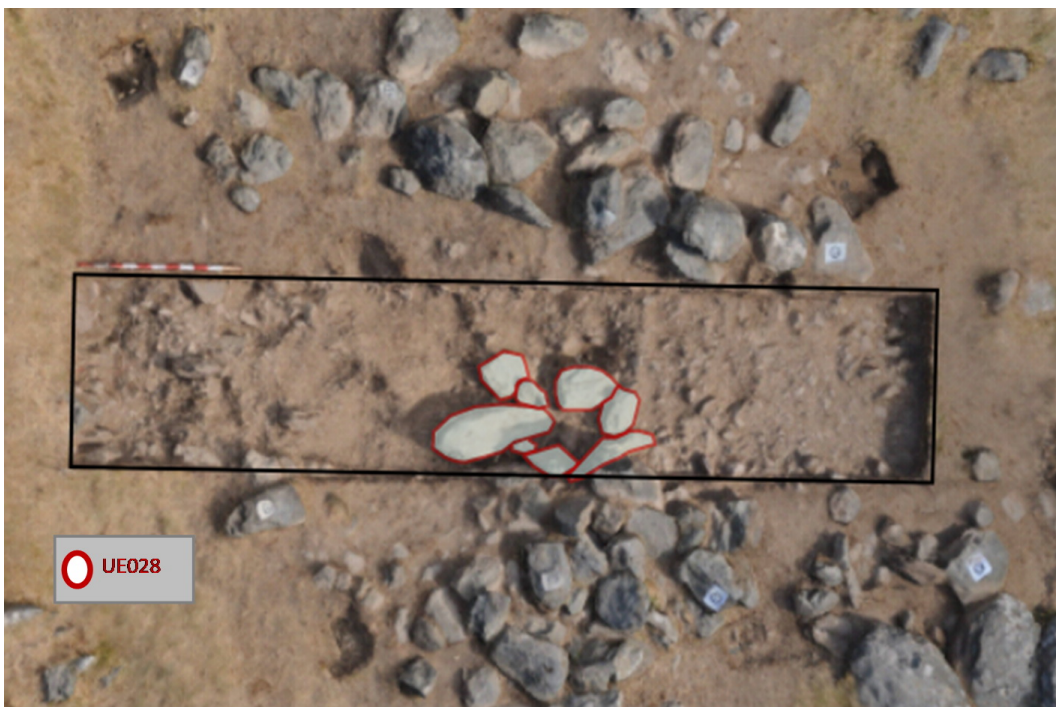


Figura 15. Producto gráfico obtenido a partir del modelo 3D M09. Vista de planta de excavación con dibujo de UE028.

los distintos procesos de la investigación. Con un entrenamiento básico en registro fotográfico, la técnica puede ser incorporada a los trabajos de prospección, excavación o laboratorio. Las formas de documentación permiten acompañar y optimizar con versatilidad los tiempos y ritmos de los procesos de trabajos en excavación. Además, en las tareas de campo, permiten la combinación con técnicas topográficas de registro y su incorporación a SIG, dinamizando el registro. Como contrapartida, la disponibilidad de *hardware* adecuado y *software* con licencia y actualizado es un elemento determinante para desarrollar trabajos de precisión.

La aplicación concreta de la técnica en el sitio Ester Chafalote (ITECH01) permitió construir un gran volumen de datos que representan una ventaja analítica para la investigación. Permite avanzar en el planteo de preguntas y elaboración de estrategias orientadas a la caracterización morfoestructural de la entidad en estudio. Los modelos 3D de alta precisión elaborados permitieron la visualización de la entidad arqueológica de forma completa, alcanzando distintos ángulos de representación y visión (algunos, como el cenital, hasta el momento solo accesible a partir de vehículos aéreos o uso de pértigas). Esto posibilita reconocer aspectos constructivos de todo el conjunto y escalas de resolución menores, que refieren a toma de decisiones en la selección del material (tamaños, formas, colores) y procesos técnicos de preparación de la piedra para su disposición en la estructura (posible canteado). Los modelos 3D pueden ser visualizados de diferente forma (mallado de polígonos, superficies con o sin texturas, nube de puntos) y se les puede aplicar haces de luz artificial para destacar y aislar rasgos específicos de interés. Esto permite robustecer los análisis y evaluar hipótesis reconstructivas vinculadas a los procesos de formación y desmoronamiento de la entidad y agentes actuantes.

Por otra parte, los modelos 3D permitieron obtener productos gráficos derivados para apoyar el análisis morfoestructural de la entidad y los procesos de formación del sitio. Los dibujos vectoriales realizados se presentan como una alternativa al dibujo técnico a mano alzada en campo. Se destacan por presentar alta precisión, posibilitando contrastar la subjetividad propia de las apreciaciones y selecciones del dibujante, y tienen un origen digital que facilita su almacenamiento y gestión. La documentación y caracterización de otros sitios con esta técnica permitirá adelantar en la elaboración de tipos constructivos para estas manifestaciones arqueológicas.

La aplicación de la técnica y su alta precisión posibilitó la preservación digital de la estructura en diferentes momentos del proceso de excavación. Esto fortaleció las tareas orientadas a la conservación del sitio a partir de la restitución de la entidad. La preservación digital de estas fases es un insumo de relevancia para monitorear la estructura arqueológica a largo plazo y permitirá evaluar aspectos vinculados a los procesos naturales y culturales de formación del sitio.

Orientado a la difusión, los modelos 3D elaborados presentan ventajas apreciables por sus posibilidades de visualización y poseen importante valor comunicativo y educativo. Se puede recrear el sitio, simular escenas en él, paseos virtuales, videos, entre otros aspectos. Permite contar con herramientas de socialización y divulgación integradas al trabajo en arqueología tanto para investigadores como para público general a partir del potencial de la técnica para la musealización virtual de colecciones digitales.

La rápida evolución de los métodos de adquisición de datos ha permitido la captura masiva de información espacial y una mayor masificación de su uso. La emergencia de la fotogrametría digital como herramienta de la investigación arqueológica hoy es incuestionable. Las características de estos productos multidimensionales permiten nuevas aproximaciones a los procesos de trabajo tradicionales de documentación y una gran efectividad en la captura y representación de distintas etapas del proceso de la investigación. Su aplicación en estudios analíticos contribuye a la acumulación de conocimiento arqueológico.

Agradecimientos

A la Prof. Carmen Curbelo por orientar la monografía de pasaje de curso que dio origen de este trabajo, por sus comentarios y sugerencias.

A mis compañeros del LAPPU. En especial a Camila Gianotti, Moira Sotelo y Cristina Cancela, por proporcionar los elementos necesarios para trabajar con la técnica en campo y en laboratorio.

A Raquel Pontet, compañera de Museología, por su motivación y apoyo para poder participar en las campañas de excavación.

Un agradecimiento especial a Óscar Marozzi, por su motivación y apoyo constantes, y por la lectura crítica de los borradores.

Referencias citadas

Agisoft LLC

2016. *Agisoft PhotoScan User Manual. Professional Edition, Version 1.2.*

Araújo, Orestes

1900. *Diccionario geográfico del Uruguay.* Montevideo: Imprenta Artística de Dornaleche y Reyes.

Bevan, Andrew, Xiuzhen Li, Marcos Martín-Torres, Susan Green, Yin Xia, Kun Zhao, Zhen Zhao, Shengtao Ma, Wei Cao y Thilo Rehren

2014. Computer vision, archaeological classification and China's terracotta Warriors. *Journal of Archaeological Science*, 49:249–254.

Bica, Carla

2016. *Registro gráfico en arqueología. Fotogrametría digital para el registro en excavación y restitución de estructuras: su aplicación en el sitio Ester Chafalote, Rocha*. Monografía inédita de técnicas de investigación en arqueología, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, Universidad de la República.

Blasco, Jimena

2013. Elaboración de modelos digitales tridimensionales de materiales arqueológicos cerámicos. Un aporte a la discusión sobre funcionalidad. *Anuario de Arqueología (FHCE-Udelar)*, 2013:149–181.

Capdepont, Irina

2013. *Arqueología de sociedades indígenas del litoral del Río Uruguay. Paisajes y ocupaciones humanas*. Alemania: Editorial Publicia.

Coelho, Luiz y Jorge Nunes

2007. *Fotogrametría digital*. Rio de Janeiro: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

de Reu, Jeroen, Gertjan Plets, Geert Verhoeven, Philippe De Smedt, Machteld Bats, Bart Cherretté, Wouter De Maeyer, Jasper Deconynck, Davy Herremans, Pieter Laloo, Marc Van Meirvenne y Wim De Clercq

2013. Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science*, 40:1108–1121.

Denard, Hugh

2009. La Carta de Londres para la visualización computarizada del Patrimonio Cultural. <http://www.londoncharter.org>. Consultado el 20 de setiembre de 2016.

Domingo, Inés, Valentín Villaverde, Esther López-Montalvo, José Luis Lerma y Miriam Cabrelles

2013. Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science*, 40:1879–1889.

Doneus, Michael, Geert Verhoeven, Martin Fera, Christian Brieese, Matthias Kucera y Wolfgang Neubauer

2011. From deposit to point cloud—A study of low-cost computer vision approaches from straightforward documentation of archaeological excavations. *Geoinformatics*, 6 (XXIIIrd International CIPA Symposium):81–88.

Evans, Thomas y Patrick Daly

2006. *Digital Archaeology. Bridging Method and Theory*. Nueva York: Routledge.

- Femenías, Jorge
1983. Amontonamientos artificiales de piedras en cerros y elevaciones de nuestro territorio. *Revista Antropológica (FHCE-Udelar)*, 1:13–17.
- Forte, Maurizio
2014. 3D Archaeology. New perspectives and challenges—the example of Çatalhöyük. *Journal of Eastern Mediterranean Archaeology and Heritage Studies*, 2:1–29.
- Gianotti, Camila y Moira Sotelo
2014. Paisajes construidos desde la Prehistoria. Lógicas de ocupación y uso del espacio por poblaciones indígenas en la transición tierras altas/tierras bajas. Informe proyecto I+D 2015–2017, Comisión Sectorial de Investigación Científica, Udelar.
- Harrower, Michael, Kathleen O’Meara, Joseph Basile, Clara Hickman, Jennifer Swerida, Ioana Dumitru, Jacob Bongers, Cameron Bailey y Edwin Fieldhouse
2014. If a picture is worth a thousand words... 3D modelling of a Bronze Age tower in Oman. *World Archaeology*, 46:43–62.
- International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)
1964. Carta internacional sobre la conservación y la restauración de monumentos y sitios. Venecia.
- International Forum of Virtual Archaeology (IFVA)
2011. Los principios de Sevilla. Principios Internacionales de Arqueología Virtual. <http://www.arqueologiavirtual.com>. Consultado el 20 de setiembre de 2016.
- Koutsoudis, Anestis, Blaz Vidmar, George Ioannakis, Fotis Arnaoutoglou, George Pavlidis y Christodoulos Chamzas
2014. Multi-image 3D reconstruction data evaluation. *Journal of Cultural Heritage*, 15:73–79.
- Lezama, Antonio
2004. *Guía arqueológica del Departamento de Colonia, Uruguay*. Montevideo: Linardi y Risso.
- Linder, Wilfried
2009. *Digital Photogrammetry. A Practical Course*. Berlín: Springer.
- Machado, Alfonso
2011. *Una aproximación hacia la topografía arqueológica a partir de los casos del sitio Los Indios y la península oeste*. Montevideo: Facultad de Humanidades

- y Ciencias de la Educación, Universidad de la República (Colección Avances de Investigación).
- Miñano, Ana, Francisco Fernández y José Luis Casabán
 2012. Métodos de documentación arqueológica aplicados en arqueología subacuática: el modelo fotogramétrico y el fotomosaico del pecio fenicio Mazarrón-2 (Puerto de Mazarrón, Murcia). *SAGuNTuM (Papeles del Laboratorio de Arqueología de Valencia)*, 44:99–109.
- Nikon Corporation
 2008. *Manual de usuario cámara digital D90*. Tokio.
- Olson, Brandon y William Caraher (Eds.) 2015. *Visions Of Substance. 3D Imaging in Mediterranean Archaeology*. Dakota del Norte: The Digital Press at The University of North Dakota.
- Orengo, Héctor
 2013. Combining terrestrial stereophotogrammetry, DGPS and GIS-based 3D voxel modelling in the volumetric recording of archaeological features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76:49–55.
- Plets, Gertjan, Geert Verhoeven, Dimitry Cheremisin, Ruth Plets, Jean Bourgeois, Birger Stichelbaut, Wouter Gheyle y Jeroen De Reu
 2012. The Deteriorating Preservation of the Altai Rock Art: Assessing Three-dimensional Image-based Modelling in Rock Art Research and Management. *Rock Art Research*, 29:1–18.
- Plisson, Hugues y Lydia Zotkina
 2015. From 2D to 3D at macro- and microscopic scale in rock art studies. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 2:102–119.
- Remondino, Fabio
 2010. Documentazione e Modellazione 3D di beni culturali. L'approccio multi-sensoriale e multi-risoluzione. *Archeomatica*, 1:8–12.
 – 2011. Heritage Recording and 3D Modeling with Photogrammetry and 3D Scanning. *Remote Sensing*, 3:1104–1138.
- Remondino, Fabio, Maria Spera, Erica Nocerino, Fabio Menna y Francesco Nex
 2014. State of the Art in High Density Image Matching. *The Photogrammetric Record*, 29:144–166.
- Shott, Michael
 2014. Digitizing archaeology: a subtle revolution in analysis. *World Archaeology*, 46:1–9.

Sotelo, Moira

2012. *Paisajes y Monumentalidad en la Prehistoria de Uruguay. Contribución al inventario de cairnes y vichaderos en las tierras altas del centro-norte uruguayo*. Tesis de maestría inédita, Universidad de Sevilla.

- 2014. Cairnes y vichaderos en la tierras altas de Uruguay. *Revista del Museo de Antropología (Universidad Nacional de Córdoba)*, 7:309–316.

Tornini, Oscar y Miguel Gavirondo

2012. Aplicación de tecnologías de escaneo topográfico láser 3D en arquitectura patrimonial. El caso de las ruinas jesuíticas “Calera de las Húerfanas”, Uruguay. XI Congreso Nacional y VIII Latinoamericano de Agrimensura. <http://www.caleradelashuerfanas.org/wp-content/uploads/2012/09/Relevamiento-3D-capilla.-Gavirondo.pdf>. Consultado el 27 de junio de 2016.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

1958. Recomendación que define los Principios Internacionales que deberían aplicarse a las Excavaciones Arqueológicas. Nueva Delhi.

Verhoeven, Geert, Devi Taelman y Frank Vermeulen

2012. Computer Vision-Based Orthophoto Mapping of Complex Archaeological Sites: the Ancient Quarry of Pitaranha (Portugal–Spain). *Archaeometry*, 54:1114–1129.