

# **El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación.**

Gonzalo Moyano.

Cita:

Gonzalo Moyano (2017). *El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. Comechingonia*, 21 (2), 333-351.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/eascc/69>

ARK: <https://n2t.net/ark:/13683/pzay/Bpo>



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons.  
Para ver una copia de esta licencia, visite  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>.

*Acta Académica es un proyecto académico sin fines de lucro enmarcado en la iniciativa de acceso abierto. Acta Académica fue creado para facilitar a investigadores de todo el mundo el compartir su producción académica. Para crear un perfil gratuitamente o acceder a otros trabajos visite: <https://www.aacademica.org>.*

## COMITÉ EDITORIAL

### EDITOR-DIRECTOR

EDUARDO BERBERIÁN (CEH-CONICET-Córdoba)

### CO-EDITOR

SEBASTIÁN PASTOR (CITCA-CONICET-Catamarca)

### CONSEJO ASESOR

JESÚS ADÁNEZ PAVÓN (UNIVERSIDAD COMPLUTENSE-Madrid)

J. ROBERTO BÁRCENA (INCIHUSA-CONICET-UNCU-Mendoza)

LUIS F. BATE (ENAH-México)

LUIS BORRERO (IMHICIHU-CONICET-Buenos Aires)

FELIPE CRIADO BOADO (INCIPIIT-CSIC-Santiago de Compostela)

LEONARDO GARCÍA SANJÚAN (U. DE SEVILLA-Sevilla)

GUILLERMO MENGONI GOÑALONS (ICA-UBA-CONICET-Buenos Aires)

AXEL NIELSEN (INAPL-CONICET-Buenos Aires)

GUSTAVO POLITIS (INCUAPA-CONICET-UNCPB-Olavarría)

MYRIAM TARRAGÓ (M. ETNOGRÁFICO-UBA-CONICET-Buenos Aires)

HUGO YACOBACCIO (ICA-UBA-CONICET-Buenos Aires)

### EVALUADORES PARA ESTE NÚMERO

Vanesa Bagolini (CONICET-Universidad Maimónides); Laura Bastouren (CONICET-FCNyM-UNLP); Adriana Blasi (CIC-FCNyM-UNLP); María F. Bugliani (CONICET-Museo Etnográfico "J.B. Ambrosetti"-UBA); Irina Capdepon Caffa (Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay); Canela Castro (CONICET-FCNyM-UNLP); Marisa Censabella (IIGHI-UNNE-CONICET); Pablo Cruz (CISOR-CCT-CONICET-Salta); Ingrid de Jong (CONICET, FFyL-UBA, FCNyM-UNLP); Laura del Puerto (CURE-Universidad de la República, Montevideo, Uruguay); Gustavo Flensburg (INCUAPA-CONICET, FACSO-UNCPBA); Valeria Franco Salvi (CONICET- Instituto de Humanidades-UNC); Andrés Gascue (CURE-Universidad de la República, Montevideo, Uruguay); Naiquen Ghiani Echenique (FCNyM-UNLP); Adolfo Gil (IANIGLA-CONICET, UNCu); Hugo Inda (CURE-Universidad de la República, Montevideo, Uruguay); Débora Kligmann (CONICET-IA-FFyL-UBA); Irene Lantos (CONICET-UMYMFOR, FCEyN-UBA); Fabián Letieri (Museo Histórico Provincial de Rosario); Jordi López Lillo (Universidad de Alicante, España); Daniel Loponte (CONICET-INAPL); Gabriela Lorenzo (FCNyM-UNLP); Leandro Luna (CONICET-Museo Etnográfico "J.B. Ambrosetti"-UBA); Mario Maldonado (FCN e IML-UNT-CONICET); Marisa Malvestitti (Universidad Nacional de Río Negro); María Marschoff (CONICET- Instituto de Humanidades-UNC); Agustina Massigoge (INCUAPA-CONICET, FACSO-UNCPBA); Pablo Messineo (INCUAPA-CONICET, FACSO-UNCPBA); Enrique Moreno (CITCA-CONICET-UNCa);

Bruno Mosquera (CONICET-FCNyM-UNLP); Ivana Ozán (CONICET-Departamento de Ciencias Geológicas-UBA); María C. Páez (CONICET-FCNyM-UNLP); Carolina Píccoli (CONICET-FHyA-UNR); Virginia Pineau (IA-FFyL-UBA); Luciano Prates (CONICET-FCNyM-UNLP); André Ramos Soares (Departamento de Historia-UFSM-Santa María-Brasil); Guadalupe Romero (CONICET-INAPL); Julio Cezar Rubin de Rubin (Pontificia Universidad Católica de Goiás-Brasil); Gisela Sario (IDACOR-CONICET-UNC); Constanza Taboada (ISES-CONICET, FCN e IML-UNT); Diego Villar (CONICET-FFyL-UBA)

Dirección postal: Miguel C. del Corro 308, (5000) Córdoba - Argentina  
Correo electrónico: [revistacomechingonia@gmail.com](mailto:revistacomechingonia@gmail.com)  
Web: <http://www.comechingonia.com>

## Índice

<i>Presentación</i>	3
 <b>Dossier: “Diez años de encuentros y discusiones sobre la arqueología del Nordeste de Argentina y áreas vecinas”.</b>	
1. Presentación.	5
Por: <i>Juan C. Castro, Rodrigo Costa Angrizani, Violeta Di Prado y Carola Castiñeira Latorre</i>	
2. A orillas de la Laguna de Lobos: el sitio arqueológico Techo Colorado (microrregión del Río Salado Bonaerense).	15
Por: <i>Paula Escosteguy, Miranda Rivas Gonzalez, M. Victoria Fiel y Mariana Vigna</i>	
3. Primeros estudios arqueológicos y sedimentológicos de un contexto estratigráfico en el interior entrerriano. El sitio Laguna del Negro 1.	47
Por: <i>Eduardo Apolinaire y Carola Castiñeira Latorre</i>	
4. Estudio de la secuencia sedimentaria de la localidad arqueológica Cerros de Boari (Guaquaychú, Entre Ríos).	75
Por: <i>Juan C. Castro y Carola Castiñeira Latorre</i>	
5. Análisis integral del sistema tecnológico cerámico del sitio arqueológico Guayacas (Paysandú, Uruguay).	99
Por: <i>Irina Capdeponet Caffa</i>	
6. Reconstrucción de vasijas asociadas al contexto funerario del sitio Los Tres Cerros 1 (Delta Superior del Río Paraná).	125
Por: <i>Canela Castro</i>	
7. Evaluación de los procesos de formación de sitio desde la alfarería: el caso de Laguna de los Gansos (Dpto. Diamante, Entre Ríos).	145
Por: <i>Carolina Silva</i>	
8. Características morfológicas de vasijas procedentes del sitio Los Bananos (Corrientes, Argentina).	175
Por: <i>Carolina Piccoli y Mariela Carvallo</i>	
9. Nuevos resultados de los estudios osteológicos del sitio Los Tres Cerros 1 (Delta Superior del Río Paraná).	201
Por: <i>Clara Scabuzzo y M. Agustina Ramos van Raap</i>	
10. Análisis de isótopos estables en cerámica arqueológica del Río Salado bonaerense.	229
Por: <i>M. Isabel González y M. Magdalena Frère</i>	
11. Marcadores de etnicidad y agencia en las pautas alimenticias. Su abordaje desde la Zooarqueología Histórica.	255
Por: <i>M. Belén Colasurdo</i>	
12. Restos arqueobotánicos del sitio arqueológico Fuerte Sancti Spiritus, Santa Fe, Argentina.	275
Por: <i>M. de los Milagros Colobig, Alejandro Zucol, Mariana Brea, M. Jimena Franco, Esteban Passeggi, Gabriel Cocco e Ibán Sánchez Pinto</i>	

13. Chanáes: aculturación y continuidad. Por: <i>Diego Bracco</i>	305
--	-----

### ***Artículos***

1. El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. Por: <i>Gonzalo Moyano</i>	333
2. Tecnología textil histórica en contextos rituales prehispánicos. Antofagasta de la Sierra, Catamarca, Noroeste Argentino. Por: <i>M. Soledad Martínez</i>	351
3. Gestión de la materia prima y estrategias de talla durante el Holoceno medio en Tandilia oriental. El caso de Cueva Tixi (Buenos Aires, Argentina). Por: <i>Juan P. Donadei</i>	379

### ***Nota***

4. Análisis preliminar de las representaciones rupestres de Casa de Piedra de Roselló, Aldea Beleiro, Sudoeste de Chubut. Por: <i>Lucía Gutiérrez y Analía Castro Esnal</i>	401
--	-----

<b><i>Normas editoriales</i></b>	413
----------------------------------	-----

## EL USO DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL COMO REGISTRO COMPLEMENTARIO EN ARQUEOLOGÍA. ALCANCES DE LA TÉCNICA Y CASOS DE APLICACIÓN.

## THE USE OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AS A COMPLEMENTARY RECORD IN ARCHAEOLOGY. SCOPE OF THE TECHNIQUE AND CASES OF APPLICATION.

Gonzalo Moyano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Estudios Materiales de la Historia. Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba. Pabellón España, Ciudad Universitaria, (5000) Córdoba, Argentina, [gonzalexmoyano@gmail.com](mailto:gonzalexmoyano@gmail.com)

Presentado: 09/06/2017 - Aceptado: 14/11/2017

### Resumen

*En las últimas décadas el campo disciplinar de la Arqueología se ha visto ampliado por un corpus de técnicas y métodos que incluyen el uso de Tecnología Digital, modificando y proponiendo herramientas novedosas al quehacer arqueológico. Sin embargo, en Argentina y Latinoamérica, exceptuando el uso de Sistemas de Información Geográfica, la Arqueología Digital aún no ha permeado demasiado en las prácticas de la disciplina. En este contexto, el presente artículo analiza los alcances y limitaciones de la Fotogrametría Digital, la cual permite la construcción de modelos en tres dimensiones de los objetos relevados aprehendiendo sus propiedades geométricas. Para ello, se presenta la aplicación de la técnica en tres casos que representan diversas especificidades y problemáticas de registro, descripción y representación (i.e. superficies de excavación, artefactos individuales y espacios extensos). El procesamiento de las imágenes con las que se construyeron los modelos se realizó con el programa especializado Agisoft Photoscan©, el cual lleva a cabo un proceso semiautomático de emparejamiento de las imágenes y la construcción de geometría. A partir de este trabajo pudimos observar el potencial de este software y conocer el error milimétrico de los modelos construidos.*

**Palabras clave:** arqueología digital, virtualización, metodología, difusión

### Abstract

*In the last decades, Digital Archaeology has become an important field in Archaeology. The advance of this techniques and methods constitute an exceptional set of tools for the archaeological research in the main academic centers. However, the rapid advance in the use of these techniques occurs unevenly, postponing its development in many regions of the world, for example, Latin America. In this paper we analyze the use of Digital Photogrammetry in Argentinean Archaeology,*

*trying to define its scope and limitations. This technique allows to construct models in three dimensions from conventional photographs of almost any type of objects. We present three cases of applications: a model of an excavated enclosure, the recording of a lithic statuette and the creation of an orthophotography of an excavated enclosure. The images were processed with the specialized software AgisoftPhotoscan©, which runs in semiautomatic processes. With this work we were able to recognize the software potential and the metric errors of the built models.*

**Keywords:** *digital archaeology, virtualization, methodology, diffusion*

### **A modo de introducción**

La profusión y el alcance masivo que ha adquirido la tecnología digital en las últimas décadas han dado de lleno en las prácticas científicas tradicionales, sumergiéndolas en amplios debates en torno al uso de las diferentes técnicas que esta misma permite. En este marco, al interior de las ciencias se discute el reemplazo o complementariedad de herramientas tradicionales y novedosas, argumentando a favor de una u otra a partir de conceptos como efectividad, rapidez, reflexión, entre otros (Fernández Díaz 2016).

La Arqueología no ha quedado exenta a esta problemática. La multiplicación de programas informáticos especializados, el acceso a equipos digitales y la formación de recursos humanos en tecnología digital, ha llevado a un número creciente de aplicaciones en la praxis de los equipos arqueológicos con resultados más que satisfactorios.

En este trabajo presentamos la técnica de Fotogrametría Digital, que se ha empezado a utilizar en el campo disciplinar arqueológico de nuestro país en la última década, sin alcanzar aún el grado de difusión que ha tenido en los principales centros académicos de Estados Unidos o Europa. Esta técnica creada a mediados del s. XIX, ha tenido importantes aplicaciones a lo largo de su desarrollo, destacándose el levantamiento de edificios (en disciplinas como Ingeniería y Arquitectura) y para registrar la topografía a partir de fotografías aéreas. En la Arqueología, la Fotogrametría se ha empelado en actividades de registro en campo o en laboratorio dando óptimos resultados y constituyéndose como una alternativa más que viable (Chaquero Ballester 2016).

Se presenta entonces el funcionamiento y los resultados obtenidos mediante el software especializado Agisoft Photoscan©, en tres tipos de aplicaciones: el registro en la excavación de un recinto en el Sitio Yerba Buena (valle de El Bolsón, Catamarca, Argentina), el relevamiento en laboratorio de una estatuilla lítica, procedente del sitio Carapunco 2 (norte del valle de Tafí, Tucumán), y la creación de una ortofoto de un recinto intervenido en el Sitio Mortero Quebrado (valle de Anfama, Provincia de Tucumán).

## Conociendo la técnica

La fotogrametría es una técnica que permite obtener las propiedades geométricas de un objeto o una superficie a partir de fotografías. Según la *American Society for Photogrammetry and Remote Sensors* (Sociedad Americana de Fotogrametría y Sensores Remotos, 2012), la fotogrametría es “el arte, ciencia y tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y el medio, a través del proceso de registro, medición e interpretación de imágenes y patrones de energía radiante electromagnética y otros fenómenos” (ASPRS 2012, Documento electrónico, traducción del autor).

Esta técnica, creada por el arquitecto alemán Meydenbauer en el año 1859, comenzó a utilizarse para el levantamiento de edificios (Sánchez Sobrino 2006). Sin embargo, sin desconocer la fase analógica de esta técnica, así como su aplicación en la fotografía aérea, y lejos de hacer una historia de su evolución, en este caso nos centraremos en destacar las utilidades del uso de la Fotogrametría Digital en investigaciones arqueológicas y presentar tres tipos de aplicaciones.

Esta variante de la técnica consiste en la creación de modelos tridimensionales y ortofotografías a partir de fotografías digitales y un *software* informático especializado. La Fotogrametría permite no solo reconstruir los objetos deseables, sino aprehender sus propiedades geométricas, lo que constituye una interesante forma de registro para las intervenciones arqueológicas y para el análisis y conservación de objetos. Una de las particularidades de esta metodología, es que podemos conocer de una forma rápida y precisa el error que posee el modelo, y de esta manera corregirlo. Además de estas prestaciones, esta técnica permite generar presentaciones gráficas de alta calidad y con gran potencia informativa sobre las características volumétricas de los objetos, aspectos que resultan difíciles de plasmar en representaciones bidimensionales.

La base para desarrollar la fotogrametría es el principio de pares estereoscópicos que, al igual que la visión humana, posibilita obtener una sensación de profundidad a partir de dos puntos de vista diferentes de un mismo objeto (figura 1). Así, este principio permite construir modelos tridimensionales a partir de imágenes en dos dimensiones. Por ello la aplicación de la Fotogrametría requiere necesariamente de un buen relevamiento fotográfico que constituirá la base sobre la que se realizará un proyecto fotogramétrico.

El registro de las propiedades geométricas de sitios arqueológicos y todos sus componentes (estructuras, rasgos, excavaciones, superficies, estratos, paneles con arte, artefactos y ecofactos, entre otros) y su representación en un sistema de coordenadas tridimensionales se vuelve imprescindible, especialmente si consideramos las cualidades



destructivas de muchas de las técnicas que aplicamos (Jones, 2004). Mediante la fotogrametría podemos estudiar las características topográficas de un sector de la superficie terrestre con vestigios de actividades humanas, reconstruir todos los pasos de una excavación, registrar superficies de estratos naturales, cortes verticales, diseños de planta o rasgos arquitectónicos, así como analizar objetos en el laboratorio (Dueñas García, 2014; Martínez, 2015). Además, como resultado del procesamiento de esa información podemos obtener representaciones gráficas de alta calidad y fidelidad con gran potencia expositiva, constituyendo un rol fundamental en la divulgación y exposición de información referida a la práctica y materialidad arqueológica.



Figura 1. Vista de pares estereoscópicos. Unidad Yerba Buena 3.  
Sitio Yerba Buena, valle del Bolsón, provincia de Catamarca. Foto: Gonzalo Moyano.

Por último, una de las ventajas fundamentales de esta técnica es que implica inversiones de tiempo y recursos relativamente bajas, especialmente en la toma de datos en el campo, aspecto que resulta fundamental en esa instancia de trabajo.

### 3D-2D-3D: creando el registro tridimensional

El primer paso para crear un modelo fotogramétrico es realizar un relevamiento fotográfico en el que se registre la totalidad del objeto que se busca representar. Esta etapa del trabajo debe garantizar un solape entre las fotografías, de entre un 60 y 80%, a fin de que entre las mismas existan puntos de apoyo en común (o puntos homólogos) sobre los que trabaje el *software*. Para esto, deben tenerse en cuenta cuatro variables importantes:

La primera consiste en establecer un sistema de puntos de control. Este sistema, como su nombre lo indica, se conforma por una serie de puntos, y distancias entre ellos, creados con el fin de aportar medidas conocidas al modelo que buscamos realizar. Para ello pueden establecerse puntos de diferente naturaleza (Charquero Ballester *et al.* 2012: 83) o

simplemente utilizar escalas convencionales (jalones de campo); la precisión en la geometría del modelo fotogramétrico dependerá del sistema de escalas que dispongamos, es decir, de lo efectivo que sea el sistema métrico de referencia que hayamos usado para captar las propiedades geométricas de lo relevado. Cabe aclarar que la precisión de los modelos tiene que ver con el fin con el que diseñemos los mismos, ya que no es lo mismo aquellos modelos contruidos desde disciplinas donde se requieran mayores grados de precisión (como en algunas ramas de Ingeniería) que en Arqueología.

La segunda variable es la calibración de la cámara que usaremos para tomar las fotografías a fin de evitar errores entre las tomas. La calibración es “un proceso en el que tratan de determinarse los parámetros geométricos (distancia focal y coordenadas del punto principal) y físicos (parámetros de la distorsión radial y tangencial) de la toma de fotografías” (Sánchez Martín *et al.*, 2004). Este esfuerzo por controlar estos parámetros tiene por finalidad minimizar las posibles distorsiones que producen los elementos de la cámara cuando toma la fotografía. Hay diferentes formas de calibrar las cámaras fotográficas, en las que no ahondaremos ya que gracias a la capacidad del *software* que utilizamos no fue necesario hacerlo. Los procesos semiautomáticos del *software* empleado, se basan en la técnica ‘Structure-from-Motion’, que “difiere fundamentalmente de la fotogrametría convencional, en que la geometría de la escena, las posiciones de la cámara y la orientación se resuelven automáticamente sin la necesidad de especificar a priori, una red de objetivos que tienen posiciones 3-D conocidas” (Westoby *et al.*, 301. Traducción del autor). Es decir, que muchos de los errores que se buscarían evitar a partir de la calibración, son resueltos a partir de un proceso automático que se basa en una base de datos de características homólogas en las diferentes fotografías tomadas durante el relevamiento.

La tercera implica a las condiciones de luminosidad en las que se relevará el objeto, buscando que las mismas sean lo más homogéneas posibles evitando contrastes de luz sobre el mismo. En este sentido, todo dependerá de la cámara fotográfica con que trabajemos: en el caso de utilizar una en la que podamos controlar parámetros como calidad ISO, apertura de diafragma y velocidad de obturación, deberemos calibrarlos para evitar que las fotografías salgan “quemadas” (exceso de luz) o con poca luminosidad. Para el caso de trabajar con una cámara en la que no podamos controlar dichos parámetros (como pueden ser las cámaras de teléfonos celulares), deberemos buscar optimizar las condiciones externas (elección de momentos del día para realizar el relevamiento, distancia al objeto). Estos cuidados técnicos no son imprescindibles para realizar un modelo fotogramétrico pero sí lo son si queremos garantizar un modelo óptimo y evitar en gran medida la pérdida de información (Aparicio Resco *et al.* 2014).

La cuarta es el control de la distancia focal, es decir, la distancia entre el centro de proyección de la cámara y la imagen focal (el objeto relevado). Para realizar el relevamiento debemos mantener la misma distancia focal en todas las tomas. De este control dependerá

la escala en la que se tome la imagen, el campo de imagen que se captará y, la homogeneidad de estas distancias. En este punto, es necesario garantizar la sensación de foco al sacar las imágenes. Este cuidado no sólo dependerá de la distancia focal sino también con los parámetros de luminosidad detallados anteriormente.

Es imprescindible remarcar que el relevamiento constituye una etapa de máxima importancia para la aplicación de la técnica. Es durante este paso que debemos garantizar la buena calidad de las diferentes tomas fotográficas, ya que los errores o distorsiones que obtengamos en esta etapa del trabajo se incrementarán y potenciarán en los pasos subsiguientes. En este sentido, resulta muy importante controlar los parámetros antes explicados durante este proceso.

La metodología utilizada fue diferente en los tres casos que presentaremos. En el primer caso, el las tomas para reconstruir el objeto fueron realizadas a pie<sup>2</sup>, para el segundo se utilizaron fotografías de archivo y para el tercero las fotografías se tomaron a partir de pértiga. En el primer y último modelo, se buscó garantizar un solape de alrededor del 60% entre las diferentes tomas que se hicieron desde diferentes puntos. Este proceso se llevó a cabo mediante cámaras digitales sin calibrar y en modo manual para controlar la entrada de luz en todas las fotos. Además se tomaron medidas de los objetos relevados que sirven para escalar los modelos durante su construcción.

Para la realización de los modelos se utilizó el *software* o programa informático Agisoft Photoscan©. Este programa de patente rusa, se especializa en el manejo de imágenes para la construcción de modelos tridimensionales y ortofotografías y permite exportar los mismos para su manipulación en aplicaciones populares de visualización (como los Adobe©) y su integración a Sistemas de Información Geográfico. Este *software* permite desarrollar una serie de pasos que transforman un conjunto de fotografías en un modelo fotogramétrico.

1. Ordenar las fotos: En esta etapa el programa integra todas las fotografías que serán la base del modelo. Para ello, identifica los puntos homólogos entre las diferentes tomas, creando puntos a partir del color de los píxeles de las fotografías. De este paso resulta una nube de puntos abierta que será la base de nuestro modelo.
2. Nube de puntos densa: A partir de la nube de puntos abierta, el *software* incluye en el modelo puntos particulares de cada fotografía que no reconoce como homólogos. Este paso aporta mayor densidad al modelo (figura 2).

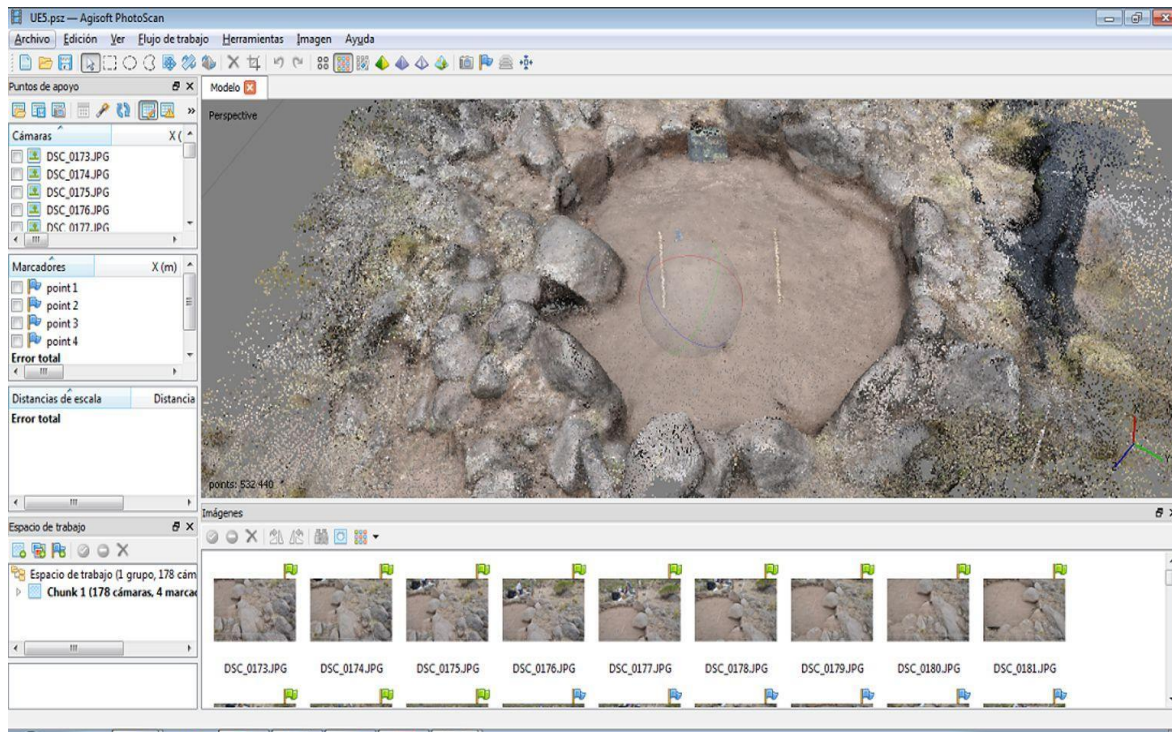


Figura 2. Captura de pantalla, vista de nube de puntos densa de la Unidad Estratigráfica N° 5 del Recinto Yerba Buena 3 en el programa Agisoft Photoscan®.

3. Creación de la malla y aplicación de textura: En este paso, el programa realiza una triangulación entre los puntos obtenidos tras la construcción de la nube de puntos densa creando una malla (figura 3) que será el modelo geométrico. Sobre la misma se aplicará la textura registrada en las fotografías. Así, quedará un modelo tridimensional del objeto relevado.
4. Modelo fotogramétrico: Un modelo tridimensional no es necesariamente fotogramétrico. Como dijimos antes, lo particular de un modelo fotogramétrico es la posibilidad de aprehender las propiedades geométricas del objeto que se representa. Entonces, para que nuestro modelo posea esa virtud, es necesario escalarlo con puntos que hayamos establecido durante el relevamiento. Utilizando el *software* se ajusta la medida conocida en las diferentes fotografías y se optimiza la coherencia interna existente entre los diferentes elementos del modelo, de esta manera pasamos de tener un modelo tridimensional a uno fotogramétrico.



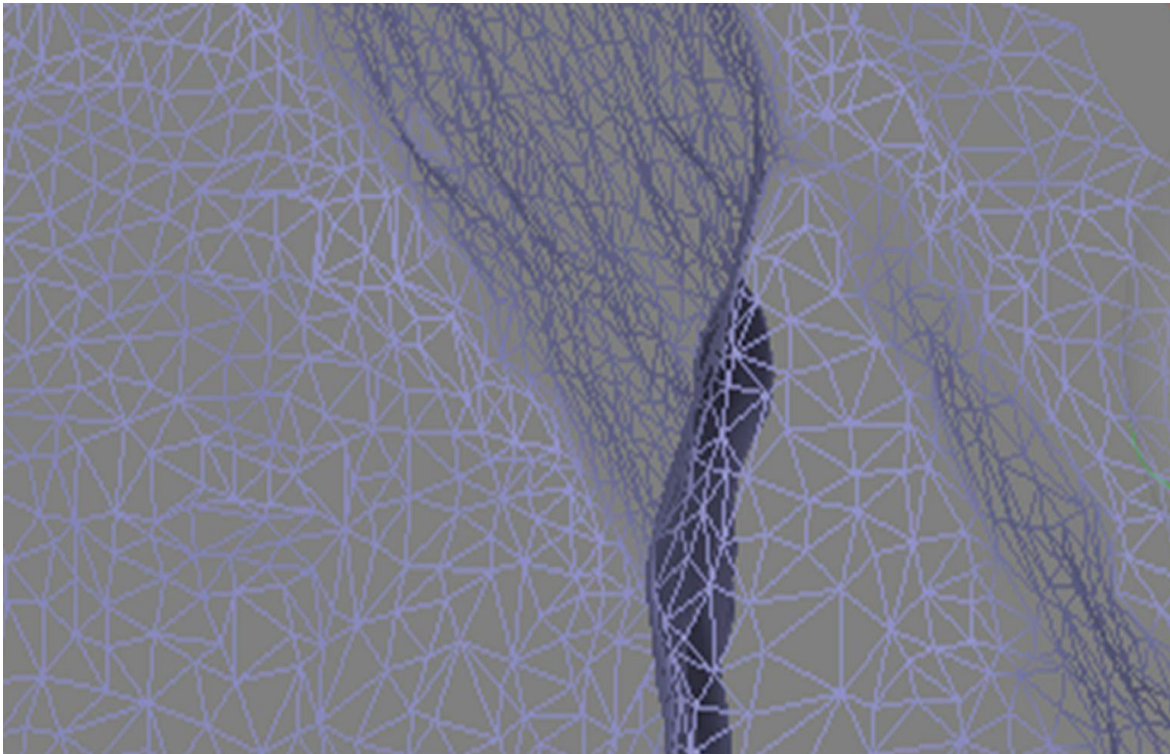


Figura 3. Captura de pantalla, vista de una “malla de alambre” de un modelo realizado a través del programa Agisoft Photoscan®, correspondiente a la creación de la ortofotografía para el sitio MQ U02 R34.

### Casos de aplicación

El primer caso que presentamos se trata del registro de la Unidad Estratigráfica N°5 del Recinto Yerba Buena 3 (figura 4, YB3). Dicho recinto forma parte del Sitio Yerba Buena ubicado en la quebrada homónima, en el valle del Bolsón, provincia de Catamarca. Este yacimiento arqueológico es estudiado por el equipo que dirigen los Doctores Korstanje y Quesada. La particularidad de este sitio es la notable continuidad de infraestructura agrícola representada por melgas y canchones de cultivo, y unidades habitacionales aisladas que se enmarcan en este paisaje productivo formado durante el primer milenio (Quesada y Maloberti 2015).

YB3 es una de estas unidades asociadas a estructuras agrícolas y se encuentra constituida por un único recinto de planta circular de cinco metros de diámetro. El muro perimetral podía reconocerse desde la superficie, por lo cual pudimos estimar las dimensiones aproximadas de la estructura antes de comenzar a excavar.



Figura 4. Recinto Yerba Buena 3, unidad estratigráfica n° 5. Foto Gonzalo Moyano.

La excavación del recinto fue realizada en área abierta siguiendo las unidades estratigráficas y tomando información tridimensional de los diferentes rasgos, como así también de los artefactos recuperados. Mediante esta intervención se registraron 60 unidades estratigráficas entre estratos, interfaces y rasgos. Para este caso, utilizamos la técnica de Fotogrametría con el fin de construir un modelo en el que pudiera apreciarse la totalidad del lienzo interno del muro; por ello, algunos elementos (por ej., algunos artefactos en superficie) no tienen la resolución necesaria para captar su geometría.

El relevamiento que llevamos a cabo se realizó sobre la superficie de la Unidad Estratigráfica 5, a pie, y dio como resultado la obtención de 182 fotos que captan la totalidad de la superficie excavada junto al muro perimetral y parte de la superficie externa al recinto. Las fotos se tomaron a una distancia de un metro aproximadamente siguiendo el perímetro del recinto y desde los vértices de la cuadrícula creada, en este último caso, las mismas convergían hacia el centro del recinto. Para dotar de medidas al modelo, se tomaron como puntos de referencia dos jalones de un metro cada uno, que se encontraban apoyados sobre la superficie de la UE.



El segundo caso que presentamos, es una estatuilla lítica (figura 5). La misma representa, desde una perspectiva, 2 batracios en cópula y, desde la perspectiva inversa, la cabeza de un camélido. Esta pequeña pieza de arte fue hallada en superficie en un sector extramuros del área de concentración de estructuras arqueológicas Carapunco 2, ubicado en el sector norte del valle de Tafi (Franco Salvi *et al.*, 2014). Carapunco 2 (Ca2), de 42 ha, emplazado sobre un glacis cubierto, está conformado por 23 unidades residenciales distanciadas entre sí, y un complejo sistema de estructuras agrícolas las cuales fueron construidas y utilizadas principalmente durante el primer milenio d. C.



Figura 5. Estatuilla zoomorfa recuperada en el sitio Carapunco 1, en el Valle de Tafi.

Foto: Julián Salazar.

En este caso, al igual que lo hacen Aparicio Resco *et al.* (2014), buscamos realizar un modelo a partir de fotografías de registro convencional en el laboratorio pero que no formaban parte ni tenían los cuidados de un relevamiento fotogramétrico. Es decir, se utilizaron fotos con diferentes parámetros y luces. Esto lo hicimos para corroborar las

posibilidades que nos brindaba el programa Agisoft Photoscan® para realizar modelos a partir de fotografías de archivos (Ávido y Vitores 2015).

El último caso de aplicación que presentamos es la obtención de una ortofotografía de la Unidad Estratigráfica N°107 del recinto R34 de la unidad U2 del Sitio Mortero Quebrado (MQ02), valle de Anfama, provincia de Tucumán (figura 6). El sitio consiste en siete unidades arquitectónicas distribuidas a lo largo de 500 m. de cumbre, a unos 2400 msnm.



Figura 6. Vista del Recinto 34 de la Unidad 2 del Sitio Mortero Quebrado.

Foto: Julián Salazar y Gonzalo Moyano.

MQ U02 R34 es un recinto de planta circular de 6 m. de diámetro adosado al recinto central del conjunto estructural. La intervención, consistió en la excavación del sector sur del mismo, subdividiéndose en cuadrantes, sudoeste y sudeste, para facilitar el registro de los artefactos.

La excavación siguió las unidades estratigráficas según el método de Harris (1991), registrando todos los artefactos recuperados tomando datos tridimensionales. En total se observaron nueve unidades incluyendo el muro (UE 104), cuatro estratos de relleno y un



fogón (UE107) del cual se extrajo una muestra de material vegetal carbonizado, datada en  $1725 \pm 20$  (AA107302). Las dimensiones del recinto no fueron fáciles de conocer desde la superficie ya que el muro perimetral se encontraba en partes derrumbado por debajo de la primera unidad estratigráfica excavada. Este derrumbe fue registrado (UE 105) y posteriormente levantado, dejando a la vista un lienzo interno bien definido y una puerta que conecta esta estructura con el recinto central de la unidad, probablemente un patio.

En este caso, buscamos obtener una ortofotografía sobre la cual se pueden confeccionar planos de planta e incluso integrar las coordenadas tridimensionales de los hallazgos y rasgos internos identificados en un entorno CAD. Asimismo, quisimos probar la posibilidad de crear una ortofotografía con un bajo número de imágenes, por lo que del total de fotografías tomadas a la UE106 durante el relevamiento (que fueron 110 tomas con y sin pértiga), se utilizaron las 20 correspondientes a las tomas con pértiga de 4 metros de altura. Como escala referencial se tomaron dos jalones convencionales de 0,10 metros, referencia que parecerá pequeña respecto a la estructura que se busca modelizar; sin embargo, la utilización de estos jalones y la ausencia de un sistema de puntos de control en los márgenes del modelo, así como la precisión obtenida posteriormente, no hacen más que reafirmar la efectividad de los procesos semiautomáticos con los que trabaja el *software* utilizado.

## Resultados obtenidos

Teniendo en cuenta los objetivos perseguidos para los tres casos de aplicación podemos decir que los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios. En los tres casos, se pudieron obtener modelos precisos con relativamente pocas tomas (ver Tabla 1). A este nivel hay que destacar las posibilidades que brinda el software Agisoft Photoscan© para realizar modelos sin calibrar la cámara o utilizando fotografías de archivo.

Para la aplicación de la técnica para la construcción del modelo del recinto YB3 se realizó un relevamiento fotogramétrico que resultó en un total de 182 fotografías de dicho recinto. El procesamiento de las imágenes fue más lento que en los casos que siguen y se debió trabajar con menor calidad debido a la potencia de manejo de imágenes que posee el ordenador con el que realizamos los modelos; sin embargo, como podemos ver en la tabla, el grado de error no es significativo. Entonces, el emparejamiento de imágenes, realizado con una precisión media, resultó en una nube de puntos abierta de 424.204. La nube de puntos densa que tomó de base a dicha nube de puntos abierta se logró a partir de la identificación de 532.440 puntos. En este caso, en oposición a los otros dos modelos, la diferencia en la cantidad de puntos entre ambas nubes fue mucho menor. La malla creada a partir de la nube de puntos densa consta de 28.666 caras o polígonos que resultarían de la

triangulación de 14.599 vértices. Finalmente, el error conocido para este modelo es de 0,0001689 metros.

Como explicitamos con anterioridad, la inclusión del modelo de la estatuilla lítica encontrada en el sitio Carapunco 2, busca mostrar el potencial que posee el programa informático que utilizamos para trabajar con fotografías que no fueron tomadas en un relevamiento fotogramétrico. En este caso, utilizamos 37 fotografías de archivo, tomadas en laboratorio. El procesamiento de estas imágenes dio los siguientes resultados: la orientación de las fotos resultó en una nube de puntos abierta de 5.743 puntos, utilizando el filtro de alta precisión que brinda el programa. Esta nube de puntos abierta fue complementada a través de la creación de la nube de puntos densa realizada con calidad media, que consta de 310.573. A partir de esta última nube de puntos se creó una malla de 180.000 polígonos o caras, resultantes de la triangulación de 90.002 vértices. Finalmente, pudimos saber que el error que tiene este modelo respecto a la estatuilla, es de 0,0001542 metros.

El proceso para la obtención de la ortofoto de MQU02 R34 requirió la construcción de un modelo fotogramétrico previo, realizado a partir de 20 fotografías. En este caso, el proceso de orientación de fotos que realiza el programa, arrojó una cantidad de 76.530 puntos de referencia, obtenidos a través de la opción de "alta precisión". La nube de puntos densa constó de 461.072 puntos, obtenidos mediante una calidad baja debido al poco poder de procesamiento del ordenador con el que se realizó. La malla creada mediante la triangulación de los puntos de la nube de puntos densa, resultó en 30.383 vértices que posibilitaron crear 59.999 polígonos. Mediante las escalas que conformaron el sistema métrico de respaldo y el informe que construye el programa, pudimos determinar que el error de este modelo fue de 0,0001375 metros.

### **A modo de cierre**

Luego de observar los casos de aplicación de la técnica como complemento del registro convencional en Arqueología, podemos ver que la misma aporta herramientas novedosas para registrar y reproducir la geometría de sitios y los objetos que busquemos estudiar, así como también ayuda a crear entornos de divulgación no convencionales en los que los resultados expuestos poseen un mayor dinamismo y una mejor llegada a un público que interactúa cotidianamente con TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación).

En la experimentación en los tres casos reseñados pudimos reconocer tres grandes fortalezas de la técnica. En primer lugar, la posibilidad que brinda de conocer de una manera simple los errores que tienen los modelos como representaciones de lo relevado. Contar con resultados precisos a través de una técnica basada en procesos semiautomáticos y tener la

posibilidad de volver una y otra vez a los modelos, resulta una solución sumamente práctica a los problemas que pueden surgir en la interpretación de los sitios durante el trabajo de campo en sí y que están vinculados a elementos más subjetivos (dureza de sedimentos, secuencia estratigráfica, identificación de los límites de rasgos arquitectónicos, etc.).

	<b>YB3</b>	<b>Estatuilla</b>	<b>Ortofoto</b>
Cantidad de fotografías	182	37	20
Puntos de referencia (Nube de puntos abierta. Medida en puntos)	Precisión Media 424.204	Precisión Alta 5.743	Precisión Alta 76.530
Nube de puntos densa. (Medida en puntos)	Calidad Media 532.440	Calidad Media 310.573	Calidad Baja 461.072
Malla (Medida en polígonos)	Calidad Baja Caras: 28.666 Vértices: 14.599	Calidad Alta Caras: 180.000 Vértices: 90.002	Calidad Media Caras: 59.999 Vértices: 30.383
Error (en metros)	0,0001689	0,0001542	0,0001375

Tabla 1. Datos obtenidos durante la construcción de los modelos.

En segundo lugar, observamos que la técnica es flexible para enfrentar algunos problemas de registro, y que permite obtener resultados favorables ante distintas situaciones. Las posibilidades de exportar los modelos a otros entornos como SIG o CAD nos permiten integrar los resultados en otro tipo de análisis más allá de un mero registro tridimensional. En este sentido, cabe decir que es a partir de la combinación con otros *softwares* especializados en el diseño, procesamiento y manejo de información geográfica, cuando los modelos fotogramétricos encuentran su aplicación más rica para el trabajo arqueológico.

Finalmente, cabe destacar el bajo coste material, tanto en términos de dinero como de tiempo que se necesita para realizar los modelos, ya que el equipo necesario consta de una máquina fotográfica y ordenadores con capacidad media en la manipulación de imágenes, a los que la mayoría de equipos de investigación tienen acceso.

Llegados a este punto, y a modo de cierre, quisiéramos dar nuestra opinión sobre el uso de las tecnologías digitales en esta disciplina que en su desarrollo histórico ha vivido más tiempo sin ellas que con ellas. Creemos que la aplicación y el uso del registro y trabajo digital en el quehacer de la Arqueología como práctica científica brindan enormes beneficios de los que dimos cuenta, no solo para el análisis de datos o contextos sino también para la divulgación del conocimiento científico. Sin embargo, es este último el que preocupa y sobre el que no queremos dejar de reflexionar. El construir modelos precisos o divulgar los resultados de una forma más dinámica no garantizan un mayor conocimiento o interpretación del objeto de estudio. Al contrario, pueden hacernos caer en una banalización de la disciplina y del uso de las técnicas. Por esto mismo, sostenemos que no se trata de incorporar o reemplazar técnicas solo por la efectividad que puedan aportar en el registro (ver la dicotomía rapidez-reflexión, Fernández Díaz, 2016), sino que deben complementarse con la construcción de conocimiento, reflexionando y siendo críticos con el objeto, y deben ser vías para interpretaciones más sofisticadas de los contextos y prácticas pretéritas. Después de todo, y haciéndonos eco de Acuto (2013), la práctica arqueológica interpela diversas subjetividades entre las cuales se encuentra la nuestra, como una importante herramienta para interpretar e imaginar los modos de vida de las sociedades pasadas.

*Agradecimientos:* quiero agradecer profundamente a Julián Salazar, amigo y director, quien me empujó a escribir y acompañó la producción de este artículo en todas sus etapas. Agradezco también a Mariana Maloberti por permitirme aplicar esta técnica en el marco del trabajo de campo para su doctorado. En tercer lugar, al Consejo Interuniversitario Nacional por el otorgamiento de la beca al proyecto “Dinámicas de construcción del paisaje y estrategias de reproducción campesina en el Valle de Anfama, Pcia. de Tucumán”. Este estudio se enmarca en el proyecto subsidiado por SECyT (UNC) “Paisajes centrífugos, articulación de comunidades aldeanas y reproducción doméstica en el primer milenio d.C. en el Piedemonte de las Cumbres Calchaquíes (Tucumán, Argentina)” (2016-2017).

## Notas

<sup>1</sup> Este trabajo constituye parte del avance metodológico dentro del plan del trabajo estipulado para el proyecto “Dinámicas de construcción del paisaje y estrategias de reproducción campesina en el Valle de Anfama, Pcia. de Tucumán”, financiado por la Beca “Estímulo a las Vocaciones Científicas” del Consejo Interuniversitario Nacional” durante los años 2015-2017.

<sup>2</sup> Las modalidades mediante las cuales se realiza el relevamiento depende de los objetivos que se persigan y de las dimensiones del objeto relevado. La importancia que en este sentido han cobrado los drones en los últimos años se debe a la posibilidad que brindan estas herramientas para integrar mayores dimensiones en menor tiempo. La relevancia que tiene la utilización de los mismos puede notarse al leer el Tomo 16 N°2 de “The Society for

American Archaeology Record" (2016), que está dedicada exclusivamente al tratamiento de este tema.

### **Bibliografía citada**

Acuto, F.

2013. ¿Demasiados paisajes?: múltiples teorías o múltiples subjetividades en la Arqueología del Paisaje. *Anuario de Arqueología* 5: 31-50.

American Society for Photogrammetry and Remote Sensors

2012 Disponible en: <http://www.asprs.org/About-Us/What-is-ASPRS.html>

Aparicio Resco, P.; Carmona Barrero, J.; Fernández Díaz, M. y P. Martín Serrano

2014 "Fotogrametría involuntaria": rescatando información geométrica en 3D de fotografías de archivo. *Virtual Archaeology Review* 5(10): 11-20.

Ávido, D. y M. Vitores

2015 El archivo fotográfico como fuente para la reconstrucción tridimensional. En *Arqueometría Argentina, Metodologías Científicas aplicadas al Estudio de los Bienes Culturales: Datación, Caracterización, Prospección y Conservación*, A. Pifferetti e I. Dosztal (eds), pp. 223-232. Aspha Ediciones, Buenos Aires.

Charquero Ballester, A.

2012 Práctica y usos de la Fotogrametría Digital en Arqueología. *Documentos de Arqueología y Patrimonio Histórico. Revista del Máster Universitario en Arqueología Profesional y Gestión integral del Patrimonio* 1: 139-157.

Charquero Ballester, A. y J. López Lillo

2012 Registro tridimensional acumulativo de la secuencia estratigráfica. Fotogrametría y SIG en la intervención arqueológica de lo Boligni (Alacant). *Virtual Archaeology Review* 3(5): 81-88.

Dueñas García, M.

2014 Registro Arqueológico en 3D mediante la Fotogrametría de Rango Corto. San Luis, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Fernández Díaz, M.

2016 Reflexiones sobre la aplicación de tecnologías al trabajo arqueológico y la divulgación científica del patrimonio. *La Linde. Revista Digital de Arqueología Profesional* 6: 64-78.

Franco Salvi, V.; Salazar, J. y E. Berberían

2014 Paisajes persistentes, temporalidades múltiples y dispersión aldeana en el valle de Tafi (provincia de Tucumán, Argentina). *Intersecciones en Antropología* 15: 307-322.

Greco, C. y G. Ojeda

2016 Generación de modelos 3D mediante UAVS con fines geoarqueológicos y geomorfológicos. Valle de Santa María, Catamarca, Argentina. En *Actas del XVII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, pp. 3289-3295. Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán.

Harris, E.

1991 *Principios de Estratigrafía Arqueológica*. Crítica, Barcelona.

Jones, A.

2004 *Archaeological Theory and Scientific Practice*. Cambridge University Press, Cambridge.

Martínez, J.

2015 Fotogrametría digital: un complemento en el registro arqueológico dentro del Proyecto Arqueológico La Quemada (2013-2014). Instituto Nacional de Antropología e Historia. Disponible en: [http://aztlan.inah.gob.mx:1135/patrimonio\\_cultural/pdf/14289636792.pdf](http://aztlan.inah.gob.mx:1135/patrimonio_cultural/pdf/14289636792.pdf)

Quesada, M. y M. Maloberti

2015 Continuidades en la construcción del paisaje agrario entre los Períodos Formativo y de Desarrollos Regionales en el oeste de Catamarca (siglos I a XV). En *Racionalidades Campesinas en los Andes del Sur. Reflexiones en torno al Cultivo de la Quinua y otros Vegetales Andinos*, P. Cruz, R. Joffre y T. Winkel (eds.), pp. 139-165. Editorial de la Universidad Nacional de Jujuy, San Salvador de Jujuy.

Sánchez Martín, N.; Arias Pérez, B.; González Aguilera, D. y J. Gómez Lahoz

2004 Análisis aplicado de métodos de calibración de cámaras para usos fotogramétricos. Trabajo presentando en el VIII Congreso Nacional de Topografía y Cartografía, Madrid.

Sánchez Sobrino, J.

2006 *Introducción a la Fotogrametría*. Universidad Nacional de San Juan, San Juan.

Society for American Archaeology

2016 The Society for American Archaeology Record. Vol. 16(2).

Westoby, M.; Brasington, J.; Glasser, N.; Hambrey, M. y J. Reynolds

2012 "Structure for motion" photogrammetry: a low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology* 179(15): 300-314.