

# PLANIMETRÍA DE ALTA RESOLUCIÓN DEL DOLMEN DE MENGA (ANTEQUERA, MÁLAGA) MEDIANTE ESCANEADO LÁSER TERRESTRE, LEVANTAMIENTO 3D Y FOTOGRAMETRÍA

Víctor Baceiredo Rodríguez<sup>1</sup>, Daniel Baceiredo Rodríguez<sup>1</sup>, Leonardo García Sanjuán<sup>2</sup> y Carlos P. Odriozola Lloret<sup>2</sup>

## Resumen:

A pesar de la larga historia de investigación y actuaciones administrativas que acumulaban ya desde finales del siglo XIX, cuando en 2004 se inició la actual etapa de su gestión, los tres grandes megalitos antequeranos (Menga, Viera y El Romeral) carecían de una cartografía de elevada resolución que sirviese de apoyo a la planificación de su protección, conservación e investigación. Para comenzar a resolver esta grave deficiencia, en 2005 se realizó un trabajo de escaneado láser terrestre, levantamiento 3D y fotogrametría del dolmen de Menga. En este artículo se presenta un resumen de dicho trabajo, describiéndose su base técnica y conceptual, así como los resultados que se obtuvieron, y citándose asimismo ejemplos del impacto altamente positivo que ha tenido sobre la gestión e investigación de este gran monumento megalítico.

**Palabras clave:** megalitismo, fotogrametría, escaneado láser terrestre, restitución 3D, Menga, Antequera, España.

## HIGH-RESOLUTION CARTOGRAPHIC SURVEY OF THE MENGA DOLMEN (ANTEQUERA, MÁLAGA, SPAIN) THROUGH TERRESTRIAL LASER SCANNING, 3D MODELLING AND PHOTOGRAMMETRY

### Abstract:

Despite a long history of research and conservation dating back to the late 19th century, when the current stage in the management of the three large Antequeran megalithic monuments started in 2004 there was an almost complete absence of high-resolution cartography to support their study and protection. To being to solve this severe deficiency, a high-resolution cartographic survey of Menga through terrestrial laser scanning, 3D modelling and photogrammetry was carried out. In this paper we present a short summary of that work, describing its technical and conceptual basis as well as the results that were obtained. In addition, we briefly discuss some examples of the highly positive impact this newly developed cartography has had on the management and research of this megalithic monument.

**Keywords:** Megaliths, Photogrammetry, Terrestrial Laser Scanning, 3D Restitution, Menga, Antequera, Spain.

<sup>1</sup> Técnicas Documentales Tecnológicas S.L.

<sup>2</sup> Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Sevilla.

Recibido: 16/10/2014; Aceptado: 20/11/2014

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde finales del siglo XIX, los megalitos antequeranos cuentan con un sólido marco de protección legal que los caracteriza como bienes de primer orden dentro del patrimonio prehistórico nacional español y andaluz (Ruiz González, 2009: 20). El dolmen de Menga fue declarado Monumento Nacional ya en 1886, mientras que el dolmen de Viera recibiría esa misma declaración en 1923, dos decenios después de su descubrimiento, y el *tholos* de El Romeral pasaría a pertenecer al Tesoro Artístico Arqueológico Nacional desde 1926, siendo declarado Monumento Histórico Artístico en 1931. Tras el traspaso de las competencias a la Junta de Andalucía a mediados de los 1980 se crearía el Conjunto Arqueológico Dólmenes de Antequera (en adelante CADA) como unidad específica de gestión de la Junta de Andalucía (1986), procediéndose en 2009 a la inscripción de los tres monumentos en el Catálogo General del Patrimonio Histórico Andaluz. El 2012 se produjo la inclusión de los megalitos antequeranos en la Lista Tentativa de Patrimonio Mundial de UNESCO, siendo en la actualidad candidatos oficiales del estado español a la Lista de Patrimonio Mundial propiamente dicha en 2016.

A pesar de que las disposiciones legales para su protección han cumplido ya un siglo, cuando en el año 2004 se inició una fase completamente nueva en su gestión, el CADA padecía un severo déficit de estudios científico-técnicos especializados para el conocimiento del estado de conservación de los bienes bajo su tutela y para la planificación de su futura protección. A este respecto, uno de los problemas más apremiantes era la completa inexistencia de una cartografía y planimetría de detalle de los monumentos megalíticos y su entorno. Concretamente, en el caso de Menga, objeto de este trabajo, aparte de los diversos croquis y recreaciones artísticas publicadas a lo largo del siglo XIX (ver síntesis en Sánchez-Cuenca López, 2011), los únicos planos existentes eran los elaborados por Joaquín Fernández Ayarragaray en 1898, conservados en el Archivo de la Catedral de Sevilla<sup>1</sup> (Ruiz González, 2009: 15), la planta y la sección publicadas por M. Gómez-Moreno Martínez (1905: 83), y los croquis planimétricos de sección y planta publicados como resultado del proyecto

de investigación "Reconstrucción arquitectónica y paleoambiental en la necrópolis megalítica de Antequera", desarrollado entre 1986 y 1997 por la Universidad de Málaga (Ferrer Palma *et al.*, 2004: 186 y 198). Ninguna de estas bases cartográficas ofrecía el nivel de detalle y rigor técnico suficiente como para convertirse en la base de cualquiera de las actuaciones de tutela o investigación necesarias en Menga, por no decir que ninguna de ellas se encontraba disponible en el soporte digital imprescindible para la eficaz gestión de los datos desde la administración.

Atendiendo a esta perentoria necesidad, en 2005 la dirección del CADA y la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía, decidieron encargar a la empresa Técnicas Documentales Tecnológicas SL (en adelante TDTEC) la realización de una base cartográfica y planimétrica precisa en formato digital de los megalitos antequeranos. Para el primer trabajo se eligió el dolmen de Menga atendiendo a dos razones: en primer lugar por ser Menga el monumento más visitado y de mayor porte del recinto principal del conjunto; y en segundo lugar por la necesidad de integrar en una cartografía digital de elevada resolución las cuadrículas y sondeos que se habían realizado aquel año con objeto de dos intervenciones arqueológicas, una de control para la instalación de un nuevo sistema de iluminación en el monumento<sup>2</sup> y otra de apoyo a su estudio geoarqueológico y geotécnico (Carrión Méndez *et al.*, 2009, 2010). En síntesis, los objetivos del estudio encargado eran los siguientes:

- a. Obtener una base cartográfica y planimétrica precisa, fiable, digital, georreferenciada y a diferentes escalas (1:10.000, 1:1.000 y 1:500) del dolmen de Menga, incluyendo todos sus elementos constructivos internos y externos, incluyendo el túmulo.
- b. Proceder a integrar en esa base cartográfica y planimétrica los registros disponibles de las actuaciones entonces en curso en el monumento y de las previamente llevadas a cabo (especialmente las excavaciones llevadas a cabo por la Universidad de Málaga en las décadas de 1980 y 1990, así como las dos intervenciones de 2005), para lograr una mejor evaluación y planificación de las labores de gestión, en concreto las posi-

1 Fondo Capitular, Materiales Especiales, nº 218, 219 y 220.

2 NAVARRETE PENDÓN, V. (2005): *Memoria de los Trabajos en el Control de Movimientos de Tierras para el Acondicionamiento de Iluminación y Accesos al Sepulcro Megalítico de Menga*, Informe Inédito.

bles y futuras intervenciones de conservación, investigación y/o difusión.

- c. Obtener una base infográfica capaz de dar sustento a la creación de material divulgativo y científico del monumento.

En este artículo se ofrece una breve síntesis de la metodología aplicada en aquel estudio y de los resultados obtenidos, así como una valoración de su significación en la gestión del dolmen de Menga en el último decenio. A pesar del largo tiempo transcurrido desde su realización, este trabajo no ha sido nunca objeto de una publicación específica que detalle sus características y resultados, algo que creemos tiene cierto valor (y cierta proyección futura) desde el punto de vista de la historia de las actuaciones llevadas a cabo en los megalitos antequeranos.

## 2. METODOLOGÍA

El dolmen de Menga es una edificación megalítica colosal, en la que un gran túmulo artificial de unos 50 m de diámetro integra y recubre 24 ortostatos, cinco cobijas y tres pilares de apoyo que forman un espacio interior de una longitud cubierta de 21,5 m

y una altura mínima de 2,66 m. Además de recoger todos estos elementos con el máximo nivel de detalle posible, el estudio realizado en 2005 también tuvo como objetivo prioritario integrar el pozo entonces recientemente descubierto en el fondo de la cámara (un elemento arquitectónico hasta entonces desconocido y que no había sido cartografiado nunca) dentro de la planimetría general. Además se integró la planimetría de detalle de Menga dentro de una cartografía general de todo el espacio protegido circundante. Para el desarrollo de este trabajo se ejecutaron las siguientes acciones:

- a. Fotogrametría aérea a escala 1:3000 a partir de imágenes color, levantamiento topográfico clásico y GPS como base cartográfica de Menga y todo el Recinto 1.
- b. Escaneado láser de Menga para obtener una topografía completa de la superficie de los elementos arquitectónicos que componen este monumento.
- c. Integración de escaneos láser e imágenes digitales.

La solución empleada para la documentación de Menga pasó en primer lugar por el registro de los elementos arquitectónicos utilizando un escáner

Lám. 1: Labores de topografía en el exterior del dolmen de Menga. Fotografía: TDTEC.



Lám. 2: Labores de escaneado láser en el interior del dolmen de Menga. Fotografía: TDTEC.



láser terrestre para establecer la geometría espacial del conjunto y derivar el modelo 3D como base métrica del trabajo, y una secuencia de fotografías de los ortostatos que serían utilizadas en el texturizado 3D del conjunto. Asimismo, se obtuvieron ortofotografías (2D) del túmulo de Menga y el cerro Marimacho (fig. 1). La captura de datos (lám. 1 y 2), fundamental en cualquier proceso de documentación, ya que su diseño condiciona la calidad de los resultados obtenidos posteriormente durante la fase de procesamiento, se realizó en tres fases diferentes:

En una primera fase, se combinó el levantamiento topográfico mediante vuelo fotogramétrico color [2 pasadas, dirección 3066 - 3062 E- W y 5059 - 5061 E- W] a escala 1:3.000 [fotogramas de 23 x 23 cm ( $Ef = 1/3000$ ) con una cámara ZEISS RMK-TOP (distancia focal  $f = 153.99$  mm) a una altura media de vuelo de 450 m con una elevación mínima del sol de 14 h] con la topografía clásica con estación total (SOKKIA SET-300 y Powerset Serie 220), partiendo de las coordenadas obtenidas y radiando bases topográficas en las zonas arboladas y los túmulos de Menga y Viera donde el grado de precisión y detalle de la fotogrametría aérea se estimó insuficiente. Ello permitió obtener una topografía de detalle mediante curvas de nivel a equidistancias de 0,2 m y 1 m para las cur-

vas maestras para el Recinto 1, y de 0,1 m para el dolmen de Menga en su contexto (fig. 2).

En una segunda fase, se combinó el levantamiento topográfico del exterior del túmulo y acceso de la fase anterior con una serie de 24 escaneos láser de Menga, de los que 20 se realizaron en su interior (fig. 3). El volumen de datos láser que generó el escáner LS 880 HE40 ascendió aproximadamente a 30 millones de puntos en cada posicionamiento (240.000 puntos/segundo), generando una nube densa de puntos espaciales (X, Y, Z), junto con sus valores de intensidad (I), con una resolución mínima de 4 mm y una resolución máxima de 32.000 3D - Píxel en 360° y 470.000 3D - Píxel en 360°. En este trabajo, para un mejor tratamiento de la información se escaneó con una resolución de 3.500 x 8.000 pixel, generando ficheros de 90 Mb que contienen el rango y el parámetro de intensidad, con 17 Bit y 11 Bit, respectivamente.

La tercera fase, de procesamiento de los datos láser, comenzó con la depuración de los datos. Para ello se filtraron redundancias y se eliminaron elementos ajenos al yacimiento. Además, se redujo el ruido del escáner. A partir de las nubes de puntos registradas y filtradas se obtuvo el modelo tridimensional del monumento, tras un proceso de triangulación 3D



Fig. 1: Localización de Marimacho y los dólmenes de Menga y Viera dentro del Recinto 1 del CADA. Fotografía: TDTEC.

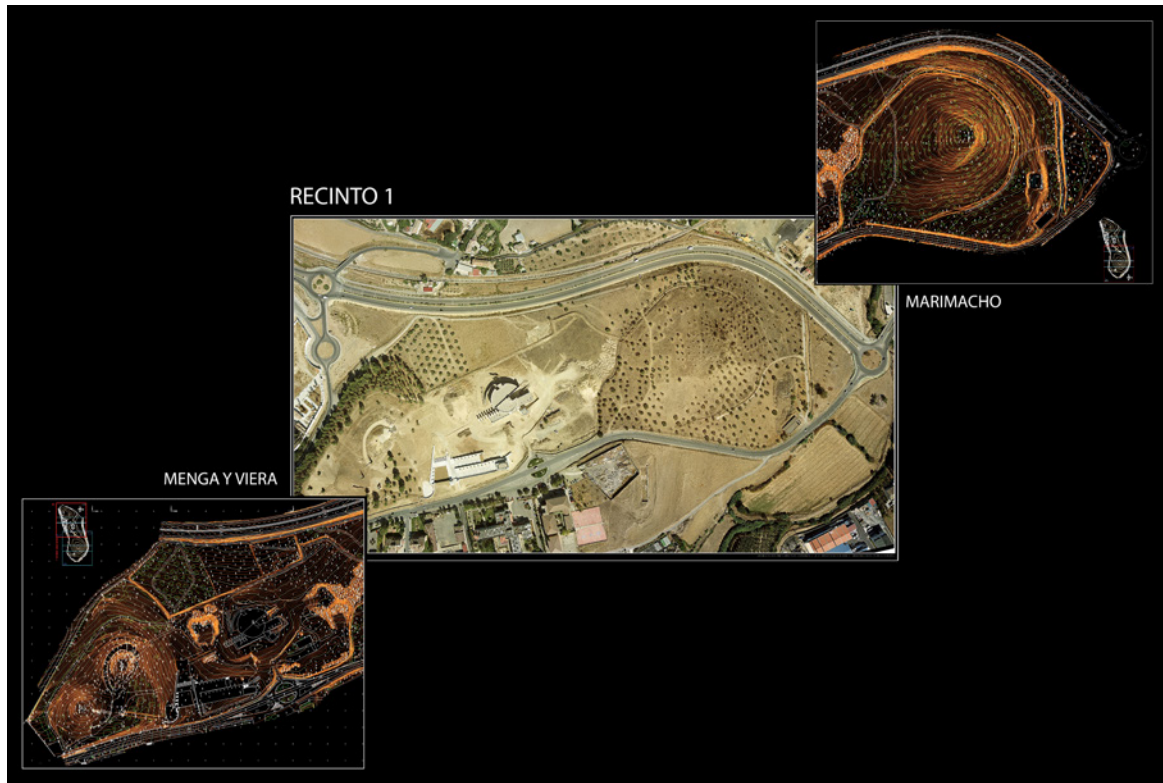


Fig. 2: Ortofotografía fotogramétrica del Recinto 1 y planimetrías de los dólmenes de Menga y Viera y cerro Marimacho. Fotografía: TDTEC.

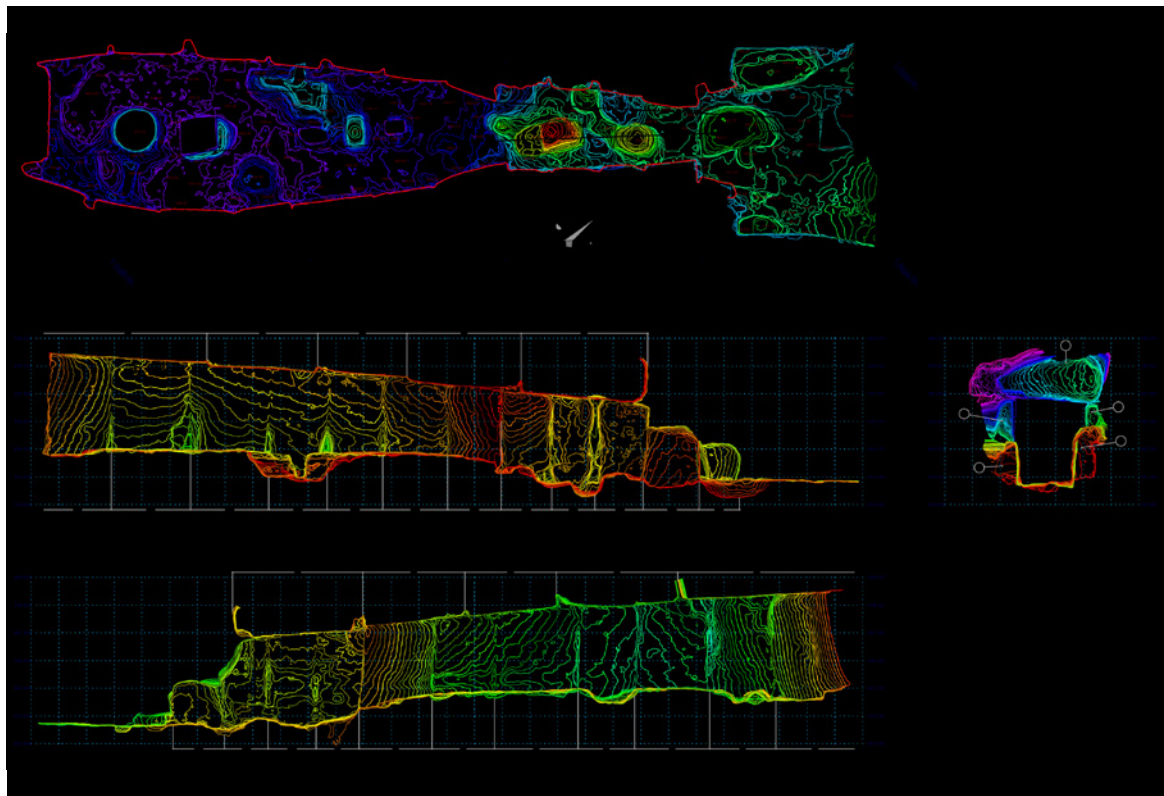


Fig. 3: Detalle de la planimetría obtenida del escaneado láser terrestre del dolmen de Menga (planta, alzados y sección). Imagen: TDTEC

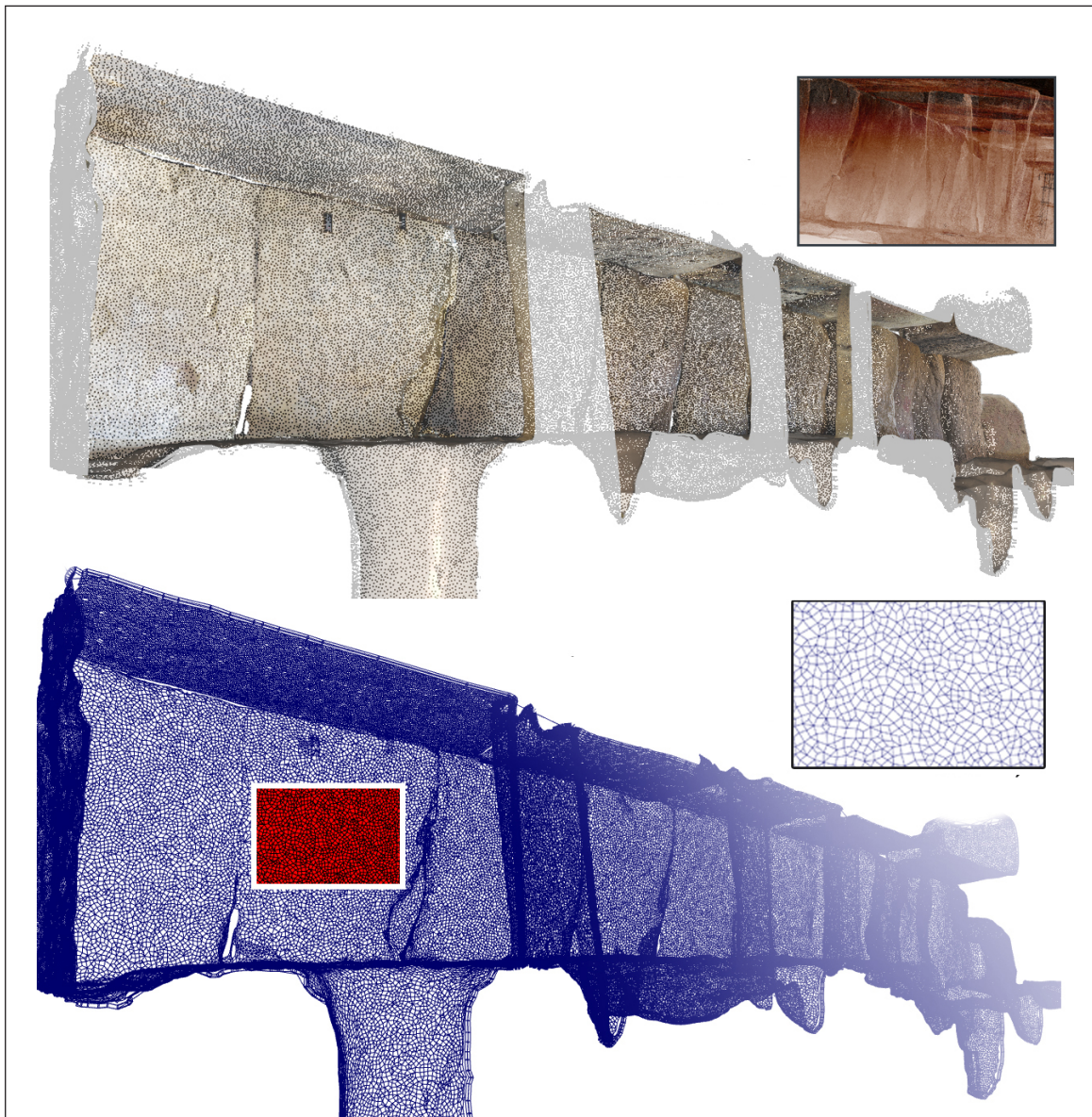


Fig. 4: Proceso de tratamiento de nube de puntos, triangulación y creación de un modelo poligonal del dolmen de Menga. Imagen: TDTEC.

que permitió observar el microrrelieve de los elementos estructurales de Menga (fig. 4).

Para dotar de textura al modelo 3D, y para la generación de modelos a alta resolución se recurrió a la toma de imágenes ortogonales de la superficie de los ortostatos, pilares y cobijas. Las imágenes se rectificaron en bloque, igualando la iluminación, formatos y tamaño, consiguiendo una visualización más ajustada de las distintas texturas (fig. 5). Los vectores U y V de la imagen se manipularon a fin de situar los vértices de las texturas en la posición correcta en cada modelo 3D (fig. 6).

### 3. VALORACIÓN

Cuando se realizaron en 2005, los trabajos descritos aquí constituyeron una implementación pionera que representaba el primer modelo 3D de un megalito en la Península Ibérica. Trabajos ulteriores han aplicado la metodología de escaneo láser a otros sitios y monumentos arqueológicos ibéricos, notablemente cuevas, abrigos, megalitos y estelas (Baceiredo Rodríguez, 2007; Mañana Borrazás *et al.*, 2009; Lerma *et al.*, 2010; Díaz-Guardamino Uribe y Wheatley, 2013; Domingo *et al.*, 2013; García-Moreno y Gárate, 2013; etc.). La combinación

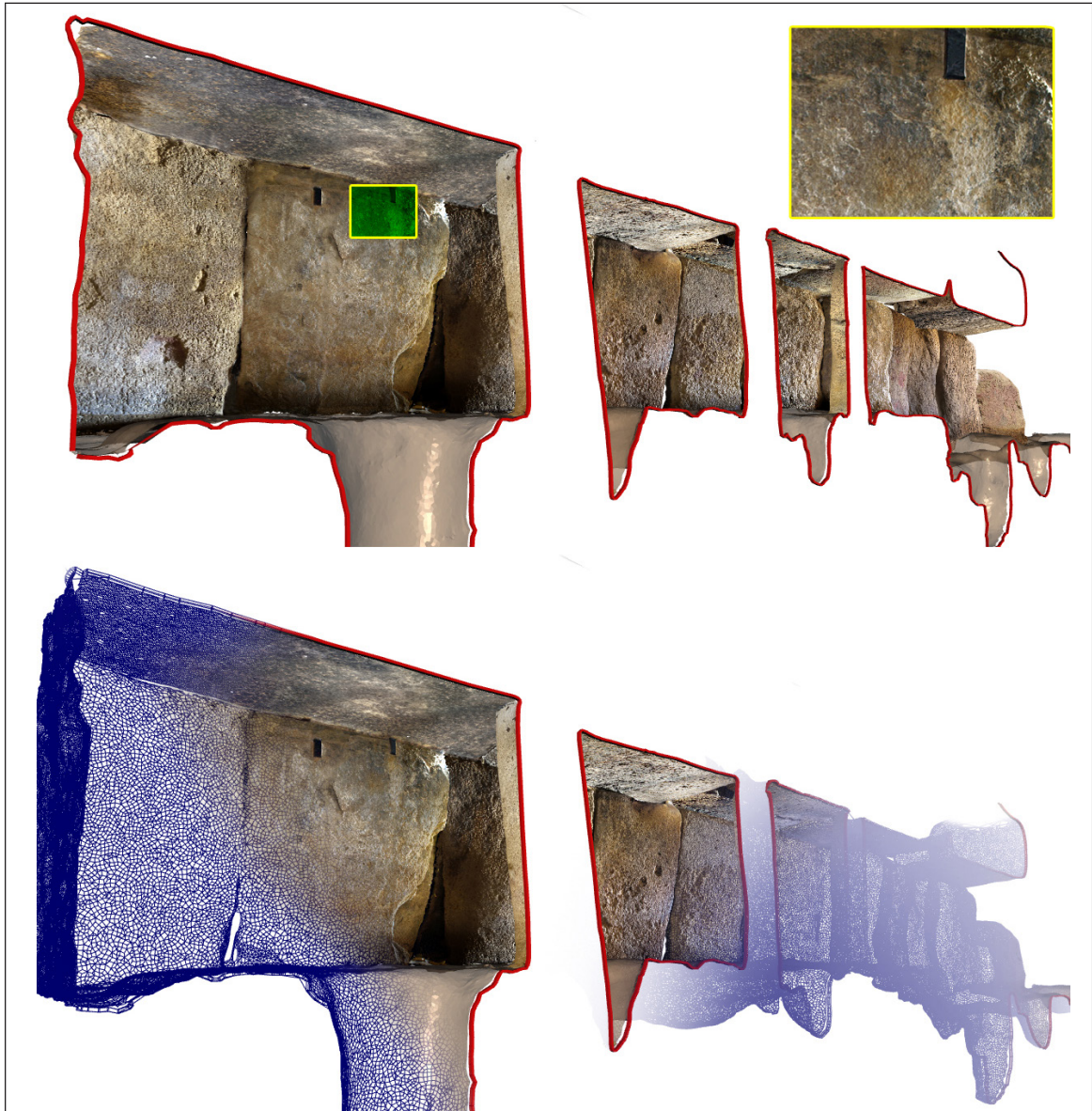


Fig. 5: Proceso de texturizado real y de modelado y texturas superpuestas de ortostatos del dolmen de Menga. Imagen: TDTEC.

#### VISUALIZACIÓN 3D



#### ENCAJE DE LA TEXTURA SOBRE EL MODELO

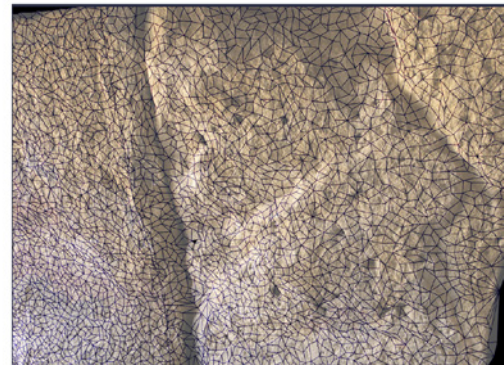
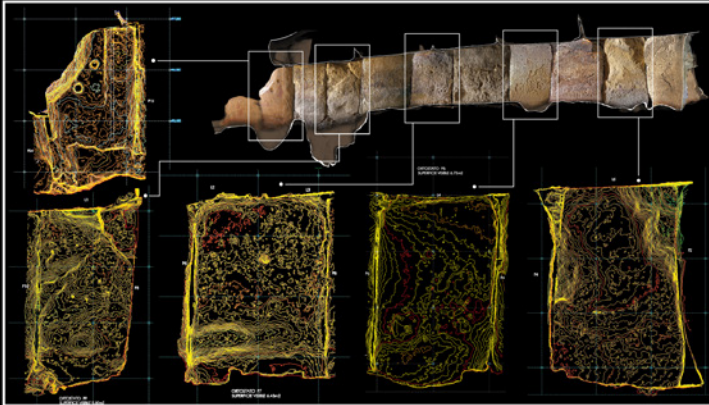


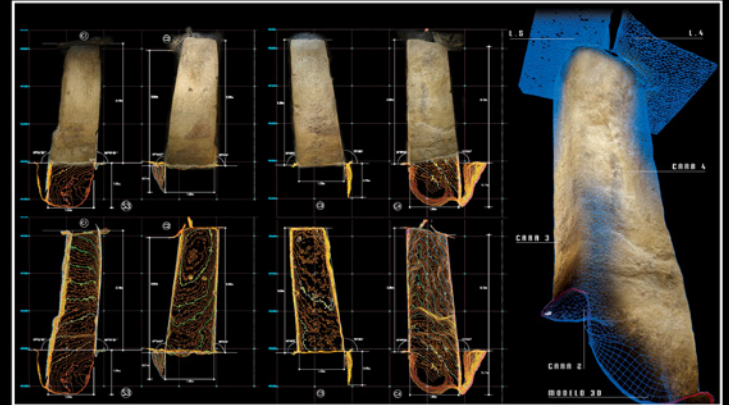
Fig. 6: Proceso de visualización 3D y encaje de la textura sobre el modelo del dolmen de Menga. Imagen: TDTEC.



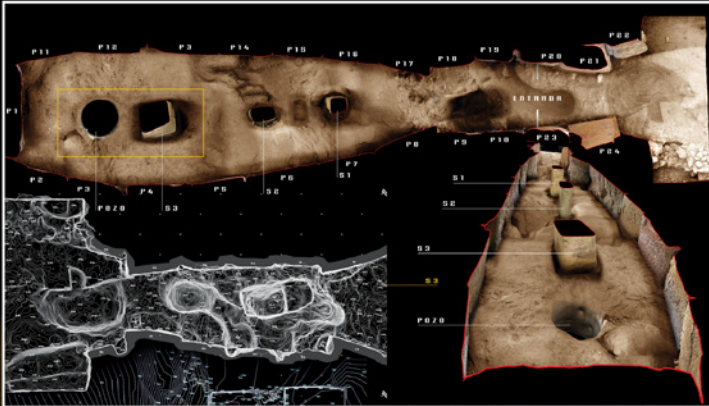
PLANIMETRIA Y ORTO IZQUIERDO



PLANIMETRIA y ORTO PILAR 3



DETALLE PLANIMETRICO Y PLANTA 3D



ORTO LOSAS DE CUBIERTA

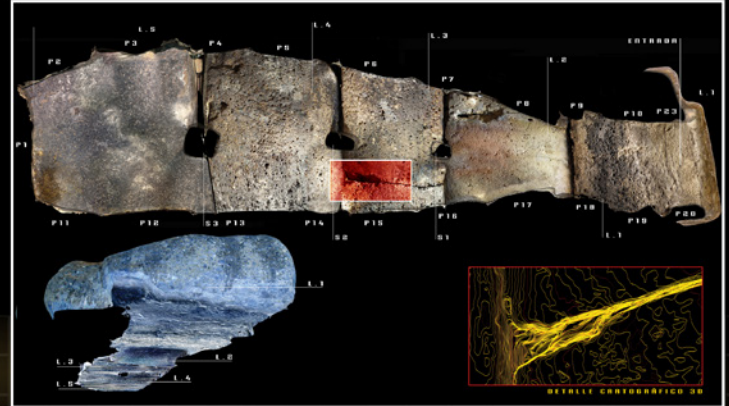


Fig. 7: Planimetría, ortografías e infografías del dolmen de Menga. Imagen: TDTEC.

de fotogrametría y escáner láser terrestre constituye actualmente una solución técnica sólidamente establecida para el registro de elementos arquitectónicos y yacimientos arqueológicos (Campana y Francovich, 2006; Boochs *et al.*, 2014).

Los resultados alcanzados fueron altamente satisfactorios gracias a la integración de las soluciones fotogramétricas a partir de imágenes digitales y el escaneo láser de distancias cortas (fig. 7). La base cartográfica e infográfica de Menga entonces obtenida ha constituido y constituye actualmente una herramienta fundamental en la gestión del CADA, una herramienta que permite superar la grave deficiencia que se planteaba cuando en 2004 se inició la etapa actual de su gestión. Esta base cartográfica ha sido utilizada para generar una planimetría digital de detalle y unificada de las cuadrículas abiertas y los principales elementos arqueológicos descubiertos durante las excavaciones de los años

1980-1990 y posteriormente en 2005-2006 (fig. 8). Esta documentación es de gran importancia para la planificación de ulteriores intervenciones en este monumento, así como para el análisis científico de su compleja biografía.

A nivel de investigación arqueológica, un ejemplo del uso dado al levantamiento planimétrico de alta resolución del dolmen de Menga descrito en este trabajo es el del cálculo de su orientación axial, que permitió abordar el estudio de sus relaciones paisajísticas con La Peña de los Enamorados sobre una base más precisa y exacta (García Sanjuán y Wheatley, 2009; 2010). Este cálculo, o los estudios posteriormente iniciados en el sitio de Piedras Blancas I, en la cara Norte de La Peña, no hubieran sido posibles sin la cartografía de precisión ya descrita. Otro ejemplo es el estudio geoarqueológico de Menga (Carión Méndez *et al.*, 2009; 2010), para el cual se usó el escaneo láser como base cartográfica, incluyendo el

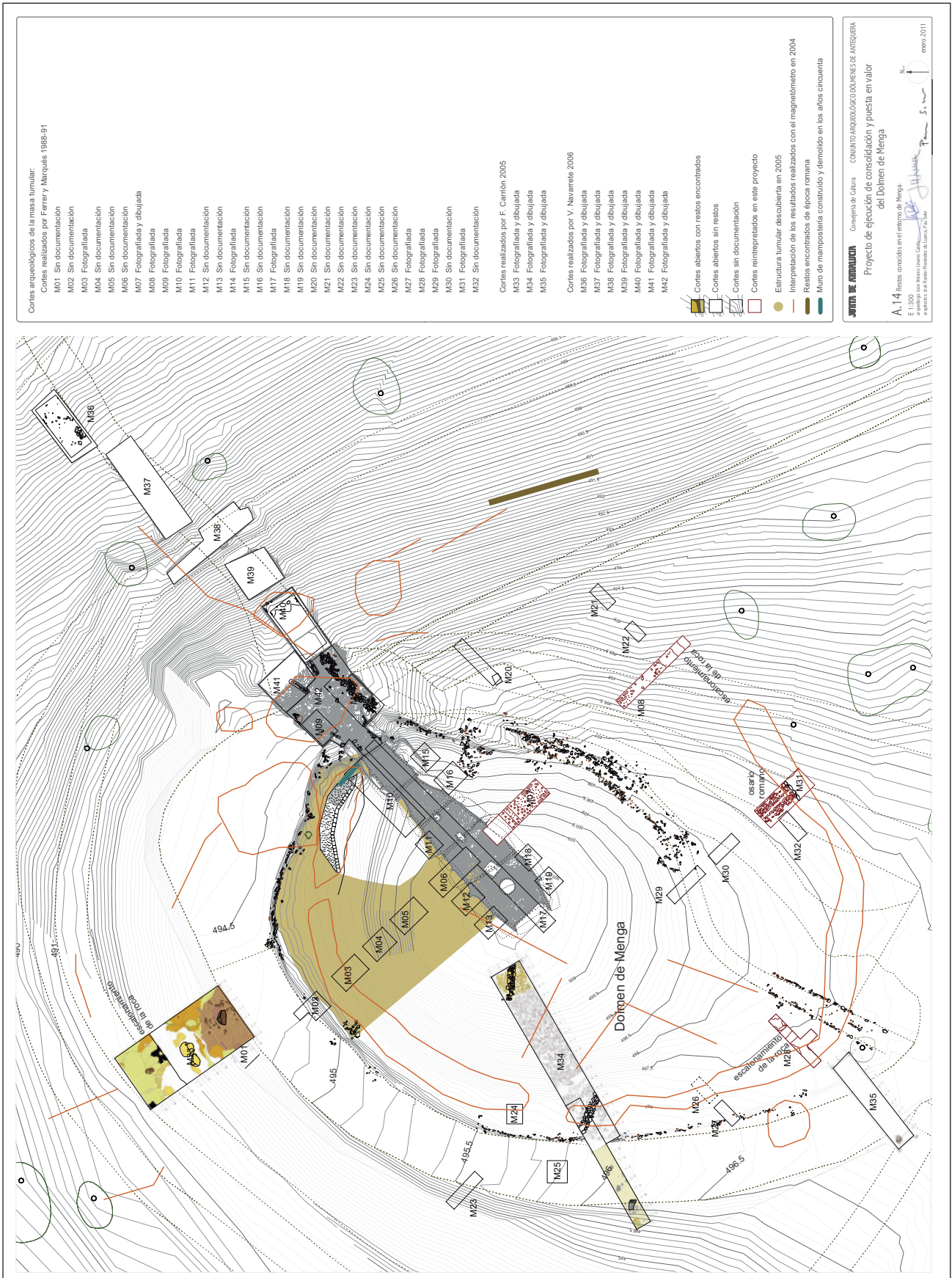


Fig. 8: Base cartográfica unificada de las cuadrículas abiertas y los principales elementos arqueológicos descubiertos durante las excavaciones de las décadas de los 1980, 1990 y 2000. Cartografía: José Ramón Menéndez de Lurca.

cálculo del volumen y peso de cada ortostato, cobija y pilar a partir del área de su superficie. Finalmente, el escaneado láser también ha servido para modelar la iluminación solar en el interior del dolmen, posibilitando otra lectura nueva de su interacción con el paisaje (Lozano Rodríguez *et al.*, 2014).

Tanto para la planificación de la gestión de este magno megalito de cara a su protección y conservación, como para la investigación de su dimensión paisajística y social, por tanto, la planimetría de alta resolución del dolmen de Menga mediante escaneado láser terrestre, levantamiento 3D y fotogrametría, es un recurso de gran importancia y efectividad.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

- BACEIREDO RODRÍGUEZ, V. (2007): "Levantamiento planimétrico mediante escaneado tridimensional y fotogrametría de Cueva Bajondillo", *Cueva Bajondillo (Torremolinos). Secuencia Cronocultural y Paleoambiental del Cuaternario Reciente en la Bahía de Málaga*, (Cortés Sánchez, M. ed.), Diputación de Málaga, Málaga, pp. 87-92.
- BOOCHS, F., TRÉMEAU, A., MURPHY, O., GERKE, M., LERMA, J.L., KARMACHARYA, A., KARASZEWSKI, M. (2014): "Towards A Knowledge Model Bridging Technologies And Applications In Cultural Heritage Documentation", *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences II-5*, pp. 81-88.
- CAMPANA, S. y FRANCOVICH, R. (Eds.) (2006): *Laser Scanner e GPS. Paesaggi Archeologici e Tecnologia Digital*, Firenze, All'Insegna del Giglio
- CARRIÓN MÉNDEZ, F., LOZANO RODRÍGUEZ, J.A., GARCÍA GONZÁLEZ, D., MUÑIZ LÓPEZ, T., FÉLIX, P., LÓPEZ RODRÍGUEZ, C.F., ESQUIVEL GUERRERO, J.A. y MELLADO GARCÍA, I. (2009): "Estudio geoarqueológico de los dólmenes de Antequera", *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy* (Ruiz González, B. ed.), Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 144-163.
- CARRIÓN MÉNDEZ, F., LOZANO RODRÍGUEZ, J.A., GARCÍA GONZÁLEZ, D., MUÑIZ LÓPEZ, T., FÉLIX, P., LÓPEZ RODRÍGUEZ, C.F., ESQUIVEL GUERRERO, J.A. y MELLADO GARCÍA, I. (2010): "Estudio geoarqueológico del conjunto de los dólmenes de Antequera (Málaga, España)", *Monumental Questions. Prehistoric Megaliths, Mounds, and Enclosures. Proceedings of the XV World Congress (Lisbon, 4-9 September 2006)*. British Archaeological Reports International Series 2122, (Calado, D., Baldia, M. y Boulanger, M. eds.), Archaeopress, Oxford, pp. 57-69.
- DÍAZ-GUARDAMINO URIBE, M. y WHEATLEY, D. (2013): "Rock art and digital technologies: the application of Reflectance Transformation Imaging (RTI) and 3D Laser Scanning to the study of Late Bronze Age Iberian stelae", *Menga. Journal of Andalusian Prehistory 4*, pp. 187-202.
- DOMINGO, I., VILLAVARDE, V., LÓPEZ-MONTALVO, E., LERMA, J.L. y CABRELLES, M. (2013): "Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques", *Journal of Archaeological Science 40*, pp. 1879-1889.
- FERRER PALMA, J.E., MARQUÉS MERELO, I., BALDOMERO NAVARRO, A. y AGUADO MANCHA, T. (2004): "Estructuras tumulares y procesos de construcción en los sepulcros megalíticos de la provincia de Málaga: la necrópolis megalítica de Antequera", *Mainake. Estudios de Arqueología Malagueña 26. Los Enterramientos en la Península Ibérica durante la Prehistoria Reciente*, pp. 117-210.
- GARCÍA SANJUÁN, L. y WHEATLEY, D. (2010): "Natural substances, landscape forms, symbols and funerary monuments: elements of cultural memory among the neolithic and copper age societies of southern Spain", *Material Mnemonics. Everyday Memory in Prehistoric Europe* (Lillios, K. T. y Tsamis, V., eds.), Oxbow Books, Oxford, pp. 10-39.
- GARCÍA SANJUÁN, L. y WHEATLEY, D. (2009): "El marco territorial de los dólmenes de Antequera: valoración preliminar de las primeras investigaciones", *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy*, (Ruiz González, B. ed.), Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 128-143.
- GARCÍA-MORENO, A. y GÁRATE, D. (2013): "Low-cost photogrammetry and 3D scanning: the documentation of Palaeolithic parietal art in El Niño cave", *Archaeology in the Digital Era: Proceedings of the International Conference Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA2012, Southampton, March 26-30 2012)*, (Earl, G., Sly, T., Chrysanthi, A., Murrieta-Flores, P., Papadopoulos, C., Romanowska, I. y Wheatley, D., eds.), Amsterdam University Press, Amsterdam, pp. 344-349.
- GÓMEZ-MORENO MARTÍNEZ, M. (1905): "Arquitectura tartesia: la necrópolis de Antequera", *Boletín de la Real Academia de la Historia 47*, pp. 81-132.
- HOSKIN, M.A. (2001): *Tombs, Temples and Their Orientations: A New Perspective on Mediterranean Prehistory*, Ocarina Books, Oxford

- LERMA, J.L., NAVARRO, S., CABRELLES, M. y VILLAVERDE, V. (2010): "Terrestrial laser scanning and close range photogrammetry for 3D archaeological documentation: the Upper Palaeolithic Cave of Parpalló as a case study", *Journal of Archaeological Science* 37, pp. 499-507.
- LOZANO RODRÍGUEZ, J.A., RUIZ PUERTAS, G., HÓDAR CORREA, M., PÉREZ VALERA, F. y MORGADO RODRÍGUEZ, A. (2014): "Prehistoric engineering and astronomy of the great Menga Dolmen (Málaga, Spain): A geometric and geoarchaeological analysis", *Journal of Archaeological Science* 41, 759-771.
- MAÑANA BORRAZÁS, P., BLANCO-ROTEA, R. y RODRÍGUEZ PAZ, A. (2009): "La documentación geométrica de elementos patrimoniales con láser escáner terrestre. La experiencia del LaPa en Galicia", *Cuadernos de Estudios Gallegos* 122, pp. 33-65.
- RUIZ GONZÁLEZ, B. (2009): "El Proyecto de tutela y valoración de los dólmenes de Antequera", *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy*, (Ruiz González, B. ed.), Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 12-37.
- SÁNCHEZ-CUENCA LÓPEZ, J. I. (2011): *Menga en el Siglo XIX. El Más Bello y Perfecto de los Dólmenes Conocidos, Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*. Monografías nº 2. Junta de Andalucía, Sevilla.