



FOTOGRAMETRÍA SFM APLICADA A LA DETERMINACIÓN TAXONÓMICA DE RESTOS ARQUEOFAUNÍSTICOS

SFM PHOTOGRAMMETRY APPLIED TO TAXONOMIC DETERMINATION OF ARCHAEOFAUNA REMAINS

Gabriela Lorenzo^a , Luciano López^{b,e} , Reinaldo A. Moralejo^{c,e,*} , Luis M. del Papa^{d,e} 

^a Laboratorio de Análisis Cerámico, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Calle 64 y 120, La Plata (1900), Argentina. gabriela.lorenzo@live.com

^b Instituto de Recursos Minerales, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Calle 64 y 120, La Plata (1900), Argentina. lopezluciano@hotmail.com

^c División Arqueología, Museo de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, La Plata (1900), Argentina. reinaldomoralejo@yahoo.com.ar

^d Cátedra de Anatomía Comparada, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Calle 64 y 120, La Plata (1900), Argentina. loesdelpapa@hotmail.com

^e Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

Lo más destacado:

- Se presenta una evaluación de la utilidad de modelos fotogramétricos de elementos óseos como material de referencia para el análisis arqueofaunístico.
- La técnica fotogramétrica SfM permite obtener una adecuada reproducción de la geometría y morfología de los elementos óseos.
- Los modelos 3D presentan una amplia ventaja en contraposición a las guías osteológicas (2D) tradicionalmente utilizadas para la determinación anatómica y sistemática de los especímenes.

Resumen:

En los últimos años, la fotogrametría se ha ido incorporando en el trabajo arqueológico no sólo por sus ventajas técnicas, sino también para reemplazar métodos mucho más costosos. El objetivo del presente trabajo es demostrar la utilidad de los modelos 3D realizados a partir de la fotogrametría digital como material de referencia para análisis arqueofaunísticos. Particularmente, realizamos modelos 3D de cuatro elementos de un camélido (*Lama glama*) con el propósito de presentar las ventajas de los modelos 3D en contraposición a las guías osteológicas (2D) usualmente utilizadas para la determinación anatómica y sistemática de los especímenes. En este trabajo se generaron los modelos virtuales 3D a partir de la solución fotogramétrica y de visión por computador *structure from motion multi-view stereo* (SfM-MVS), la cual permite establecer la ubicación espacial (X,Y,Z) de puntos registrados en las imágenes. Un avance significativo en la técnica fue el uso de algoritmos que permiten un flujo de trabajo semiautomático para la producción del modelo 3D. Por otra parte, se seleccionaron a modo de ejemplo cinco especímenes arqueológicos fragmentarios de camélidos para comparar los modelos 3D realizados con los atlas 2D de camélidos usualmente utilizados. Los resultados 3D obtenidos han demostrado ser más eficientes que los métodos de documentación tradicional 2D. La incorporación de la nueva tecnología SfM-MVS puede aportar mejores resultados en la medida que produce información integral del elemento óseo con gran precisión geométrica y detalle, y no solo fotografías o dibujos desde diferentes ángulos. La posibilidad de contar con diversas vistas en el modelo 3D nos facilitó la determinación de los especímenes arqueológicos.

Palabras clave: fotogrametría digital; arqueología virtual; modelado 3D; zooarqueología; camélidos

Abstract:

Photogrammetry has recently been incorporated into archaeological research, replacing much more expensive techniques while still generating high resolution results. This technique converts two dimensional (2D) images into three-dimensional (3D) models, allowing for the complex analysis of geometric and spatial information. It has become one of the most used methods for the 3D recording of cultural heritage objects. Among its possible archaeological uses are: digitally documenting an archaeological dig at low cost, aiding the decision-making process (Dellepiane et al., 2013); spatial surveying of archaeological sites; 3D model generation of archaeological objects and digitisation of archaeological collections (Adami et al., 2018; Aparicio Resco et al., 2014; Cots et al., 2018; Iturbe et al., 2018; Moyano, 2017).

* Corresponding author: Reinaldo A. Moralejo, reinaldomoralejo@yahoo.com.ar



The objective of this paper is to show the applicability of 3D models based on SfM (Structure from Motion) photogrammetry for archaeofauna analyses. We created 3D models of four camelid (*Lama glama*) bone elements (skull, radius-ulna, metatarsus and proximal phalange), aiming to demonstrate the advantages of 3D models over 2D osteological guides, which are usually used to perform anatomical and systematic determination of specimens.

Photographs were taken with a 16 Megapixel Nikon D5100 DSLR camera mounted on a tripod, with the distance to the object ranging between 1 and 3 m and using a 50mm fixed lens. Each bone element was placed on a 1 m tall stool, with a green, high contrast background. Photographs were shot at regular intervals of 10-15°, moving in a circle. Sets of around 30 pictures were taken from three circumferences at vertical angles of 0°, 45° and 60°. In addition, some detailed and overhead shots were taken from the dorsal and ventral sides of each bone element. Each set of dorsal and ventral photos was imported to Agisoft Photoscan Professional. A workflow (Fig. 4) of alignment, tie point matching, high resolution 3D dense point cloud construction, and creation of a triangular mesh covered with a photographic texture was performed. Finally the dorsal and ventral models were aligned and merged and the 3D model was accurately scaled. In order to determine accuracy of the models, linear measurements were performed and compared to a digital gauge measurement of the physical bones, obtaining a difference of less than 0.5 mm.

Furthermore, five archaeological specimens were selected to compare our 3D models with the most commonly used 2D camelid atlas (Pacheco Torres et al., 1986; Sierpe, 2015). In the particular case of archaeofaunal analyses, where anatomical and systematic determination of the specimens is the key, digital photogrammetry has proven to be more effective than traditional 2D documentation methods. This is due to the fact that 2D osteological guides based on drawings or pictures lack the necessary viewing angles to perform an adequate and complete diagnosis of the specimens. Using new technology can deliver better results, producing more comprehensive information of the bone element, with great detail and geometrical precision and not limited to pictures or drawings at particular angles. In this paper we can see how 3D modelling with SfM-MVS (Structure from Motion-Multi View Stereo) allows the observation of an element from multiple angles. The possibility of zooming and rotating the models (Figs. 6g, 6h, 7d, 8c) improves the determination of the archaeological specimens.

Information on how the 3D model was produced is essential. A metadata file must include data on each bone element (anatomical and taxonomic) plus information on photographic quantity and quality. This file must also contain the software used to produce the model and the parameters and resolution of each step of the workflow (number of 3D points, mesh vertices, texture resolution and quantification of the error of the model). In short, 3D models are excellent tools for osteological guides.

Keywords: photogrammetry; virtual archaeology; 3D modelling; zooarchaeology; camelids

1. Introducción

En los últimos años, la fotogrametría digital se ha incorporado y extendido en el ámbito de la arqueología, no sólo por sus ventajas técnicas, sino también por generar resultados de alta resolución capaces de reemplazar a técnicas mucho más costosas como puede ser el uso de la luz estructurada, los escáneres 3D y el LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Dentro de sus principales aplicaciones podemos considerar: levantamiento y documentación a gran escala, ampliación y mejoramiento de las técnicas de documentación y representación (por ejemplo, el levantamiento de plantas de una excavación arqueológica, la reproducción virtual de arte parietal), el levantamiento espacial de sitios arqueológicos, la recreación virtual de objetos y arquitectura compleja, la digitalización de colecciones, el uso de modelos 3D para la conservación y el mantenimiento del patrimonio, divulgación de resultados, entre otros (Adami, Fassi, Fregonese, & Piana, 2018; Aparicio Resco, Carmona Barrero, Fernández Díaz, & Martín Serrano, 2014; Cots, Vilà, Diloli, Ferré, & Bricio, 2018; Dellepiane, Dell'Unto, Callieri, Lindgren, & Scopigno, 2013; Iturbe, Cachero, Cañal, & Martos, 2018; Moyano, 2017). Estos usos suponen una ventaja significativa en relación a las técnicas tradicionales de registro arqueológico (dibujo a mano alzada, fotografías 2D, levantamiento de planos con instrumental óptico), y al mismo tiempo permiten un acceso a los resultados de nuestro trabajo de manera más ágil, aprovechando las plataformas digitales de comunicación.

Recientemente, su uso se ha incorporado en la zooarqueología con distintos fines. Por un lado, se ha

utilizado para la comparación entre distintas técnicas de levantamiento de datos y modelado 3D con el fin de medir su utilidad, ventajas y desventajas, en especial se puede mencionar su uso como base en análisis de morfometría geométrica para la caracterización de marcas de corte en huesos de animales y la discusión sobre la domesticación del perro (Evin et al., 2016; Maté González, Yravedra, González-Aguilera, Palomeque-González, & Domínguez-Rodrigo, 2015). Por otra parte, se han realizado trabajos con el objetivo de digitalizar restos óseos para su conservación patrimonial (Conte, & Izeta, 2018), así como para la generación de guías osteológicas (Mignino, Izeta, Conte, & Herrera, 2018). Sin embargo, en el caso de las guías osteológicas la mayoría se distribuyen a través de la web y no registran autoría, pasando de mano en mano entre los usuarios, como por ejemplo el atlas de *Canis lupus* (ejemplar de *Senckenberg Forschungsinstitut und Naturmuseum, Abteilung Mammalogie, Frankfurt am Main*), de *Capra ibex* (ejemplar de *Zentrum für Naturwissenschaftliche Archäologie, Abteilung Archäozoologie, Eberhard-Karls-Universität Tübingen*), de *Homo sapiens* (*Department of Human Evolution, Max-Planck-Institute for Evolutionary Anthropology, Leipzig*), entre otros.

El objetivo del presente trabajo es demostrar la utilidad de los modelos 3D realizados a partir de soluciones fotogramétricas automatizadas como material de referencia para análisis zooarqueológico. En este sentido, la determinación taxonómica de los restos arqueofaunísticos es la base en que se asientan los posteriores estudios e interpretaciones en esta disciplina, por lo que el uso de mejores herramientas para conseguir tal fin se hace indispensable. La formación de una colección de referencia con

ejemplares de fauna actual hace más fácil el trabajo de asignación taxonómica de los especímenes arqueológicos, sin embargo, esto no siempre es sencillo de realizar. En muchos casos la ausencia de disponibilidad de restos en las diversas instituciones de trabajo y el estatus de conservación de la especie en la actualidad (por ejemplo en retracción, vulnerables, en peligro de extinción, extintos regionalmente, e incluso extintos) dificulta la obtención de ejemplares nuevos. Por otra parte, si bien a nivel institucional se puede contar con colecciones de referencia (como es la colección de Mastozoología del Museo de La Plata), las mismas no son de acceso inmediato sino que para poder utilizarlas se debe solicitar una cita con anticipación. Esto presenta un inconveniente, ya que no es posible consultarlas en el momento en que surge un problema a resolver. En función de estas dificultades es que la utilización de guías osteológicas toma una relevancia fundamental para el análisis de los restos arqueofaunísticos. Sin embargo, dichas guías presentan pocas vistas de los elementos, ya sea que estos estén representados como dibujos con ausencia de detalles (Pacheco Torres, Altamirano, & Guerra Porras, 1986) o como fotografías (Sierpe, 2015).

En este trabajo, se realizan modelos 3D de algunos elementos de camélido (*Lama glama*) perteneciente a la colección de referencia de uno de los autores de este trabajo (Fig. 1).

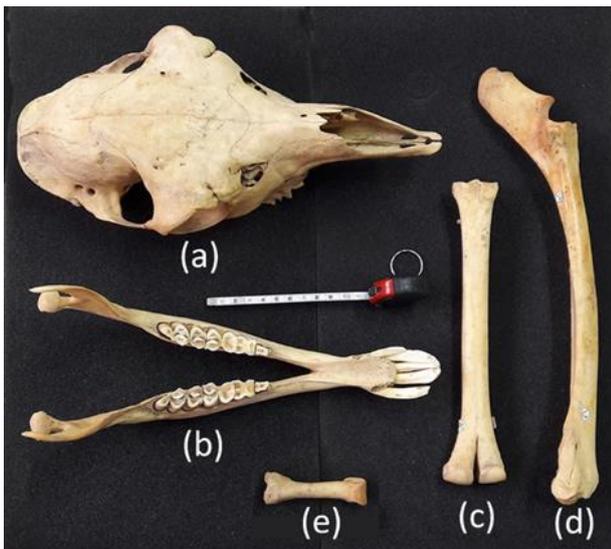


Figura 1: Elementos óseos a modelar: a) Cráneo, vista dorsal; b) Mandíbula, vista oclusal; c) Metatarso, vista anterior; d) Radio-ulna, vista lateral; e) Falange, vista dorsal.

Nuestro propósito particular es presentar las ventajas de los modelos 3D en contraposición a las guías osteológicas (2D) usualmente utilizadas para la determinación anatómica y sistemática de los especímenes (Fig. 2). La elección de un ejemplar de camélido se basa en que han sido uno de los recursos más importantes para sociedades cazadoras-recolectoras desde la llegada de los primeros humanos a Sudamérica (Elkin, 1996; Martínez, & Gutiérrez, 2004; Mengoni Goñalons, 1995; Miotti, 1998; Olivera, 1998; Wheeler Pires-Ferreira, Pires Ferreira, & Kaulicke, 1976). Principalmente, *Lama guanicoe* (guanaco) cuenta con una vasta dispersión sobre diferentes ambientes del territorio sudamericano, abarcando desde los 8° hasta

los 55° de latitud sur, y se pueden encontrar individuos en altitudes que varían desde el nivel del mar hasta los 5200 m de altitud (de Lamo, 2011). A su vez, *Vicugna vicugna* (vicuña) se encuentra adaptada a ambientes de altura (puna, a más de 3.700 m) de Perú, Argentina, Chile y Bolivia (Franklin, 1982). Cabe destacar, que las primeras evidencias de la domesticación de camélidos (probable presencia de *L. glama* –llama– y *Lama pacos* –alpaca–) se presentan en sitios arqueológicos de los Andes Centrales (centro de Perú) con la mayoría de los fechados entre los 4600 y 3000 AP, a excepción del sitio Telarmachay (6000-5500 AP) (Kent, 1982; Mengoni Goñalons, & Yacobaccio, 2006; Wheeler, 1984, 1995; Wing, 1972). Para los Andes Centro Sur (probable presencia de *L. glama*) se presentan fechados similares entre los 4400 y 3000 AP (Mengoni Goñalons, & Yacobaccio, 2006).

Victor R. Pacheco T., Alfredo Altamirano E., and Emma Guerra P.

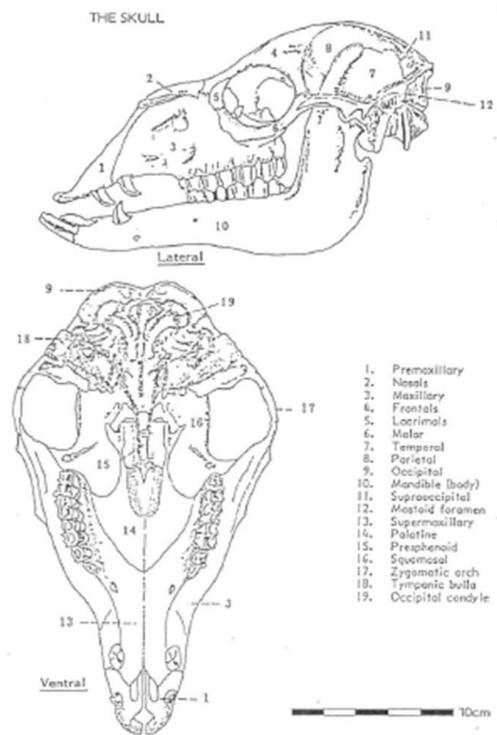


Figure 1. Skull of a 9-year-old *Lama glama* (A-118) male. Top: Left lateral view. Bottom: Ventral view.

Figura 2: Ejemplo de guía osteológica 2D, vista del cráneo tomada de Pacheco Torres *et al.* (1986: p. 4, Fig. 1).

Nuestra hipótesis de partida sostiene que las modernas técnicas fotogramétricas de registro permiten obtener modelos 3D en detalle que facilitan el reconocimiento de los elementos óseos y su asignación a un nivel taxonómico determinado.

2. Materiales y métodos

La muestra de referencia utilizada para la generación de los modelos corresponde a elementos de una llama (*L. glama*), hembra y adulta. La edad se estimó por la erupción y desgaste dentario, con un rango de edad entre los 7 y 9 años siguiendo a Kaufmann (2009). Los restos óseos fueron donados por el ex Zoológico Municipal de Santiago del Estero "San Francisco de

Asís¹ al proyecto de investigación desarrollado por el Dr. Luis Manuel del Papa.

Se seleccionaron cuatro elementos óseos para la generación de los modelos 3D. La elección se basó en el nivel de determinación de los elementos para mamíferos en general y para camélidos en particular. En este sentido, el cráneo (incluyendo la mandíbula) es el elemento de mayor poder de determinación sistemática entre los mamíferos, principalmente a partir de sus piezas dentarias (Salemme, Miotti, & Tonni, 1988). Sin embargo, en el registro arqueológico dicho elemento se encuentra generalmente fragmentado o muchas veces se hallan las piezas dentarias sueltas, dificultando su identificación a partir de las guías osteológicas 2D. En segundo término de importancia para la determinación sistemática lo constituyen los huesos largos (Salemme et al., 1988), y en este trabajo se tienen en cuenta aquellos que en los camélidos presentan rasgos fácilmente diferenciables de otros mamíferos, como son el radio-ulna y los metapodios. El radio-ulna es la fusión total de las diáfisis del radio y la ulna entre los 9 y 12 meses de edad (*sensu* Kaufmann, 2009) formando un sólo elemento. Por su parte, los metapodios de camélidos (en este caso se trabajó con el metatarso) presentan una mayor separación en la zona de unión del metapodio 3 y 4 en la porción distal, diferenciándose de otros artiodáctilos. A su vez, los cóndilos de dichos elementos no presentan tróclea completa, sino que la misma se encuentra sólo en la mitad posterior del cóndilo. Por último, se seleccionó una falange proximal que, si bien entre los mamíferos no tienen un gran nivel de determinación sistemática (Salemme et al., 1988), es fácilmente reconocible para camélidos. Además, las falanges suelen hallarse enteras en el registro arqueológico ya que al poseer poco valor nutricional no siempre se produce la fragmentación por procesamiento. Asimismo, son huesos cortos con altos valores de densidad mineral ósea (Elkin, 1995), lo que favorece su preservación en contraposición a otros elementos. Debido a esta última característica, es uno de los elementos más utilizados por los zooarqueólogos para la diferenciación entre las especies de camélidos o la caracterización de poblaciones de una especie a partir de técnicas osteométricas (Cardich, & Izeta, 1999-2000; Cartajena, Nuñez, & Grosjean, 2007; del Papa, 2015; Grant, 2010; Medina, Pastor, & Rivero, 2014; Menegaz, Salemme, & Ortiz Jaureguizar, 1988; Yacobaccio, 2010).

La generación de modelos virtuales 3D a partir de objetos materiales físicos puede realizarse con diversas metodologías. La comparación entre distintas técnicas para obtener un modelo virtual de un objeto arqueológico escapa al objetivo de este trabajo y ya ha sido abordado por distintos autores. De esta forma, han sido analizadas las potencialidades de la luz estructurada (Evin et al., 2016; Niven, Steele, Finke, Gernat, & Hublin, 2009; Stančić, Musić, & Zanchi, 2013), escáneres 3D (*kinect*; Lachat, Macher, Landes, & Grussenmeyer, 2015), y LIDAR (Green, Bevan, & Shapland, 2014) aunque esta última técnica es mayormente utilizada en levantamientos de sitios arqueológicos e incluso a mayor superficie (Moralejo,

Gobbo, Del Cogliano & Pinto, 2018). Cada una de estas técnicas ha sido comparada con los modelos resultantes por la fotogrametría SfM, resaltando la alta resolución y la excelente relación costo/resultado.

En este trabajo se utilizó la fotogrametría digital *structure from motion - multi-view stereo (SfM-MVS)*. Los fundamentos de la fotogrametría pueden rastrearse desde las primeras décadas del siglo XX cuando se lograba la obtención de la altura de un punto a partir de pares estereoscópicos mediante procesos analógicos. Mediante la obtención de fotografías con un alto recubrimiento (70-90%), la técnica de SfM-MVS permite establecer la ubicación espacial (X,Y,Z) de los puntos registrados en las fotografías. El verdadero avance en la técnica se produjo cuando se logró crear una serie de algoritmos que permitieron generar un flujo de trabajo semi-automático desde la detección de entidades (puntos clave) entre pares de fotos hasta generar un modelo 3D con textura fotorrealista.

Para la generación de los puntos clave (*keypoint*), Agisoft Photoscan Professional v. 1.4.0 utiliza un algoritmo similar al SIFT (*Scale Invariant Feature Transforms*; Lowe, 1999), emparejamiento de puntos entre fotografías, y generación de puntos de paso 3D (Sholts, Flores, Walker, & Wärmländer, 2011; Wu, 2013). A partir de estos puntos el software es capaz de obtener la orientación y los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara y la posición relativa de la misma (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012). Para la construcción de la nube densa se usan múltiples algoritmos basados en *pair-wise depth map computation* (Verhoeven, Doneus, Briese, & Vermeulen, 2012) y *Multi-view*; (Furukawa, & Ponce, 2010; Seitz, Curless, Diebel, Scharstein, & Szeliski, 2006).

La realización de un modelo virtual puede ordenarse de la siguiente manera: una primera etapa donde se lleva a cabo la toma de las fotografías del objeto a modelar (Fig. 3). En este caso, como el objetivo fue la generación de modelos de material óseo se realizaron pruebas sobre diferentes fondos para obtener fotografías de calidad. Los mejores resultados se obtuvieron al colocar el material sobre un lienzo de color con alto contraste que luego facilitó el enmascaramiento a la hora de procesar las fotografías. Se utilizó una cámara Nikon D5100 con 16 Mpx y una lente fija de 50 mm. Las fotografías fueron realizadas con la cámara montada en un trípode a una distancia de entre 1 a 3 m del objeto (montado sobre un taburete de 1 m de altura), respetando un solape entre imágenes de aproximadamente el 70 y 80%. La secuencia de tomas de fotos comenzó desde una visual en picado con un ángulo aproximado de 60°, luego se hizo otra secuencia con un ángulo de 45° y finalmente otra horizontal. Cada secuencia cuenta con al menos 20 a 30 fotografías sucesivas con una rotación de la cámara de unos 15°. Posteriormente se volteó el objeto y se realizó el mismo procedimiento. Una segunda etapa que consistió en procesar las fotografías obtenidas y generar los modelos mediante Photoscan (Fig. 4). Este programa permite un flujo de trabajo semi-automático donde el primer paso lo constituye la evaluación de la calidad de las fotos. De esta forma, el software identifica las fotos borrosas y de menor calidad, y permite su selección y eliminación.

¹ El Concejo Deliberante de Santiago del Estero sancionó en 2014 la Ordenanza que dispone el cierre definitivo del Zoológico Municipal "San Francisco de Asís".



Figura 3: Proceso de toma de fotografías: a) Vista general del proceso; b) Vista de detalle de la toma.

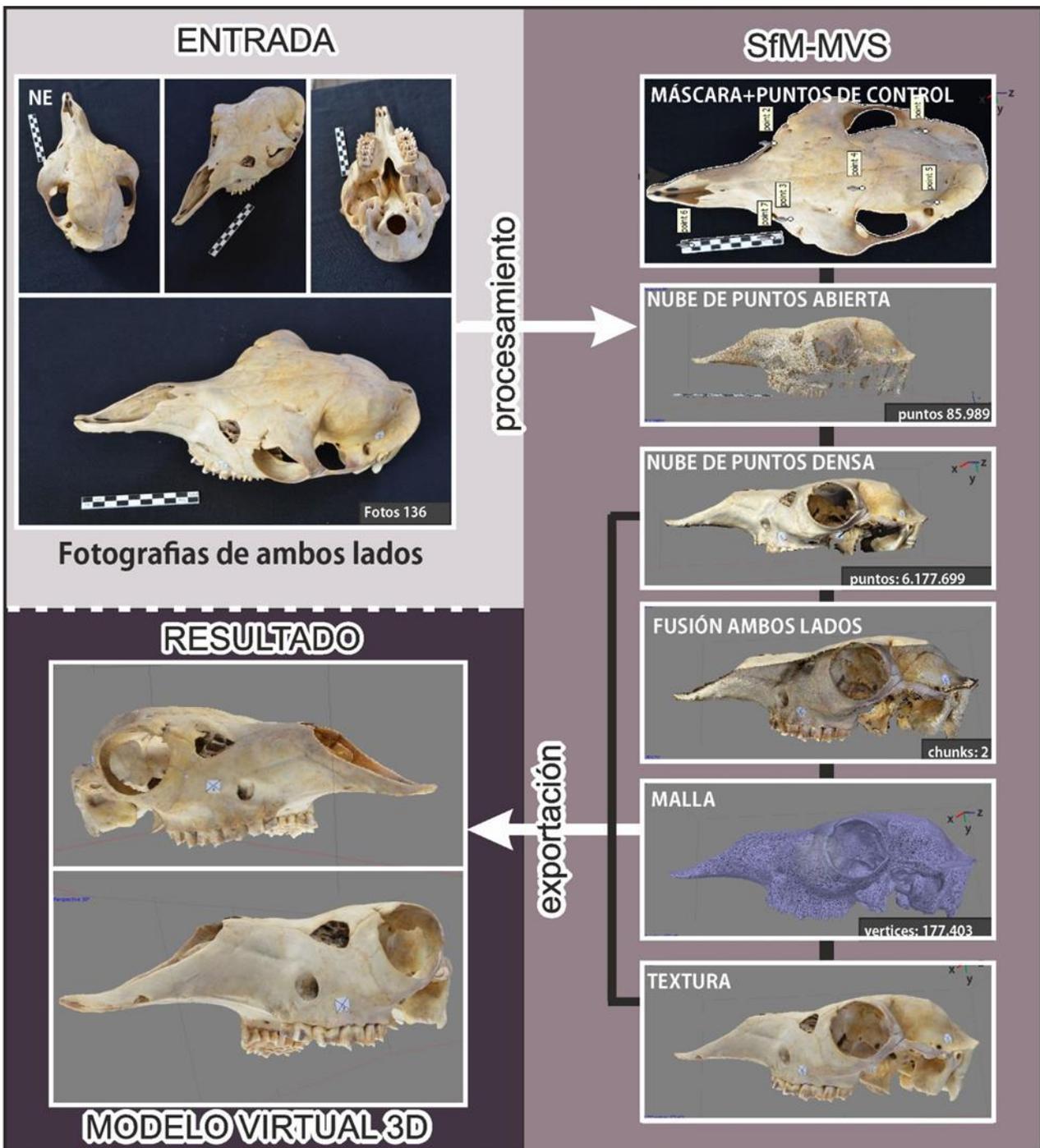


Figura 4: Flujo de trabajo para la obtención de los modelos virtuales 3D. Se presenta la secuencia realizada para el cráneo.

En nuestro caso, uno de los inconvenientes registrados fue que varias capturas presentaron una escasa profundidad de campo, produciendo zonas con foco y zonas desenfocadas del objeto. Para solucionar este problema se generaron máscaras para cada una de las fotografías (Fig. 4) y se eliminó el fondo y las zonas del objeto que se encontraran fuera de foco. A partir de esta selección y mejoramiento de las fotografías, se continuó con el flujo de trabajo del programa para generar una nube de puntos abierta con los parámetros reseñados en la Tabla 1. Cada modelo cuenta con dos conjuntos de fotos, uno corresponde a las fotos de un lado del objeto (lado A) y el otro conjunto a las fotos del objeto volteado (lado B).

El siguiente paso es la construcción de la nube densa, los parámetros utilizados fueron calidad alta o media y un filtrado propio del software para eliminar puntos anómalos, utilizando las opciones de filtrado moderado o agresivo. Para ello se utilizó un procedimiento semiautomático de selección gradual que permite aplicar una serie de filtros para seleccionar los puntos que presentan una mayor incertidumbre respecto a su ubicación en el espacio (baja cantidad de fotos que fueron utilizadas para definir ese punto o un elevado error de la proyección de ese punto). Finalmente, a fin de utilizar una nube limpia para los pasos posteriores, se realizó la eliminación manual de algunos puntos, que se determinó que no correspondían al objeto a modelar.

En función de los puntos restantes se obtiene una malla que es una superficie generada por la unión de triángulos donde cada punto es un vértice. Esta malla puede lograrse tanto desde la nube abierta como de la densa. En este trabajo se utilizó la nube densa ya que permite una mejor resolución.

Con estos resultados se procedió a fusionar los modelos del lado A y B. Para la alineación de ambos modelos y la posterior fusión es necesario utilizar puntos de enlace.

Estos puntos pueden ser detectados automáticamente por el programa o pueden introducirse manualmente. En nuestro caso los puntos de enlace para la unión de los modelos se realizaron de forma manual utilizando entre 5 y 6 marcadores para cada hueso. Solo en un caso (falange) se utilizó la alineación automática con resultados satisfactorios. Sobre la malla final, producto de la fusión de ambos lados de cada hueso se generó una textura a partir de las fotografías que le otorga al modelo una imagen fotorrealista. Por último, para obtener las medidas reales del objeto fue necesario escalar el modelo, lo cual se realizó a partir de la incorporación de escalas centimétricas en las imágenes.

Una vez finalizados los modelos pueden ser exportados en diferentes formatos, ya sea como objetos 3D (OBJ, STL, etc.) o como archivos PDF, los cuales permiten una amplia difusión.

La precisión de los modelos escalados fue menor a 0.001 mm (valor obtenido desde el software). A fin de comprobar este valor se realizaron numerosas mediciones con calibre digital vernier y los valores fueron comparados con los obtenidos sobre el modelo 3D. Se obtuvo la diferencia entre ambos y se calculó el promedio de los valores absolutos (error absoluto) obteniendo un valor de 0.42 mm. Cabe mencionar la dificultad para establecer los mismos puntos en el resto físico que en el virtual.

Para comparar los modelos 3D realizados con los atlas 2D de camélidos usualmente utilizados (Pacheco Torres et al., 1986; Sierpe, 2015), se seleccionaron especímenes arqueológicos fragmentarios del sitio Maquijata (Santiago del Estero, para detalles del sitio arqueológico véase del Papa, 2012, 2015; del Papa, Togo, & De Santis, 2013). Entre estos, se seleccionaron a modo de ejemplo dos fragmentos de cráneo, dos de falanges proximales y uno de radio-ulna.

Tabla 1: Parámetros utilizados para la confección de cada modelo 3D. El procesamiento en todos los casos fue realizado con el programa Agisoft Photoscan Professional.

| SfM modelo | Cráneo | Radio-Ulna | Mandíbula | Metatarso | Falange |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| Número de fotos | 146 | 142 | 149 | 61 | 87 |
| Puntos clave/puntos de paso/máscara (key point limit/tie point limit/mask) | 400000/10000/Si | 400000/10000/Si | 400000/10000/Si | 400000/10000/Si | 400000/10000/Si |
| Número de puntos x10 ³ | 67 | 64 | 103 | 24,5 | 19 |
| Parámetros de la nube densa (Quality/filter mode) | High/Moderate | Medium/Aggressive | High/Moderate | Medium/Aggressive | High/Aggressive |
| Puntos nube densa x10 ³ | 5871 | 528 | 4930 | 549 | 1038 |
| Parámetros de la malla (Surface type/Source data/Face count/interpolation) | Abrbitrary/dense/moderate/enabled | Abrbitrary/dense/high/enabled | Abrbitrary/dense/moderate/enabled | Abrbitrary/dense/moderate/enabled | Abrbitrary/dense/high/enabled |
| Vértices de la malla x10 ³ | 628 | 90 | 164 | 29,9 | 30,1 |
| Parámetros de textura (Mapping mode/blending mode/texture size) | Generic/average/8192 x 8192 | Generic/average/4096 x 4096 | Generic/mosaic/4096 x 4096 | Generic/mosaic/4096 x 4096 | Generic/mosaic/8192 x 8192 |

3. Resultados

Los modelos 3D generados pueden consultarse en el siguiente enlace: <https://skfb.ly/6DB7Y>

Para el análisis de los casos arqueológicos se tomaron cinco especímenes fragmentarios con el objetivo de observar la utilidad de los modelos 3D, los cuales permitieron registrar distintas vistas de los elementos óseos y rotar la imagen en diferentes ángulos permitiendo visualizar los atributos de los especímenes y así poder determinarlos de manera más precisa.

En el caso del cráneo, se comparó con un fragmento de occipital y con un fragmento de frontal (zona de la

órbita). Para el fragmento de occipital, el modelo 3D nos permitió obtener una vista posterior que no era posible observar en los atlas utilizados tradicionalmente (Fig. 5). En cuanto al fragmento de hueso frontal, al manipular el modelo 3D pudimos acceder a una vista posterior y rotada levemente hacia la vista inferior (Fig. 6i) y a una vista lateral con una rotación hacia la vista inferior que nos permitió observar en mayor medida el interior de la órbita (Figs. 6g y 6h) y apreciar en detalle rasgos característicos del frontal como el canal supraorbital (Figs. 6a, 6b, 6g y 6h), que no se pueden observar en las vistas proporcionadas por los atlas 2D (Figs. 6d-f).

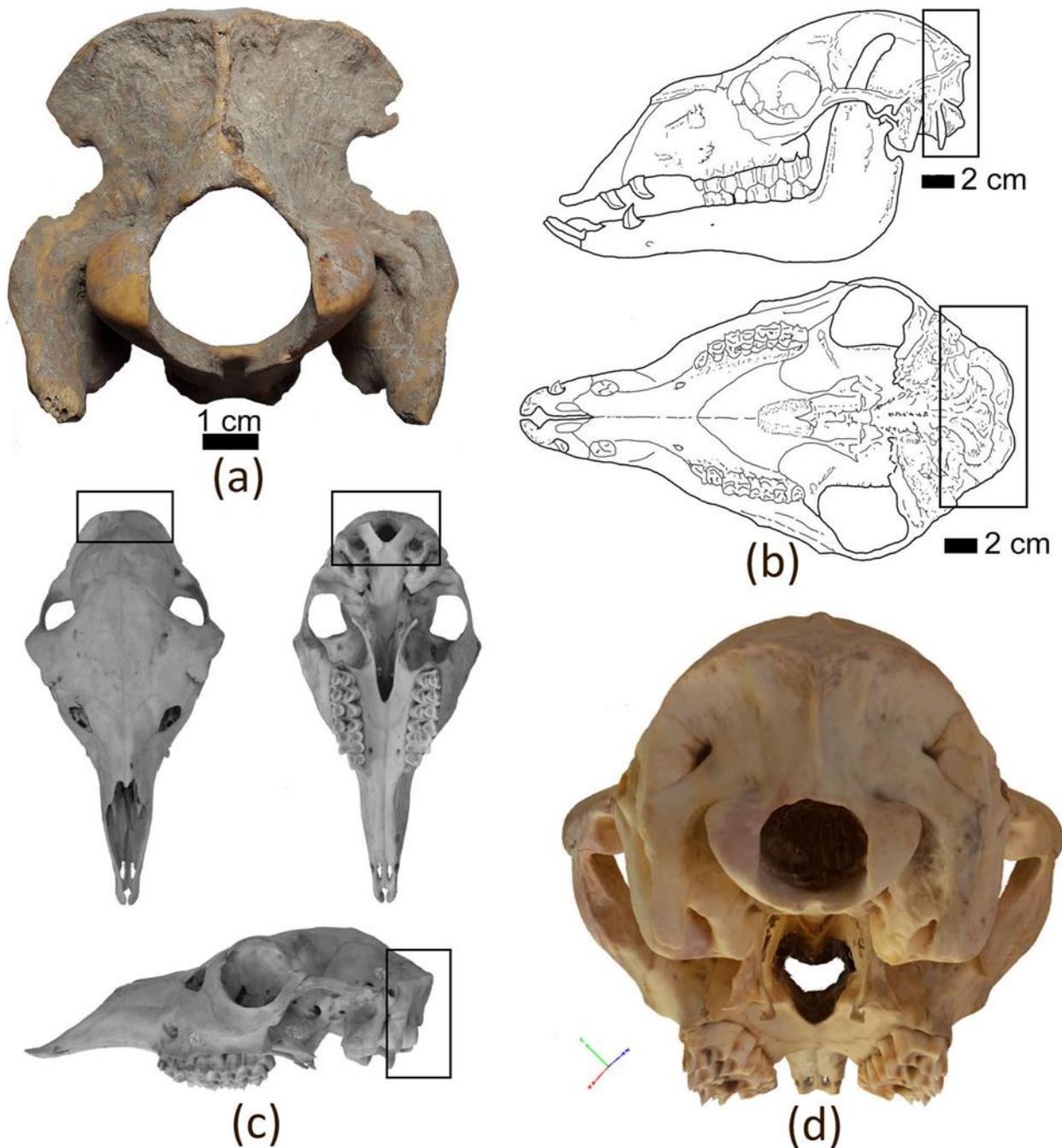


Figura 5: Vistas del occipital: a) Especímen arqueológico de occipital, vista posterior; b) Diagrama de las vistas del cráneo basadas en Pacheco Torres *et al.* (1986); c) Fotografías de las vistas del cráneo basadas en Sierpe (2015); d) Vista posterior tomada del modelo 3D.

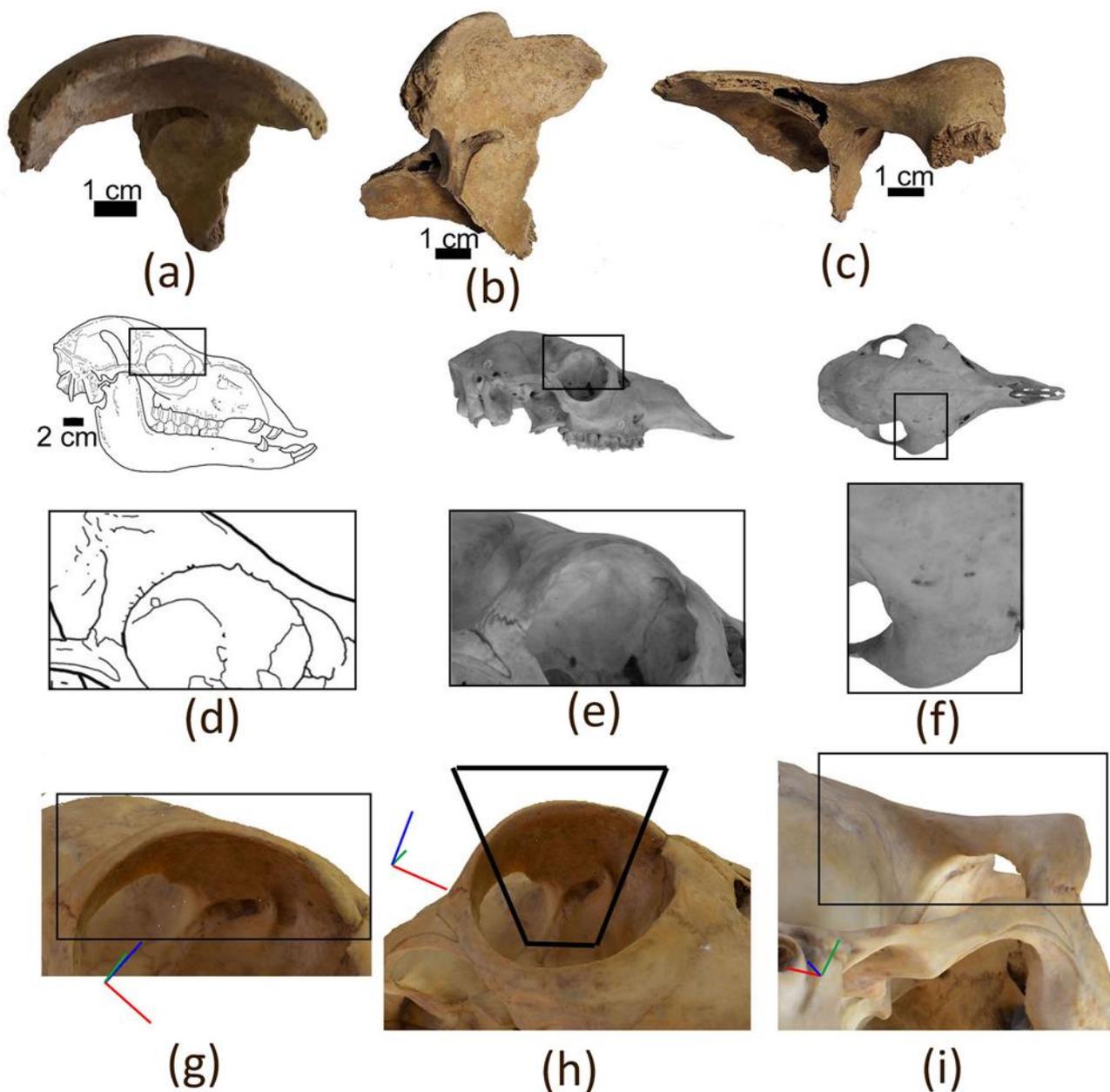


Figura 6: Vistas del frontal: a-c) Especimen arqueológico de frontal del cráneo; a) Vista lateral; b) Vista interior de la órbita (lateral e inferior); c) Vista posterior; d) Diagrama con vista lateral del cráneo basado en Pacheco Torres et al. (1986) y detalle de la región del frontal analizada; e) Fotografía con la vista lateral del cráneo basado en Sierpe (2015) y detalle de la región del frontal; f) Fotografía con la vista superior del cráneo basado en Sierpe (2015) y detalle de la región del frontal analizada; g-i) Imágenes tomadas del modelo 3D; g) Detalle de la vista lateral y ligeramente rotada hacia la vista inferior del cráneo; h) Detalle de la vista lateral y con una mayor rotación sobre la vista inferior que nos permite observar el interior de la órbita en mayor medida; i) Detalle de la vista posterior del frontal, rotado ligeramente sobre la vista inferior.

El espécimen arqueológico de radio-ulna corresponde a un fragmento de diáfisis distal, cara anterior y lateral. En este caso si bien los modelos 2D presentan una vista anterior del elemento, una ligera rotación hacia la vista lateral nos permitió observar en mayor detalle el espacio interóseo distal (Fig. 7).

Por último, se tomaron dos fragmentos de falange proximal. El primero pertenece a la epífisis proximal, que en el esquema de Pacheco Torres et al. (1986) la vista posterior carece de detalle (Fig. 8b), mientras que en la guía osteológica de Sierpe (2015) directamente no se presenta esta vista. En este sentido, el modelo 3D fue de utilidad ya que nos permitió observar claramente la vista posterior (Fig. 8c). Por otro lado, para el espécimen

de epífisis distal ninguno de los atlas 2D utilizados muestran la vista anterior, por lo que la determinación con los mismos se hace dificultoso.

4. Discusión

La fotogrametría es una técnica que ha revolucionado la forma del registro documental dentro de la arqueología (Grosman, Smikt, & Smilansky, 2008; Martínez Huerta, 2015; Maté González et al., 2015). Son muchos los estudios realizados que han utilizado este método en diversos campos de la arqueología y en todos los casos existe coincidencia en que el registro 3D permite obtener una lectura holística del objeto.

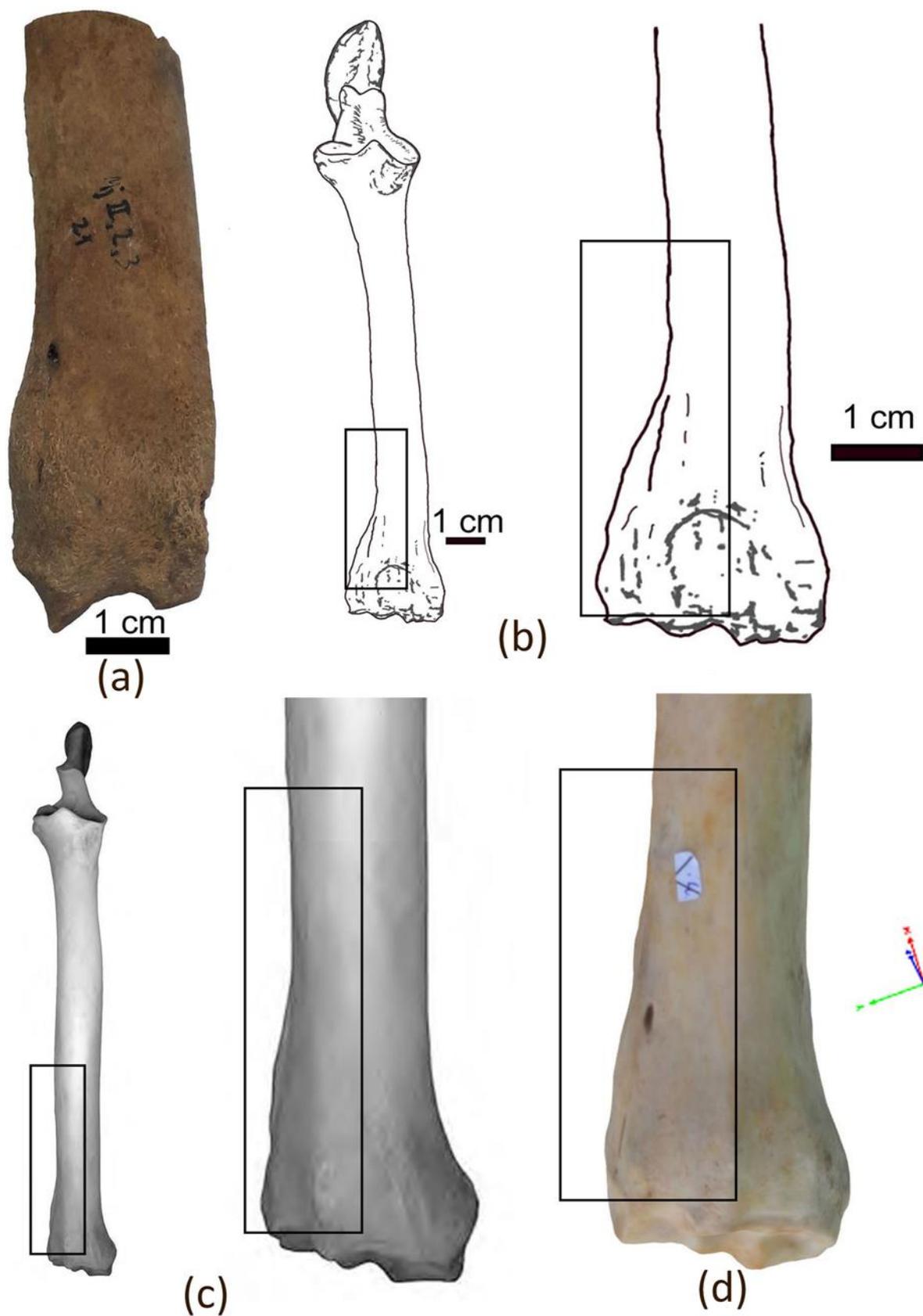


Figura 7: Vistas del radio-ulna: a) Especimen arqueológico de radio-ulna, fragmento de diáfisis distal y lateral; b) Diagrama del radio-ulna vista anterior y detalle de la zona analizada basado en Pacheco Torres *et al.* (1986); c) Fotografía de radio-ulna, vista anterior y detalle de la zona analizada, modificado de Sierpe (2015); d) Imagen tomada del modelo 3D, vista anterior con una ligera rotación hacia la vista lateral.

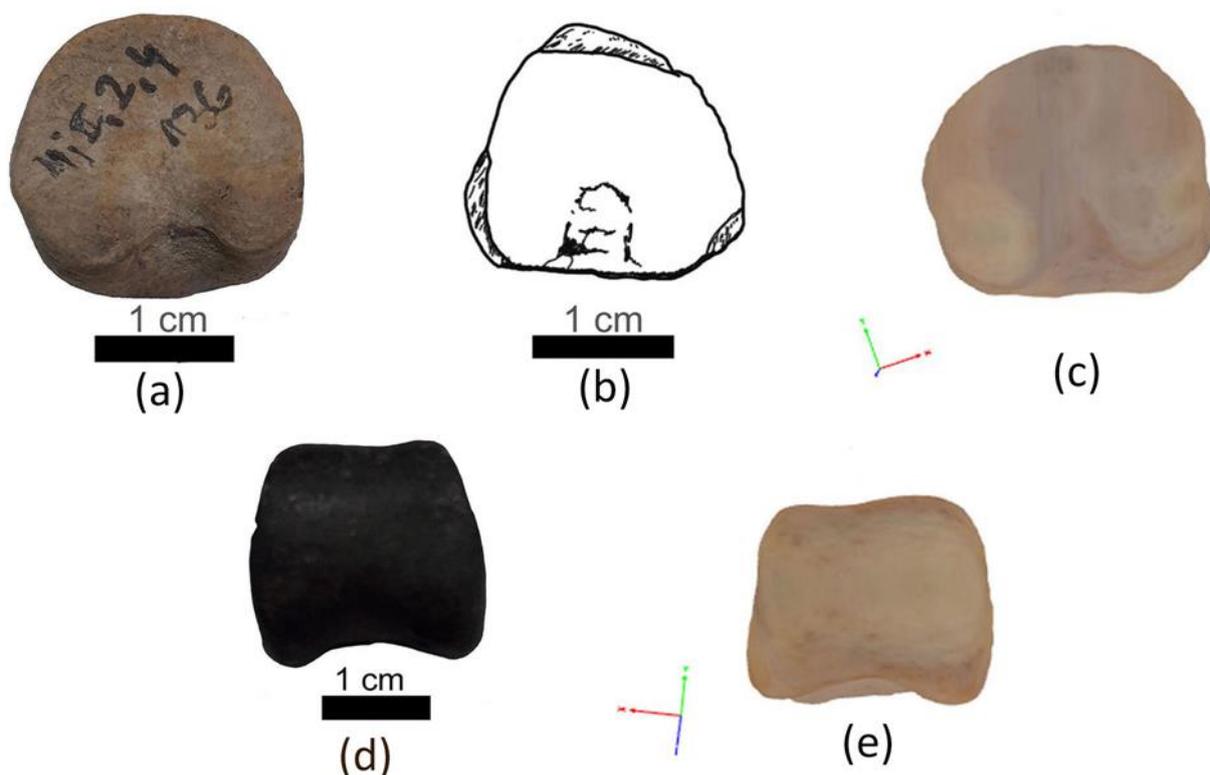


Figura 8: Vistas de la falange proximal: a) Espécimen arqueológico de falange proximal, vista posterior; b) Diagrama de la vista posterior de falange proximal basado en Pacheco Torres et al. (1986); c) Imagen tomada del modelo 3D, vista posterior y ligeramente rotada hacia la vista inferior; d) Espécimen arqueológico de falange proximal termoalterada (carbonizada), vista anterior; e) Imagen tomada del modelo 3D, vista anterior.

En el caso particular de los análisis arqueofaunísticos, donde la determinación anatómica y sistemática de los especímenes tiene un papel clave, esta técnica ha demostrado ser mucho más eficiente que los métodos de documentación tradicional 2D (Evin et al., 2016; Conte, & Izeta, 2018). Esto se debe a que estos últimos, sobre todo cuando provienen de guías osteológicas basadas en dibujos o fotografías, carecen de suficientes vistas que permitan un diagnóstico adecuado y completo de los especímenes. Con esto no queremos decir que los atlas 2D no sean útiles –por el contrario, han sido ampliamente utilizados en la literatura zooarqueológica, principalmente el de Pacheco Torres et al. (1986)– sino que la incorporación de nueva tecnología puede aportar mejores resultados en la medida que produce información integral del elemento óseo con gran precisión geométrica y detalle, y no solo fotografías o dibujos de diferentes ángulos. En este trabajo hemos visto cómo la técnica 3D, a partir de fotogrametría SfM, permite observar todas las vistas de un elemento, incluso a partir de una ligera rotación (Figs. 6g, 6h, 7d, 8c) para poder determinar con mayor exactitud los especímenes arqueológicos.

Para lograr estos modelos 3D, fue necesario desplegar un conjunto de estrategias metodológicas de modo que, mediante la preparación de diversos fondos, se pudieran obtener fotografías de alta calidad. Los mejores resultados se alcanzaron al colocar el material óseo sobre un lienzo de color con alto contraste (color verde), ya que con un fondo color negro se dificultaba el proceso de enmascaramiento debido a la presencia de zonas de sombras (Porter, Roussel, & Soressi, 2016). Esta tarea de generar imágenes con recubrimiento de alta calidad no se acabó allí. El software utilizado

también permitió, por medio de un flujo de trabajo semiautomático, evaluar la calidad de las imágenes. Es decir, el programa identificó las fotografías borrosas y permitió seleccionar y eliminar las de menor calidad. Para el caso de aquellas capturas que presentaban una escasa profundidad de campo –con zonas enfocadas y desenfocadas del objeto– fue necesario generar máscaras para cada una de las fotografías, y así poder eliminar el fondo y las zonas del objeto que se encontraban fuera de foco. Como se puede ver entonces, el programa utilizado posee una gran versatilidad de herramientas que se lograron ajustar a los objetivos de nuestro trabajo.

Por otra parte, la generación de estos modelos 3D tiene la ventaja de que pueden ser almacenados y compartidos a través de redes electrónicas, produciendo colecciones osteológicas virtuales de referencia que facilitan las determinaciones anatómicas y taxonómicas. Asimismo, estos modelos se pueden manipular sin afectar al original, al mismo tiempo que replicar con cierta facilidad, como por ejemplo mediante impresiones 3D. En cuanto al uso del software, hay una muy amplia variedad de programas, tanto comerciales, como gratuitos y de código abierto; con flujos de trabajo con una considerable automatización e intuitivos que facilitan al usuario su instalación y uso.

Por último es importante tener en cuenta que la fotogrametría como técnica de levantamiento 3D permite documentar de forma geométrica y con gran calidad visual el patrimonio (Adami et al., 2018; Aparicio Resco et al., 2014; Conte, & Izeta, 2018; Cots et al., 2018; Iturbe et al., 2018, entre otros), por lo que es necesario tener control de todo el proceso de creación de nuestros

modelos 3D. Para ello será inevitable utilizar fichas de levantamiento o metadatos que incluyan tanto los datos de cada elemento óseo (unidad anatómica, taxón), como también la información técnica del software y cámara utilizada, cantidad de fotos realizadas, diseño de tomas fotográficas (ángulo de toma fotográfica, contrastes del fondo, tipo y cantidad de luz) y los parámetros del modelo obtenido (puntos, vértices de la malla, resolución de la textura, errores, entre otros).

5. Conclusiones

Nuestra hipótesis de partida consistió en que las modernas técnicas fotogramétricas de registro permiten obtener modelos 3D en detalle que facilitan el reconocimiento de los elementos óseos y su asignación a un nivel taxonómico determinado. En este sentido, la solución fotogramétrica y de visión por computador SfM-MVS resultó ser de suma utilidad y conveniencia para generar modelos 3D de alta precisión geométrica y facilitar la identificación de especímenes arqueológicos, muchas veces fragmentarios.

La configuración de la ficha técnica fue importante, ya que, por un lado, permite sistematizar el flujo de trabajo, y por otro lado, al explicitar los parámetros utilizados en el modelado 3D es posible replicar el método y

comparar los resultados con los obtenidos por otras técnicas de digitalización.

Por último, vale destacar que el uso de la fotogrametría se ha ido incorporando y extendiendo en el ámbito de la arqueología con resultados altamente favorables. Tanto sus ventajas técnicas como la alta resolución que se alcanza en los modelos generados, permiten reemplazar a técnicas mucho más costosas. Asimismo, la variedad de formatos en los que pueden exportarse dichos modelos posibilita el acceso a los resultados del trabajo de manera más ágil, aprovechando las diversas plataformas digitales de comunicación.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Nacional de La Plata por el financiamiento de las investigaciones. A los Sres. Orellanas y Silva del ex Zoológico Municipal de Santiago del Estero "San Francisco de Asís", que permitieron recuperar los restos de un individuo de *Lama glama*. A la Lic. Amelia Barreiro por la traducción del resumen al inglés. Al Editor de la revista *Virtual Archaeological Review* y a los evaluadores por sus comentarios y sugerencias que han ayudado a mejorar el artículo.

Referencias

- Adami, A., Fassi, F., Fregonese, L., & Piana, M. (2018). Image-based techniques for the survey of mosaics in the St Mark's Basilica in Venice. *Virtual Archaeology Review*, 9(19), 1-20. <https://doi.org/10.4995/var.2018.9087>
- Aparicio Resco, P., Carmona Barrero, J. D., Fernández Díaz, M., & Martín Serrano, P. M. (2014). Fotogrametría involuntaria: rescatando información geométrica en 3D de fotografías de archivo. *Virtual Archaeology Review*, 5(10), 11-20. <https://doi.org/10.4995/var.2014.4205>
- Cardich, A., & Izeta, A. D. (1999-2000). Revisitando Huango (Perú). Análisis cuantitativos aplicados a restos de Camelidae del Pleistoceno tardío. *Anales de Arqueología y Etnología*, 54-55, 29-46.
- Cartajena, I., Nuñez, L., & Grosjean, M. (2007). Camelid domestication on the western slope of the Puna de Atacama, northern Chile. *Anthropozoologica*, 42(2), 155-173.
- Conte, B., & Izeta, A. D. (2018). Métodos 3D aplicados en la arqueología. In: *Congreso Nacional de Arqueometría*, (pp. 422-426). San Miguel de Tucumán y Amaicha del Valle, Argentina.
- Cots, I., Vilà, J., Diloli, J., Ferré, R., & Bricio, L. (2018). Virtual archaeology: from archaeological excavation to the management and diffusion of heritage. Les Cases de la Catedral (Tortosa) and the protohistorical settlement of La Cella (Salou), Tarragona. *Virtual Archaeology Review*, 9(19), 102-113. <https://doi.org/10.4995/var.2018.9754>
- de Lamo, D. A. (2011). *Camélidos sudamericanos. Historia, usos y sanidad animal*. Buenos Aires: Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Senasa.
- del Papa, L. M. (2012). *Una aproximación al estudio de los sistemas de subsistencia a través del análisis arqueofaunístico en un sector de la cuenca del Río Dulce y cercanías a la Sierra de Guasayán* [An approach to the study of subsistence systems through archaeofaunal analysis in a sector of the Dulce river basin and Guasayán mountain range] (Doctoral thesis Universidad Nacional de La Plata, Argentina). Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/24533>
- del Papa, L. M. (2015). First approach to study the presence of domesticated camelids (*Lama glama*) in the Chaco-Santiago region, a marginal zone of the South Central Andes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 25, 45-60. <https://doi.org/10.1002/oa.2262>
- del Papa, L. M., Togo, J., & De Santis, L. J. M. (2013). Primera aproximación a la tafonomía de la región Chaco-Santiagoense. Sitio Maquijata, Santiago del Estero. En A. D. Izeta, & G. L. Mengoni Goñalons (Eds.), *De la Puna a las Sierras: Avances y Perspectivas en Zooarqueología Andina* (pp. 17-38). Oxford: BAR International Series 2564, South American Archaeology Series.

- Dellepiane, M., Dell'Unto, N., Callieri, M., Lindgren, S., & Scopigno, R. (2013). Archeological excavation monitoring using dense stereo matching techniques. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3), 201-210. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.01.011>
- Elkin, D. (1995). Volume Density of South American Camelid Skeletal Parts. *International Journal of Osteoarchaeology*, 5, 29-37. <https://doi.org/10.1002/oa.1390050104>
- Elkin, D. C. (1996). *Arqueozoología de Quebrada Seca 3: Indicadores de Subsistencia Humana Temprana en la Puna Meridional Argentina*. [Archaeozoology of Quebrada Seca 3: Indicators of Early Human Subsistence in the Southern Puna of Argentina] (Doctoral thesis, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina).
- Evin, A., Souter, T., Hulme-Beaman, A., Ameen, C., Allen, R., Viacava, P., ... Dobney, K. (2016). The use of close-range photogrammetry in zooarchaeology: Creating accurate 3D models of wolf crania to study dog domestication. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 9, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.06.028>
- Franklin, W. L. (1982). Biology, ecology and relationship to man of the South American Camelids. En M. A. Mares, & H. H. Genoways (Eds.), *Mammalian Biology in South America* (pp. 457-489). Pittsburg: Ser. Pymatuning Lab. of Ecol., University of Pittsburg Press.
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2010). Accurate, dense, and robust multiview stereopsis. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 32(8), 1362–1376. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2009.161>
- Grant J. (2010). Aportes de distintas técnicas osteométricas para la identificación interespecífica de camélidos sudamericanos. En M. A. Gutiérrez, M. De Nigris, P. M. Fernández, M. Giardina, A. Gil, A. Izeta, G. Neme, & H. Yacobaccio (Eds.), *Zooarqueología a Principios del siglo XXI: Aportes, metodologías y casos de estudio* (pp. 17-28). Buenos Aires: Ediciones del Espinillo.
- Green, S., Bevan, A., & Shapland, M. (2014). A comparative assessment of structure from motion methods for archaeological research. *Journal of Archaeological Science*, 46(1), 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.02.030>
- Grosman, L., Smikt, O., & Smilansky, U. (2008). On the application of 3-D scanning technology for the documentation and typology of lithic artifacts. *Journal of Archaeological Science*, 35, 3101–3110 <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2008.06.011>
- Iturbe, A., Cachero, R., Cañal, D., & Martos, A. (2018). Virtual digitization of caves with parietal Paleolithic art from Bizkaia. Scientific analysis and dissemination through new visualization techniques. *Virtual Archaeology Review*, 9(18), 57-65. <https://doi.org/10.4995/var.2018.7579>
- Kaufmann, C. A. (2009). *Estructura de edad y sexo en guanaco. Estudios actualísticos y arqueológicos en Pampa y Patagonia*. Buenos Aires: Sociedad Argentina de Antropología.
- Kent, J. D. (1982). *The Domestication and exploitation of South American camelids: methods of analysis and their application to circum-lacustrine archaeological sites in Bolivia and Peru* (Tesis doctoral, University: St. Louis, Washington).
- Lachat, E., Macher, H., Landes, T., & Grussenmeyer, P. (2015). Assessment and Calibration of a RGB-D Camera (Kinect v2 Sensor) Towards a Potential Use for Close-Range 3D Modeling. *Remote Sensing*, 7, 13070-13097. <https://doi.org/10.3390/rs71013070>
- Lowe, D. G. (1999). Object recognition from local scale-invariant features. In *Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision* (Vol. 2, pp. 1150–1157). Kerkyra, Greece <https://doi.org/10.1109/ICCV.1999.790410>
- Martínez Huerta, J. C. (2015). Fotogrametría digital: Un complemento en el registro arqueológico dentro del Proyecto Arqueológico La Quemada (2013-2014). Instituto Nacional de Antropología e Historia, Zacatecas. Retrieved from: <http://www.pcnt.inah.gob.mx/pdf/14289636792.pdf>
- Martínez, G., & Gutiérrez, M. A. (2004). Tendencias en la explotación humana de la fauna durante el Pleistoceno final y Holoceno en la Región Pampeana (Argentina). En G. Mengoni Goñalons (Ed.), *Zooarchaeology of South America*, (pp. 81-98). Oxford: BAR Internacional Series.
- Maté González, M. A., Yravedra, J., González-Aguilera, D., Palomeque-González, J., & Domínguez-Rodrigo, M. (2015). Micro-photogrammetric characterization of cut marks on bones. *Journal of Archaeological Science*, 62, 128-142. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.08.006>

- Medina, M. E., Pastor, S., & Rivero, D. E. (2014). Osteometría y diferenciación de especies de camélidos en sitios arqueológicos de las Sierras Centrales (Argentina). *Tendencias, problemas y perspectivas. Intersecciones en Antropología*, 15, 339-351.
- Menegaz, A., Salemme, M., & Ortiz Jaureguizar, E. (1988). Una propuesta de sistematización de los caracteres morfométricos de los metapodios y las falanges de Camelidae. En N. Ratto, & A. Haber (Eds.). *De procesos, contextos y otros huesos* (pp. 53-64). Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Mengoni Goñalons, G. L. (1995). Importancia socio-económica del guanaco en el período precolombino. In S. Puig (Ed.). *Técnicas para el manejo del guanaco* (pp. 13-25). Mendoza: UICN.
- Mengoni Goñalons, G. L., & Yacobaccio, H. D. (2006). The Domestication of South American Camelids. A View from the South-Central Andes. En M. A. Zeder, D. G. Bradley, E. Emshwiller, & B. D. Smith (Eds.). *Documenting Domestication: New Genetic and Archaeological Paradigms* (pp. 228-244). Berkeley: University of California Press.
- Mignino, J., Izeta, A., Conte, B., & Herrera, B. (2018). 3D photogrammetric models based on Hystricognath rodents. Upper Ongamira valley, northern Córdoba province, central Argentina. In: *13th International Conference of Archaeozoology*, 3-7 de septiembre de 2018, Ankara, Turquía.
- Miotti, L. (1998). *Zooarqueología de la Meseta Central y Costa de Santa Cruz. Un enfoque de las estrategias adaptativas aborígenes y los paleoambientes*. Revista del Museo de Historia Natural de San Rafael, Tomo X (1-4).
- Moralejo, R. A., Gobbo, D., Del Cogliano, D., & Pinto, L. (2018). Aplicación de tecnología LIDAR en El Shincal de Quimivil, Londres, Catamarca. *Arqueología*, 24(3), 165-184. Retrieved from: <http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/Arqueologia/article/view/5386>
- Moyano, G. (2017). El uso de fotogrametría digital como registro complementario en arqueología. Alcances de la técnica y casos de aplicación. *Comechingonia*, 21(2), 333-350.
- Niven, L., Steele, T. E., Finke, H., Gernat, T., & Hublin, J.-J. (2009). Virtual skeletons: using a structured light scanner to create a 3D faunal comparative collection. *Journal of Archaeological Science*, 36(9), 2018-2023. <https://doi.org/10.1016/J.JAS.2009.05.021>
- Olivera, D. E. (1998). Cazadores y Pastores Tempranos de la Puna Argentina. En S. Ahlgren, A. Muñoz, S. Sjödin, & P. Stenborg (Eds.). *Past and Present in Andean Prehistory and Early History* (pp. 153-180). Goteborg: Etnologiska Studier 42. Etnografiska Museet.
- Pacheco Torres, V. R., Altamirano Enciso, A., & Guerra Porras, E. (1986). *The Osteology of South American camelids*. Los Angeles: Archaeological Research Tools 3. Institute of Archaeology, University of California.
- Porter, S. T., Roussel, M., & Soressi, M. (2016). A simple photogrammetry rig for the reliable creation of 3D artifact models in the field Lithic examples from the Early Upper Paleolithic Sequence of Les Cottés (France). *Advances in Archaeological Practice*, 4(1), 71-86. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.4.1.71>
- Salemme, M. C., Miotti, L. L., & Tonni E. P. (1988). La determinación sistemática de los mamíferos en el análisis arqueofaunístico. En N. Ratto, & A. Haber (Eds.). *De procesos, contextos y otros huesos* (pp. 65-75). Buenos Aires: Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Seitz, S. M., Curless, S. M., Diebel, B., Scharstein, J., & Szeliski, R. (2006). A Comparison and Evaluation of Multi-View Stereo Reconstruction Algorithms. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (Volume 1, pp. 519-528). New York, EEUU. <https://doi:10.1109/CVPR.2006.19>
- Sholts, S. B., Flores, L., Walker, P. L., & Wärmländer, S. K. T. S. (2011). Comparison of coordinate measurement precision of different landmark types on human crania using a 3D laser scanner and a 3D digitiser: Implications for applications of digital morphometrics. *International Journal of Osteoarchaeology*, 21(5), 535-543. <https://doi.org/10.1002/oa.1156>
- Sierpe, V. G. (2015). *Atlas osteológico de guanaco (Lama guanicoe)*. Chile: Ediciones Universidad de Magallanes.
- Stančić I., Musić J., & Zanchi, V. (2013). Improved structured light 3D scanner with application to anthropometric parameter estimation. *Measurement*, 46(1), 716-726. <https://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2012.09.010>
- Verhoeven, G., Doneus, M., Briese, C., & Vermeulen, F. (2012). Mapping by matching: A computer vision-based approach to fast and accurate georeferencing of archaeological aerial photographs. *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2060-2070. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.02.022>

- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, M. J., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). Structure- from-motion photogrammetry: a low cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wheeler, J. (1984). On the origin and early development of pastoralism in the Andes. In J. Clutton-Brock, & C. Grigson (Eds.). *Animals and archaeology 3: Early herders and their pocks* (pp. 395-410). Oxford: BAR International Series.
- Wheeler, J. (1995). Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society*, 54, 271-295.
- Wheeler Pires-Ferreira, J., Pires-Ferreira, E., & Kaulicke, P. (1976). Preceramic animal utilization in the Central Peruvian Andes. *Science*, 194, 483-490. <https://doi.org/10.1126/science.194.4264.483>
- Wing, E. (1972). Utilization of animal resources in the Peruvian Andes. In S. Izumi, & K. Terada (Eds.). *Andes 4: Excavations at Kotosh, Perú* (pp. 327-352). Tokyo: University of Tokyo Press.
- Wu, C. (2013). Towards linear-time incremental structure from motion. *Proceedings - 2013 International Conference on 3D Vision, 3DV 2013*, 127-134. <https://doi.org/10.1109/3DV.2013.25>
- Yacobaccio, H. D. (2010). Osteometría de llamas (*Lama glama L.*) y sus consecuencias arqueológicas. In M. A. Gutiérrez, M. De Nigris, P. M. Fernández, M. Giardina, A. Gil, A. Izeta, G. Neme, & H. Yacobaccio (Eds.). *Zooarqueología a principios del siglo XXI: Aportes teóricos, metodológicos y casos de estudio* (pp. 65-75). Buenos Aires: Ediciones del Espinillo.