

OBTENCIÓN E INTERPRETACIÓN DEL MODELO ELÉCTRICO 3D DE LA ESTRUCTURA TUMULAR DEL YACIMIENTO CALCOLÍTICO DE VILLAVIEJA (GRANADA, ESPAÑA)

OBTAINING AND INTERPRETING A 3D ELECTRICAL MODEL OF THE TUMULAR STRUCTURE OF VILLAVIEJA CALCOLITHIC SITE (GRANADA-SPAIN)

José LARA CACHERO*

Resumen

El presente estudio ha consistido en efectuar una prospección geofísica utilizando el método eléctrico 3D sobre una elevación significativa en el terreno próximo al yacimiento Calcolítico de Villavieja, Fuentes de Cesna-Algarinejo (Granada); con el objetivo de identificar modificaciones antrópicas en el subsuelo y determinar si se trata de una estructura tumular. Tanto la adquisición y el procesado de datos han estado orientados a obtener un modelo tridimensional del subsuelo que ha sido interpretado en clave geoarqueológica, deduciéndose la presencia de rasgos de origen antrópico compatibles con la hipótesis de que el área investigada sea una estructura tumular.

Palabras clave

Prospección geofísica, modelo eléctrico 3D, yacimiento de Villavieja, túmulo calcolítico.

Abstract

This study has consisted in a geophysical survey using the 3D electrical method carry out over a significant ground elevation near of the Chalcolithic site of Villavieja, Fuentes of Cesna-Algarinejo (Granada, Spain). The objective of this work was to identify anthropogenic modifications in the subsurface to determine if this elevation may correspond to a tumulus structure. Both the acquisition and data processing have been designed to obtain a tri-dimensional subsurface model that has been interpreted in geoarchaeological key, inferring the presence of anthropogenic features which are according with the hypothesis that the prospected area to be a tumulus structure.

Keywords

Geophysical prospection, 3D-electric model, Villavieja site, calcolithic tumulus

INTRODUCCIÓN

El presente estudio ha tenido como objetivo la identificación de rasgos antrópicos en una elevación significativa situada a extramuros del yacimiento Calcolítico de Villavieja, en Fuentes de Cesna-Algarinejo (Granada) (Fig. 1). Nuestro objetivo principal, consistía en corroborar si dicha elevación podría corresponder a una estructura tumular.

Considerando las características constructivas que presentan los túmulos y teniendo en cuenta la topografía y la geología de la zona de estudio, se planificó realizar una prospección geofísica utilizando el método no destructivo de perfiles de tomografía eléctrica (ERT, *electrical resistivity tomography*). Dicho método se basa en medir la resistividad de los materiales del subsuelo a lo largo de perfiles lineales para obtener secciones en términos de distribución de resistividades. Así, el área de estudio quedó barrido mediante 42 perfiles eléctricos (2D-ERT) paralelos y espaciados mediante 0.5 m, con el objetivo de conseguir una resolución suficiente alta para elaborar un modelo geoelectrico tridimensional (3D-ERT) de todo el montículo.

* Departamento de Prehistoria y Arqueología. Instituto Universitario de Investigación Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos. Universidad de Granada. LaraCachero@correo.ugr.es

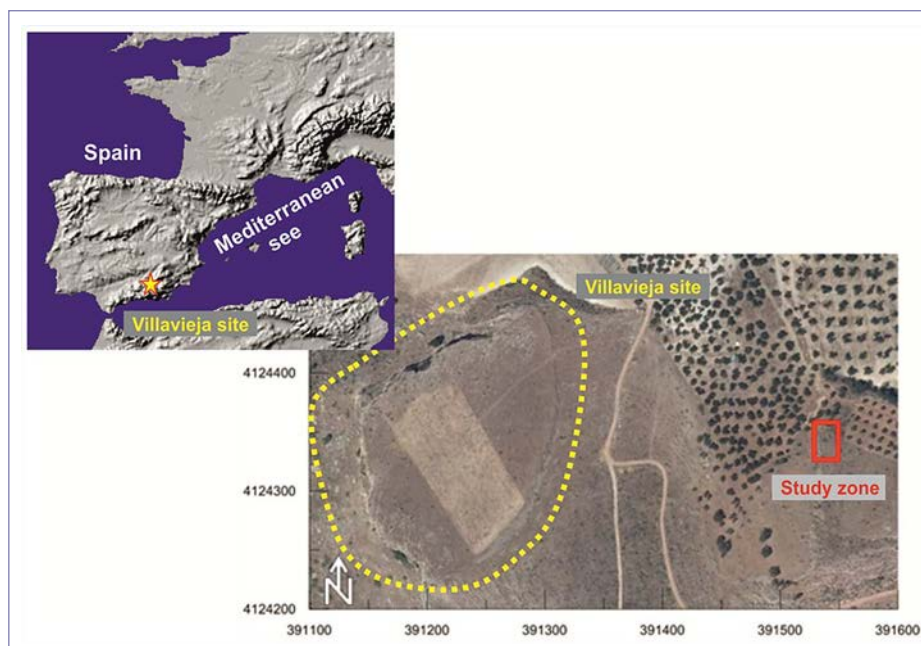


Fig. 1. Situación de la zona de estudio. El rectángulo rojo marca la localización del montículo distante unos 300 m del yacimiento calcolítico de Villavieja, situado al Oeste.

La primera prospección eléctrica aplicada a la arqueología data del año 1946 y fue realizada por Richard Atkinson en el yacimiento Dorchester-on-Thames, Inglaterra (AITKEN 1961). En ese momento usaron una técnica de medición que solo obtenía un corte horizontal de anomalías eléctricas. Durante este trabajo, se detectó una estructura muraria y a partir de ese momento el método comenzó a generalizarse (GAFFNEY 2003). Sin embargo, hubo que esperar varias décadas (hasta los años 80) momento en que el avance instrumental de los equipos favoreció la obtención de datos geofísicos y aumentó su resolución. Estas innovaciones motivaron su uso y aplicación en cualquier tipo de yacimientos. En la actualidad, los perfiles de tomografía eléctrica (2D) son, junto con las calicatas eléctricas, las técnicas de prospección eléctricas más usadas en arqueología; ejemplos de ello los encontramos en Teixidó *et al.* (2014), quienes utilizan perfiles ERT para detectar las tumbas romanas sepultadas en el Conjunto Arqueológico de Carmona (Sevilla) o Rey *et al.* (2010) los utiliza para detectar el conjunto de estructuras de murarias en el yacimiento romano de Cástulo (Jaén), por su parte, los autores Tsourlos y Tsokas (2011) la emplearon para estudiar las condiciones de cimentación de la Acrópolis de Atenas y poder entender su construcción y así planificar su futura conservación.

Sin embargo, el uso de una metodología eléctrica 3D es aún de muy escasa aplicación ya que supone un mayor esfuerzo, tanto en la adquisición de los datos de campo como en su posterior tratamiento. Aun así, cabe destacar uno de los primeros estudios realizados por Negri *et al.* (2008) donde se presentaban los datos 3D a modo de cortes horizontales del terreno, o bien el trabajo más actual de Leucci *et al.* (2012) donde se elabora un modelo eléctrico 3D con 10 perfiles ERT paralelos, espaciados entre sí 1 m, del subsuelo de la nave principal en ruinas de la Iglesia del Espíritu Santo de Occhiolá (Italia).

En este contexto, el estudio que presentamos en este trabajo es novedoso. Primero por hemos conseguido aumentar la resolución del modelo eléctrico 3D y segundo por la singularidad de este trabajo dadas las características del yacimiento arqueológico en que se ha empleado, un poblado calcolítico.

ZONA DE ESTUDIO

El paraje conocido como los Tajos de Villavieja se localiza en el extremo más occidental de la provincia de Granada, a 1.5 km al Sur del municipio de Fuentes de Cesna (Algarinejo). Ocupa una meseta rocosa delimitada en su lado Suroeste por un pronunciado escarpe rocoso que alcanza cerca de 50 metros de desnivel en algunas zonas. Hacia el Este, desde la parte superior, se abre un plano inclinado que desciende paulatinamente hasta finalizar en una depresión que separa el macizo rocoso de los terrenos circundantes de manera natural. Nuestra zona de estudio se enmarca en un rectángulo de 30 m x 19 m, localizado a 250 m al Este del potente lienzo murario de casi 300 metros que delimita el asentamiento de Villavieja (Fig. 1).

Desde una perspectiva geológica, el asentamiento de los Tajos de Villavieja se encuentra en un territorio donde afloran materiales de edad triásica, del Subbético, representados por arcillas, areniscas, limos y carbonatos. Otros materiales presentes corresponden al Mioceno Superior, abundando las calcarenitas bioclásticas en general gruesas y poco cementadas con presencia abundante de paleofauna (RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ 1982).

El yacimiento de los Tajos de Villavieja ha permanecido en un rincón casi desconocido para la investigación arqueológica. La primera referencia localizada se remonta al siglo XIX, citada por el geógrafo Pascual Madoz en su diccionario (MADOZ 1845: tomo I: 552, voz Algarinejo), pero a pesar de esta temprana mención el lugar permaneció en el olvido hasta que el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada, a través del profesor A. Morgado, informó de su existencia ante la Delegación Provincial de Educación Cultura y Deporte de Granada. Este informe estuvo motivado por las noticias recibidas por parte de un vecino de la localidad que advertía de las afecciones por maquinaria agrícola que estaba sufriendo este yacimiento arqueológico, sobre todo su muralla. Tras unos trabajos de inspecciones y teniendo en cuenta la envergadura del recinto que se estaba viendo afectado se planteó una primera actuación arqueológica con la que determinar su adscripción cronocultural y así poder valorar su importancia patrimonial (Fig. 2).



Fig. 2. (a) Yacimiento de Villavieja desde el aire; cortesía de F. Carrión (2014). (b) Planimetría de la excavación de Villavieja y sus sondeos excavados; cortesía del Proyecto Villavieja.

Desde 2012 hasta 2014 se han llevado a cabo tres campañas de excavación arqueológica incluidas dentro de un proyecto de investigación de actividad arqueológica puntual. Éstas han sido desarrolladas por el equipo del Proyecto Villavieja (MORGADO *et al.*, 2013) y gracias a las cuales se ha podido documentar y agotar la secuencia estratigráfica de este asentamiento así como establecer su cronología absoluta. En la actualidad se cuenta con cuatro dataciones absolutas (laboratorio Beta Analytic, Miami-Florida), las cuales han permitido establecer dos fases de ocupación: Villavieja I (4800-4500 cal. B.P.) y Villavieja II (4400-4000 cal. B.P.).

ADQUISICIÓN Y PROCESADO DE DATOS

Adquisición de datos

Para cubrir toda la zona de estudio se planificaron 39 perfiles eléctricos paralelos (Fig. 3a) de 30 m de longitud dispuestos paralelamente y separados 0.5 m entre sí, la distancia entre los electrodos también quedó fijada en 0.5 m (Fig. 3b). El diseño de este dispositivo experimental ha permitido alcanzar una profundidad de investigación de 5 m y disponer de una retícula para el modelo 3D-ERT de 0.25 m de resolución, suficiente para la detección de estructuras tumulares (ortostatos, agrupaciones de mampuestos, zonas vacías, etc.). Adicionalmente, se realizaron tres perfiles orientados perpendicularmente a los anteriores a fin de disponer de un control sobre posibles efectos de direccionalidad de las medidas.



Fig. 3. Emplazamiento de los perfiles eléctricos en la zona de estudio, el círculo amarillo marca la elevación a investigar. (b) Vista general de la adquisición de un perfil eléctrico. Las medidas de resistividad aparente se realizaron con un equipo de tomografía TERRAMETER LS-12 (ABEM; Inc.). (c) En superficie se observan las caras superiores de lo que aparentan ser dos ortostatos paralelos pertenecientes al corredor de acceso, su orientación ha determinado el trazado de los perfiles eléctricos.

La orientación de los perfiles eléctricos vino determinada por los trabajos previos de prospección superficial y a partir de los cuales se localizaron dos ortostatos que afloraban en superficie asociados a una depresión del relieve que nos hacía asociar al típico corredor de acceso de una estructura tumular y que se encontraría en la actualidad desplomado (Fig. 3c).

Dado el significativo relieve de la zona de estudio, se decidió realizar un levantamiento topográfico de detalle con el fin de elaborar un modelo digital del terreno georreferenciado (MDT) usando un GPS geodésico diferencial (*Thales Z-Max, Inc.*) que entre otras cuestiones, garantiza una precisión entorno a los ± 5 cm. El sistema de georreferenciación utilizado fue UTM-WGS84 (Huso 30) calibrado con bases ya conocidas y existentes en la muralla del yacimiento. Este estudio detallado del relieve no solo nos ha aportado información útil para la interpretación arqueológica, sino que además ha sido imprescindible para aplicar las correcciones topográficas de los perfiles eléctricos.

Obtención del Modelo Digital del Terreno y del Modelo Eléctrico 3D

La creación del modelo digital del terreno georreferenciado se ha realizado con el programa comercial SURFER-V.13 (*Golden Software, Inc.*) que interpola las medidas topográficas conforme a una malla regular que representa de forma uniforme el relieve. El MDT confeccionado permite analizar en detalle el relieve de la zona de estudio y ubicar en él los perfiles realizados.

El paso previo a la obtención del modelo eléctrico 3D ha sido el procesado de los perfiles eléctricos 2D-ERT, para ello se ha utilizado el programa comercial RES2DINV (*Geotomo Software, Inc.*). A todos los perfiles se les ha añadido la topográfica derivada del modelo digital del terreno. En este caso, el procesado ha hecho énfasis en suavizar las medidas de resistividades elevadas que se han detectado en determinadas zonas, aplicando un factor de "damping" más elevado del habitual.

Una vez procesados todos los perfiles eléctricos, éstos han sido ordenados espacialmente conforme su geometría de adquisición (PEÑA, 2008-2014) para generar un modelo de resistividades espaciales del subsuelo (3D-ERT). Este modelo ha sido confeccionado con el programa VOXLER V.3 (*Golden Software, Inc.*). En la Figura 4 se presenta el modelo obtenido junto con el MDT.

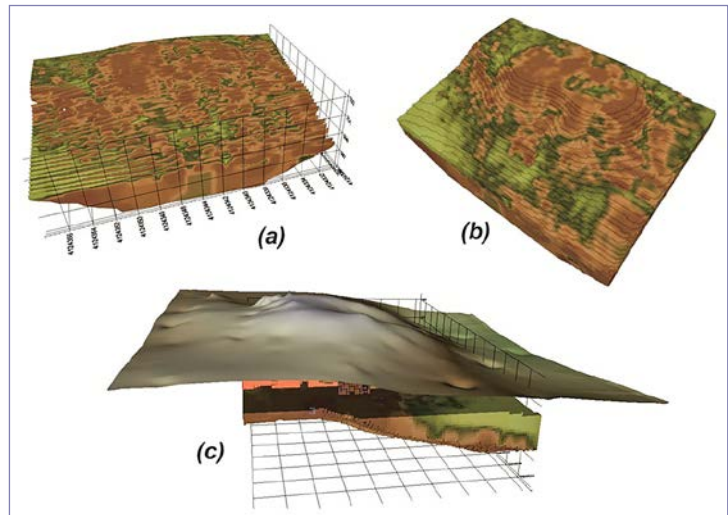


Fig. 4. Construcción del modelo eléctrico 3D-ERT. (a) Se disponen los perfiles espacialmente conforme a su geometría de adquisición. (b) Se interpolan espacialmente las resistividades para formar un modelo compacto tridimensional. (c) Se encaja el modelo eléctrico con el modelo digital del terreno (MDT).

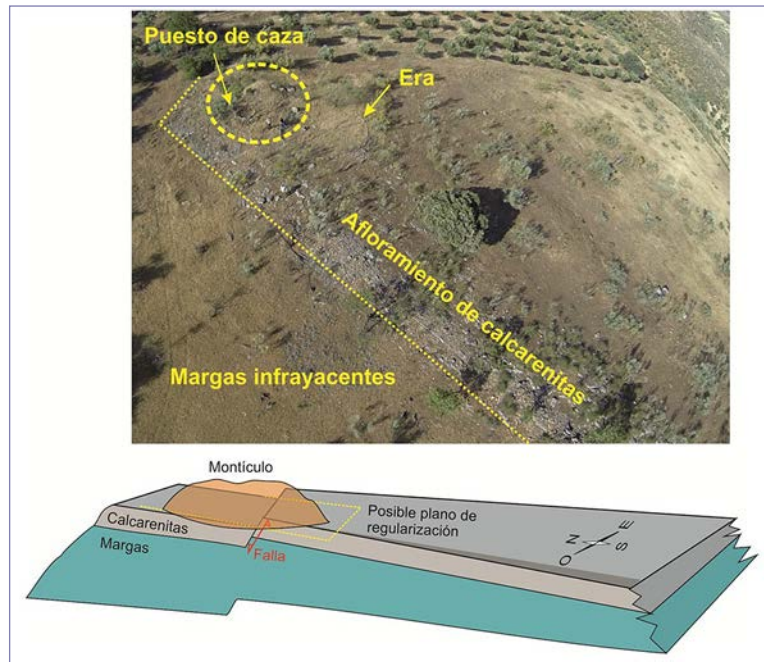
RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

Contexto geoarqueológico

El estudio geológico de la zona investigada establece una unidad basal de calcarenitas que reposa sobre margas miocenas y una unidad superior de depósito afectada por actividades antropogénicas, donde las más evidentes son dos construcciones de relativa reciente construcción realizadas con las mismas calcarenitas y una distribución de bloques dispersos (Fig. 5), lo cual es un indicador de reutilización del material. También cabe notar el afloramiento de calcarenitas cercano que procede del Sur y finaliza en el lateral Norte; dado que la zona de estudio se asienta sobre este banco, es muy probable que éste se halle alzado en el interior del montículo por una falla que podría determinar un nivel de regularización en caso de que se tratase de una estructura tumular. En este supuesto, las calcarenitas provenientes de la regularización se usarían como material en la construcción del montículo.

Para establecer la relación entre los tipos de materiales presentes y sus respectivas resistividades se han considerado una serie de *items*. En primer lugar, se ha tenido presente las condiciones de altas tempe-

Fig. 5. Imagen superior: fotografía aérea (cortesía de F. Carrión) realizada con un dron donde puede apreciarse el puesto de caza, la era adosada y bloques en superficie dispersos. También se observa un estrato de calcarenitas que discurre en dirección Sur-Norte (línea de puntos). El área de influencia del montículo está delimitada con una línea discontinua. Imagen inferior: esquema geológico de la posición del montículo respecto del estrato de calcarenitas y de la probable falla que sirvió como nivel de regularización.



raturas y el consiguiente alto grado de sequedad del terreno con el que se tomaron las medidas (verano), lo cual ha elevado notablemente el valor promedio de las resistividades medidas. En segundo lugar, la profundidad alcanzada de investigación en los perfiles se sitúa sobre los 5 m, de modo que un tramo considerable de los perfiles muestra el substrato geológico y sus correspondientes alteraciones. En tercer lugar, en lo referente a la estructura buscada, ésta se presupone construida con el mismo tipo de material presente en toda la zona, es decir, calcarenitas más o menos alteradas. Lo que indica que los rasgos arqueológicos detectados serán preferentemente modificaciones en la base geológica, suelo perturbado, o bien elementos por encima de ella que, por su disposición, sugieran un origen antrópico.

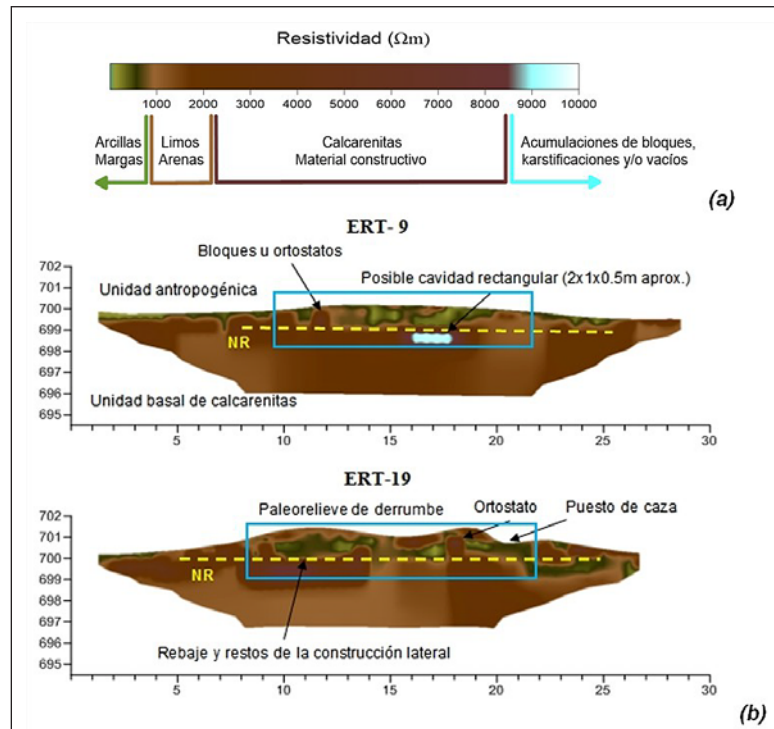
Correlación entre resistividades y las litologías

En base a este contexto geoarqueológico se ha analizado e interpretado cada uno de los perfiles eléctricos y, posteriormente el modelo 3D-ERT. Para ello se han asociado los distintos rangos de resistividades con las litologías presentes, diferenciado dos niveles: un nivel basal más profundo con techo a los 2.5 m de la superficie más elevada, y un nivel superficial que abarca desde esta cota hasta la superficie y que consideramos ha sido modificado antrópicamente. Con esta diferenciación (Fig. 6a), los valores menos resistivos, entre 10 y 550 Ωm , se corresponden con materiales finos de relleno como las arcillas secas y las margas que proceden de estratos localizados en la zona. Las resistividades entre 550 y 1800 Ωm se han relacionado con rellenos de granulometría más gruesa, del tipo limos y arenas con cantos; mientras que el rango intermedio de resistividades, entre 2000 y 8500 Ωm , se ha asociado a las calcarenitas. El amplio rango de resistividad que presentan estas rocas es debido a sus variaciones constitutivas: diferencias de la cantidad de humedad presente en sus poros, grado de alteración (meteorización), presencia de karstificaciones (rellenas o no rellenas), etc. Además, también van a presentar valores de resistividades diferentes en función de si se trata de calcarenitas que forman parte del substrato geológico o si se trata de calcarenitas que formaron parte de construcciones y que ahora son acumulaciones de material derrumbado.

Interpretación geofísica

Siguiendo las pautas anteriores, en la Fig. 6b se muestra, a modo de ejemplo, la interpretación geofísica de dos perfiles 2D-ERT. Nótese como se define una línea divisoria, interpretada como un nivel de regu-

Fig. 6. (a) Escala de resistividades interpretada, donde se muestra la correlación con los diferentes materiales. (b) Perfiles eléctricos interpretados; por debajo del nivel de regularización (NR) las resistividades corresponden al substrato más homogéneo de calcarenitas, mientras que las resistividades por encima definen una unidad heterogénea donde conviven calcarenitas usadas en la construcción y materiales de relleno. El recángulo azul indica la zona del montículo.



larización (NR), donde la parte inferior viene definida por resistividades que corresponden al substrato más homogéneo de calcarenitas, mientras que las resistividades por encima definen una unidad heterogénea donde conviven calcarenitas usadas en la construcción y materiales de relleno. En ambos perfiles se detectan una serie de rebajes que podrían indicar sectores excavados y sectores más resistivos dentro de la unidad superior asimilables a ortostatos. Además, en la parte central del perfil ERT-19 se detecta una depresión significativa en el relieve que puede indicar un paleo-derrumbe de la estructura.

En base a los anteriores análisis se ha interpretado el modelo eléctrico 3D-ERT. En la Fig. 7 se representa una selección de imágenes 3D utilizadas para establecer el modelo arqueológico. En esta interpretación se ha diferenciado la acumulación de calcarenitas aportadas antrópicamente de las pertenecientes al substrato geológico. Las primeras están representadas por resistividades comprendidas entre 1800 y 4800 Ωm y se les ha asignado un color anaranjado, las otras mantienen la escala de la Fig. 6a, al igual que el resto de los demás materiales.

Las dos primeras imágenes (Fig. 7a) muestran una vista general del montículo; en el modelo de la izquierda se ha eliminado la parte exterior al montículo, mientras que en el modelo de la derecha se incorpora dicha parte y se eliminan los materiales de relleno fino. Las imágenes de la Fig. 7b se han elaborado para estimar las dimensiones de los elementos más notables del posible túmulo. También se ha calculado el volumen de material correspondiente a las calcarenitas aportadas antrópicamente (masa rojiza en la Fig. 7a izquierda) resultando, aproximadamente, 145 m^3 ; a este volumen hay que añadirle el volumen de sedimentos y de relleno fino que es, aproximadamente, de 286 m^3 (masa verde y ocre en la Fig. 7a derecha). Finalmente, en la Fig. 7c se muestra la posible localización de la cámara.

Interpretación arqueológica

La interpretación arqueológica de los perfiles eléctricos y del modelo 3D-ERT ha consistido en determinar y caracterizar la estructura interna del montículo. El proceso ha conllevado identificar en cada perfil (cortes 2D-ERT) el nivel de regularización (NR) y, a partir de él, analizar la unidad inferior para determinar posibles zonas de excavación y la unidad superior para detectar si la acumulación de bloques de calcarenitas posee alguna característica constructiva. La continuidad de los elementos detectados en los perfiles y su posible geometría se ha determinado con el modelo 3D-ERT. Según ello, se han deducido los siguientes aspectos:

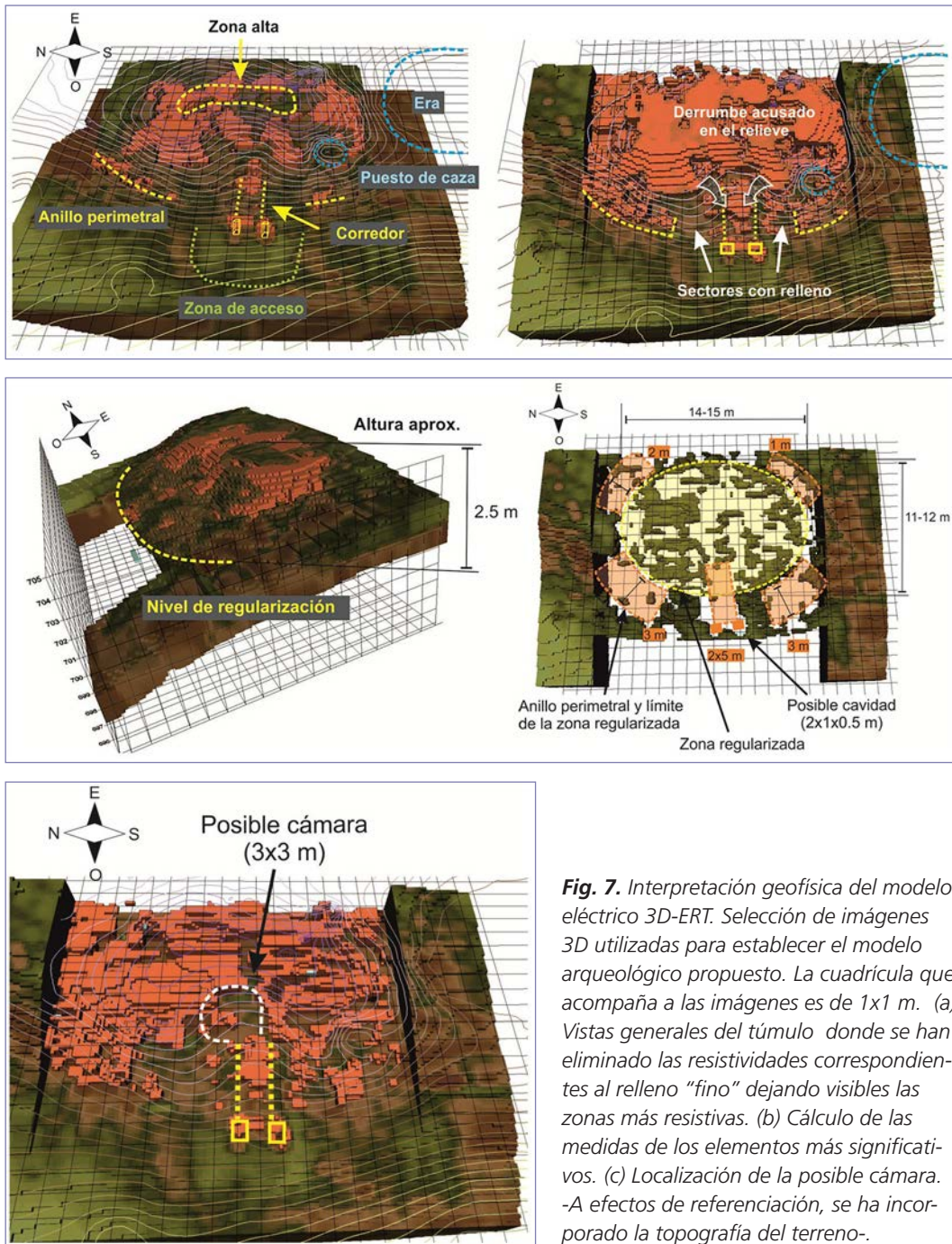


Fig. 7. Interpretación geofísica del modelo eléctrico 3D-ERT. Selección de imágenes 3D utilizadas para establecer el modelo arqueológico propuesto. La cuadrícula que acompaña a las imágenes es de 1x1 m. (a) Vistas generales del túmulo donde se han eliminado las resistividades correspondientes al relleno "fino" dejando visibles las zonas más resistivas. (b) Cálculo de las medidas de los elementos más significativos. (c) Localización de la posible cámara. -A efectos de referenciación, se ha incorporado la topografía del terreno.

- La estructura tumular se asienta sobre un estrato de calcarenitas poco potente suprayacente a una capa de margas.
- Las evidencias en superficie indican que la estructura tiene un bajo nivel de conservación, de forma que los mampuestos que la constituían, en la actualidad, se encuentran colapsando el espacio que en un tiempo estuvo vacío. Este acontecimiento unido al hecho de que dichos bloques son del mismo material que el substrato rocoso hace muy complicado la diferenciación entre unos elementos y otros.

- En base a paralelos cronológicos y a los modelos de resistividad se presenta en la Fig. 8 el modelo arqueológico simplificado con las respectivas dimensiones, en el cual se identifica: i) Un anillo de piedras perimetral que delimita todo el conjunto. ii) Un corredor de acceso, semiexcavado en el sustrato y construido en la unidad superior con mampuestos. iii) Al que sigue una cámara principal cuyos elementos sustentantes pueden ser ortostatos y/o mampuestos; probablemente la cubierta se construyó a base de mampuestos con la técnica de aproximación de hiladas.

Teniendo en cuenta el contexto arqueológico de la zona de estudio, esta estructura tumular se puede correlacionar cronológicamente con el yacimiento de los Tajos de Villavieja, con el que estaría vinculado. La ocupación más antigua de este asentamiento, según las actuales investigaciones, indican que la meseta de los Tajos de Villavieja se ocupa durante la primera mitad del III milenio cal. B.C. construyéndose en este momento el recinto amurallado visible. Por tanto, esta estructura tumular debe corresponderse con uno de los lugares de enterramiento de dicho asentamiento.

Además, su ubicación extramuros y enfrentada a la muralla refuerza su vinculación visual al mismo. De igual modo, el pasillo de acceso a la cámara se orienta hacia el Oeste, donde se sitúa el asentamiento amurallado, reforzando esta vinculación.

En este marco, las estructuras tumulares de corredor y cámara circular (?) son propias en el contexto de la plena Edad del Cobre en todo el sur de la Península Ibérica. Se trataría por tanto de un túmulo funerario megalítico que, por su zonificación interior, se correspondería con similares estructuras megalíticas de tipo *tholos*, tan características en esta región. Cuya concentración se sitúa tanto en el Sureste con el destacado asentamiento de Los Millares (ALMAGRO y ARRIBAS 1963; MOLINA y CÁMARA 2005), como en la gran depresión del Guadalquivir, con ejemplos cercanos como el *tholos* del Romeral (GARCÍA-SANJUAN y WHEATLEY 2009) o los más lejanos del Bajo Guadalquivir como Valencina de la Concepción (CÁMARA y COSTA 2008).

De comprobarse en esta estructura la existencia de una falsa cúpula por aproximación de hiladas, sus características lo distinguirían de los enterramientos megalíticos de Sierra Martilla y las necrópolis megalíticas de la Depresión de Granada (Montefrío, Pantano de Los Bermejales, Illora...). Aunque en Sierra Martilla ciertas cámaras son circulares excavadas en el sustrato rocoso a modo de hipogeo, por lo que habría unas características compartidas. Todo ello no sería más que el reflejo de la diversidad formal de las estructuras de enterramiento colectivo existentes en la región que deben tener su correlato en la complejidad social que se vive en estos momentos del III milenio cal. B.C. en este sector central de Andalucía.

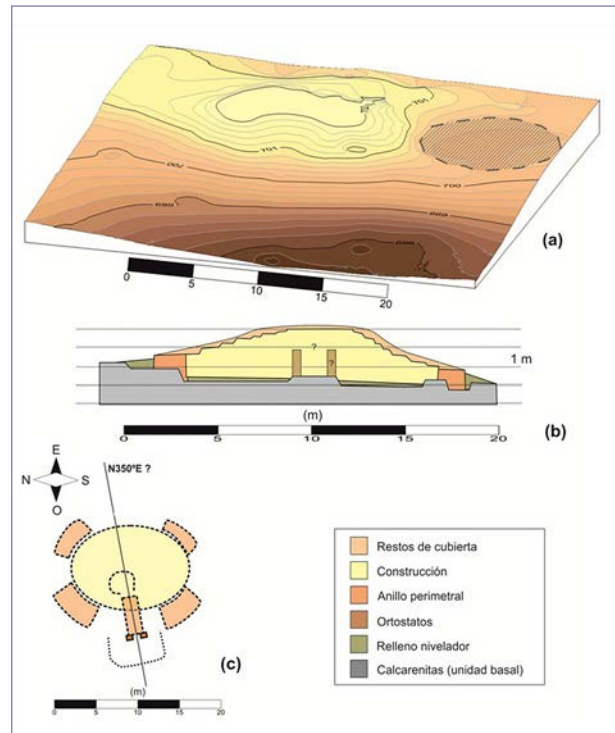


Fig. 8. Modelo arqueológico propuesto a partir de los datos proporcionados por el estudio geofísico. (a) Relieve actual del túmulo y de su entorno. (b) Sección Norte-Sur del modelo arqueológico simplificado. (c) Planta con los rasgos más distintivos del túmulo.

CONCLUSIONES

A nivel metodológico, la tomografía eléctrica ha demostrado que en este tipo de estudios es un método geofísico no destructivo efectivo; eficaz no solo para describir el contexto geológico sino también para detectar las modificaciones antrópicas producidas en él. Aunque limitados por la resolución experimental, los modelos eléctricos 2D-ERT y 3D-ERT han permitido evaluar la potencialidad de la estructura y determinar los elementos constructivos más significativos. En este estudio, el modelo 3D-ERT ha sido crucial para establecer la geometría del túmulo y calcular aproximadamente el volumen del material antrópico asociado a él (calcarenitas y relleno). Ambos aspectos son útiles para planificar futuras intervenciones arqueológicas.

Por otro lado, también es imprescindible en estudios de detalle la realización de un levantamiento topográfico de precisión de la zona de estudio, dado que el relieve suele ser un indicador de las estructuras soterradas, además de servir para la corrección topográfica de los perfiles eléctricos.

La adquisición de datos de campo se ha realizado durante la primera quincena del mes de Agosto, bajo condiciones de extrema aridez de la capa superficial del terreno por la ausencia de lluvias. Esto ha repercutido en el aumento de los valores de resistividad de los materiales superando el rango medio habitual. Por ello, para futuras intervenciones es preferible que la prospección eléctrica se realice en condiciones más favorables del subsuelo, es decir, con cierta humedad superficial.

La interpretación arqueológica del modelo eléctrico ha documentado la existencia de modificaciones antrópicas en la base geológica de la elevación así como la aportación de elementos constructivos cuya disposición sugiere, a pesar del estado de deterioro en el que se encuentra, una intencionalidad dirigida a la construcción de una estructura. Se trataría de una estructura cuya tipología sería compatible con un túmulo delimitado por un anillo de piedras perimetral; en el interior se aprecia un corredor de acceso y una cámara principal que en parte estaría semiexcavada en la base geológica, y cuya cubierta (posiblemente con falsa cúpula de mampuestos) se encontraría colapsando el interior. Además, se han detectado ortostatos a modo de elementos de sujeción que el paso del tiempo y posiblemente el expolio han desplazado de su posición original. Dada su tipología y cercanía con el yacimiento de Villavieja, y a falta de intervenciones arqueológicas que ayuden a determinar su cronología exacta, la estructura detectada puede adscribirse cronológicamente al III milenio cal. BC

En este contexto los resultados obtenidos resultan satisfactorios en términos arqueológicos ya que se ha conseguido proporcionar un modelo interpretable en base al cual plantear posteriores intervenciones. Finalmente, se hace necesario recordar que los rasgos arqueológicos detectables por medio de la prospección geofísica no tienen adscripción cronocultural, y serán las investigaciones e intervenciones posteriores las que determinen su justa cronología.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido posible gracias a la colaboración del Instituto Universitario de Investigación Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos de la Universidad de Granada, que ha facilitado tanto la instrumentación como los programas de tratamiento de datos utilizados, donde parte de este material ha sido financiado a través de fondos FEDER (2003-2004 y 2010-2011).

La realización de este trabajo ha requerido la aprobación por parte de la Delegación Provincial de Educación Cultura y Deporte de Granada del proyecto de intervención arqueológica puntual titulado:

“PROSPECCIÓN GEOFÍSICA SOBRE ESTRUCTURA TUMULAR DEL YACIMIENTO DE VILLAVIEJA (FUENTES DE CESNA-ALGARINEJO, GRANADA)” Ref. B.C.03.088/15, cumpliendo así con el procedimiento administrativo establecido en el Reglamento de Actividades Arqueológicas de la Junta de Andalucía (BOJA núm. 134 de 15 de julio 2003), aprobado por Decreto 168/2003, de 17 de junio. Gracias a Antonio Morgado, coordinador del Proyecto Villavieja por la información compartida y por incorporar este estudio en el proyecto. Del mismo modo agradecer el asesoramiento científico, implicación y participación activa a José Antonio Peña y Teresa Teixidó, sin ellos no hubiera sido posible. Igualmente, agradecer a los compañeros de Máster y alumnos del Grado de Arqueología su participación en las campañas de campo.

BIBLIOGRAFÍA

AITKEN, M. J. (1961): *Physics and Archaeology*, Interscience Publishers Inc., New York.

ALMAGRO-GORBEA, M. (1992): La Teledetección y la Geofísica en España: el estado actual de la cuestión, *Jornadas sobre Teledetección y Geofísicas Aplicadas a la Arqueología (Madrid, 1986)*, Madrid 7-10.

ALMAGRO, M. y ARRIBAS, A. (1963): *El poblado y la necrópolis megalítica de Los Millares (Santa Fe de Mondújar, Almería)*, Madrid, Biblioteca Praehistorica Hispanica III.

ARRIBAS PALAU, A. y FERER PALMA, J. E. (1986): La necrópolis megalítica del pantano de Los Bermejales (Granada), Actuaciones arqueológicas. *Anuario Arqueológico de Andalucía Vol. II. Actividades sistemáticas*, Sevilla, 1987, pp. 307-310.

BRITO-SCHIMMEL, P. y CARRERAS, C. (2005): Aplicación de Métodos Geofísicos en Arqueología: una recopilación sobre el actual estado de la cuestión en España, *Scientific Heritage*, vol. 0 (1), pp. 1-20.

CÁMARA SERRANO, J. A. y COSTA CARAMÉ, M. E. (2008): *Granada. Sitios y Paisajes Megalíticos de Andalucía*. (L. García Sanjuán), Sevilla, Junta de Andalucía.

CARRASCO RUS, J., NAVARRETE ENCISO, M.S., PACHÓN ROMERO, J. A., GÁMIZ JIMÉNEZ, J. y GONZÁLEZ, C. A. (1993): Prospección con sondeos estratigráficos en Sierra Martilla (Loja), *Anuario Arqueológico Andalucía, 1991*, vol. II: pp. 204-211.

CARRASCO RUS, J., NAVARRETE ENCISO, M.S., PACHÓN ROMERO, J. A., PASTOR MUÑOZ, M., GÁMIZ JIMÉNEZ, J., GONZÁLEZ, C. A. y TORO MOYANO, I. (1986): *El poblamiento antiguo en la tierra de Loja*, Excmo. Ayuntamiento de Loja, Granada.

GAFFNEY, C. y J. G. (2003): *Revealing the Buried Past, Geophysics for Archaeologist*, Tempus Publishing Ltd., London.

GÁMIZ JIMÉNEZ, J. (1996): *Bases documentales para el estudio del poblamiento neolítico y de la Edad del Cobre en la tierra de Loja*, Tesis doctoral, Universidad de Granada, Granada.

GARCÍA SANJUÁN, L. y WHEATLEY, D. W. (2009): El marco territorial de los dólmenes de Antequera: Valoración preliminar de las primeras investigaciones, *Dólmenes de Antequera. Tutela y Valorización Hoy*, (B. Ruiz González), *Cuadernos PH*, 23, Sevilla, Junta de Andalucía. (2009): *Dólmenes de Antequera: tutela y valoración hoy*. *Cuadernos de Prehistoria*, 23, Junta de Andalucía, Consejería de cultura, Sevilla.

GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, M., FERNÁNDEZ ONDOÑO, E., MARTÍN PEINADO, F. J. y MORGADO, A. (2013): Soil Micromorphology Analysis of the Chalcolithic fortified settlement of Villavieja (Granada, Spain), *International Workshop on Archaeological Soil Micromorphology & Developing International Geoarchaeology*, Basel (Suiza), 2-6 Septiembre 2013.

LEUCCI, G. y GRECO, F. (2012): 3D ERT Survey to Reconstruct Archaeological Features in the Subsoil of the “Spirito Santo” Church Ruins at the Site of Occhiolà (Sicily, Italy), *Archaeology* 2012, 1(1)

- LOZANO, J. A., MORGADO, A. (2012): *La explotación prehistórica de afloramientos de rocas ofíticas del sector oriental del Trías de Antequera (España): un patrimonio natural y cultural a valorar y proteger*. I Congreso Internacional "El patrimonio cultural y natural como motor de desarrollo: investigación e innovación", (A. Peinado Herreros), Universidad Internacional de Andalucía, Jaén, pp. 1503-1517.
- MADOZ, P. (1845): *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar*, Tomo I, Madrid.
- MERGELINA, C. de (1942): La estación arqueológica de Montefrío (Granada). I. Los dólmenes. *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología*: B.S.AA. VIII, 1941-42, pp. 33-106.
- MERGELINA, C. de (1946): La estación arqueológica de Montefrío (Granada). 11. La acrópolis de Guirrete (Los Castillejos), *Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología* B.S.A.A. XII, 1945-46, pp. 15-26.
- MOLINA, F. y CÁMARA, J. A. (2005): *Guía del yacimiento arqueológico Los Millares*. Empresa Pública de Gestión de Programas Culturales, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía.
- MORGADO, A., LOZANO RODRÍGUEZ, J. A. y PELEGRIN, J. (2011): Las explotaciones prehistóricas del sílex de la Formación Milanos (Granada, España), *Menga: revista de prehistoria de Andalucía* 2, pp. 135-156.
- MORGADO, A., MARTÍNEZ SEVILLA, F., GARZÓN, J., JIMÉNEZ COBOS, F., BERDEJO, A., CANO BERMÚDEZ R., GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ, M., FERNÁNDEZ MARTÍN, S., ORTÍZ GONZÁLEZ, J. M. y LOZANO, J. A. (2013): Villavieja (Algarinejo, Granada), un recinto amurallado de la Edad del Cobre en el Poniente Granadino, Avance de la campaña de 2012, *Antiquitas* 25, pp. 39-48.
- NEGRI, S., LEUCCI, G. y MAZZONE, F. (2008): High resolution 3D ERT to help GPR data interpretation for researching archaeological items in a geologically complex subsurface, *Journal of Applied Geophysics* 65.
- ORELLANA, E. (1982): *Prospección geoelectrica en corriente continua*, Biblioteca Técnica Philips.
- PEÑA, J. A. (2008-2014): Programa informático *friendware* de transformación de perfiles lineales a sistemas 3D.
- PEÑA, J. A. (2010): Estudios Geofísicos en Yacimientos Arqueológicos Andaluces. Periodo 1985-2010, *Primer Congreso de Prehistoria de Andalucía*. <http://www.memorialsiret.es/doc/SIA-Pena-Geofisica.pdf>.
- REY, J., MARTÍN-LÓPEZ, J., DUEÑAS, J., CAMPOS, D., ARIAS, F. y BENAVENTE, J. (2010): Electrical tomography applied to the Surrey of the archaeological site of Cástulo (Linares, Jaén), Preliminary results, *Geogaceta*, 48, pp. 219-222.
- RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ, J. (1982): *El Mioceno del Sector Central de las cordilleras Béticas*, Tesis doctoral, Universidad de Granada, Granada.
- SANZ DE GALDEANO, C., LOZANO, J. A., PUGA, E. (2008): El «Trías de Antequera»: naturaleza, origen y estructura, *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 21(3-4), pp. 111-124.
- TEIXIDÓ, T., GARCÍA-ARTIGOT, E., PEÑA, J. A., MOLINA-GONZALEZ, F., NAJERA-COLINO, M. T. y CARRIÓN-MÉNDEZ, F. (2013): The geo-archaeological context of the Motilla de la Vega site (Spain) based on electrical resistivity tomography, *Archaeological Prospection*, v-20-1, pp. 11-22.
- TEIXIDO, T. y PEÑA, J.A. (2014): Investigar, Conservar, Difundir. El Proyecto Guirnaldas en el Conjunto Arqueológico de Carmona, (I. Rodríguez Temiño). Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla 2014.
- TERÁN MANRIQUE, J. y MORGADO, A. (2011). El aprovechamiento prehistórico de sal en la Alta Andalucía. El caso de Fuente Camacho (Loja, Granada), *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 21, pp. 213-242.
- TSOURLLOS P. I. y TSOKAS, G. N. (2011): Non-destructive resistivity tomography survey at the south walls of the Acropolis Athens, *Archaeological Prospection*, vol-18, pp. 173-186.