

SCOTT, Jill (Ed.). *Artists-in-Labs: Processes of Inquiry: Exploring the Interface Between Art and Science*. Viena: Springer, 2006. 136 p. ISBN-10: 3211279571.

SPÍNOLA ELÍAS, Y. "MIT Media Lab: donde el futuro es pasado". *Mujer Emprendedora*, N° 23. Sevilla: Grupo Informaria, 2011. pp. 24-25. ISSN: 1575-9377.

VVAA. *Tecnociencia y Cibercultura. La interrelación entre cultura, tecnología y ciencia*. Barcelona: Paidós, 1998. 366 p. ISBN: 8449304962

VVAA. *El número y la mirada. Manuel Barbadillo y el Centro de Cálculo de la universidad de Madrid*. Sevilla: Caja San Fernando. Vircomsa, 2002. 156 p. ISBN: 84-95952-10-6.

WILSON, Stephen. *Information arts. Intersections of art, science and technology*. Cambridge: The MIT Press. 2002. 969 p. ISBN-10: 0-262-73158-4.

Prospección magnética y georrádar 3D para delimitación y caracterización de yacimientos arqueológicos. Casos de estudio

Teresa Teixidó

Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada.

José Antonio Peña

Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada.

Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada

José Luis López Castro

Dpto. de Historia, Geografía e Historia del Arte, Universidad de Almería

Alejandro Ibáñez Castro

Consejería de Cultura, Delegación de Córdoba, Junta de Andalucía

Manuel Sierra

Centro Andaluz de Arqueología Ibérica, Universidad de Jaén

Ahmed Ferjaoui

institut National du Patrimoine, Túnez

1. INTRODUCCIÓN

En este estudio se describe una metodología de prospección geofísica aplicable a yacimientos arqueológicos de una cierta extensión, normalmente del orden de una ha o superior. Como se verá, dicha metodología va a ser aplicada con diferentes matices a tres casos de estudio, demostrándose cómo el uso de dos métodos de prospección complementarios proporciona una mayor y valiosa información sobre los yacimientos, que compensa y justifica con creces el "relativo" encarecimiento de la prospección geofísica.

De los dos métodos complementarios que proponemos, el primero es la prospección magnética porque es de rápida aplicación y permite una primera visión / zonificación del yacimiento. Mientras

que el segundo es el radar del subsuelo 3D (georrádar o GPR); método un poco más lento de adquisición pero de mayor resolución, y que permite detallar mejor las anomalías más notables detectadas por el primer método.

2. METODOLOGÍA

En todos los tres yacimientos se ha seguido la misma metodología para la toma de datos:

1º Inspección ocular. del lugar de trabajo. En base a los antecedentes aportados por los arqueólogos y a las observaciones geoarqueológicas sobre el terreno, se decide que métodos son los más adecuados y se establece la logística necesaria para la aplicación de los mismos. En los tres casos que presentamos se optó por una prospección magnética en modo gradiente vertical sobre la mayor parte del yacimiento, y una prospección selectiva con radar 3D.

2º Establecimiento de un sistema de coordenadas reproducible y estaquillado del terreno. En los yacimientos cordobeses se ha usado una pareja de receptores GPS geodésicos trabajando en tiempo real (modo RTK), con ello se garantiza que los mapas de anomalías geofísicas puedan replantearse en el terreno con precisión mejor que 10 cm.



Foto 01. Teixidó et al. (2007). Pareja de receptores GPS. Cuando se usan coordenadas UTM, la base se calibra respecto a un vértice geodésico y, una vez realizadas las oportunas operaciones, con la unidad móvil se hace el estaquillado y la toma de datos topográficos del terreno. - El sistema también puede calibrarse a nivel local -.

Por impedimentos aduaneros, en el yacimiento de Utica se usó cinta métrica, brújula y escuadra óptica para delimitar las zonas de exploración. Así mismo se fijaron estacas de referencia para ulteriores replanteos.

3º Prospección magnética sobre la totalidad de la superficie explorable. Todas estas exploraciones se han realizado en modo pseudogradiante, es decir midiendo las diferencias del campo magnético mediante dos sensores verticales. Y las zonas de estudio se han barrido mediante perfiles paralelos separados 1 m.

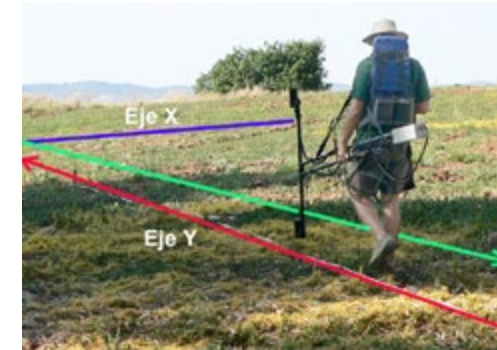


Foto 02. Peña et al. (2007). Realización de la prospección magnética en el yacimiento de Cortijo de Quintos (Córdoba). El quipo es un gradiómetro con dos sensores de vapor de potasio (GEM) con sensibilidad picotesla. Los perfiles se orientan de Norte-Sur y de Sur-Norte para enfatizar los valores del campo magnético y se separan 1 m, realizándose los necesarios hasta cubrir toda la superficie explorable.

Posteriormente, los datos magnéticos obtenidos en campo se han tratado usando una aplicación de diseño propio, que incluye, entre otros procesos: eliminación de desplazamientos (*destagger*), eliminación de surcos (*zero mean traverse*), igualación de sectores (*zero mean grid*), "clipado", "despicado" y unificación de sectores con cambio de coordenadas.

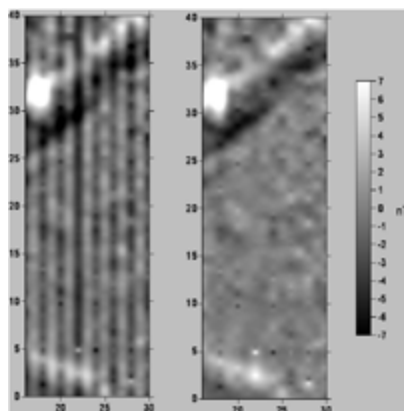


Foto 03. Peña et al. (2007). Muestra el procesado parcial de los datos magnéticos, en la parte izquierda se observan los datos de campo y a la derecha el resultado de una parte del procesado (eliminación de surcos). Son necesarios varios pasos de procesado para mejorar las señales y obtener mapas de anomalías más fáciles de interpretar.

4º Prospección georrádar en modalidad 3D. En base a los mapas de anomalías magnéticas obtenidos y a criterios geoarqueológicos se eligieron los sectores a explorar con georrádar.

La adquisición de datos se realizó mediante perfiles paralelos, separados entre sí 0.5 o 0.25 m, usando una antena de 400 MHz dotada de odómetro. Los perfiles de campo se han tratado individualmente a fin de reducir lo más posible las señales parásitas (ruidos, humedades, difracciones, etc.) y aumentar las señales producidas por las reflexiones sobre las estructuras.

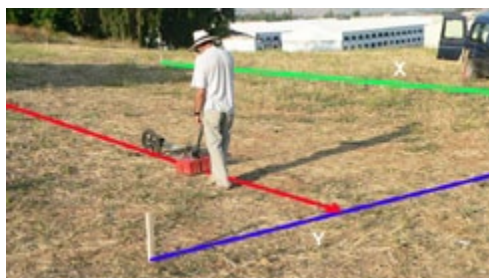


Foto 04. Peña et al. (2007). Adquisición de datos en un sector rádar del Yacimiento Arqueológico de Cortijo de Quintos (Córdoba). Equipo Sir 2000 (GSSI) y antena de 400 MHz. Con esta antena se puede explorar hasta los 3 m de profundidad y con el odómetro se ha ajustado la toma de muestras a 1 escucha cada 2 cm a lo largo de los perfiles.

El procesado 3D exige un paso más de computarización ya que se trata de confeccionar un volumen de datos del que deben obtenerse imágenes con significado para los arqueólogos (Foto-05). Este volumen de datos puede analizarse mediante cortes (*slices*) horizontales, verticales o inclinados (Foto-06). También permite elaborar superficies alabeadas (Foto-07) y transparentar las zonas no reflectoras (imágenes 3D) para aislar espacialmente los reflectores (Foto-08).

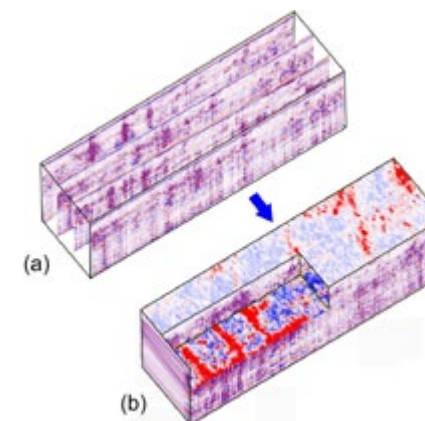


Foto 05. Teixidó (2011). Una vez se han tratado los perfiles rádar individualmente, estos se ordenan según su geometría de adquisición (a) y se procede a calcular las formas volumétricas (3D) de los reflectores (b).

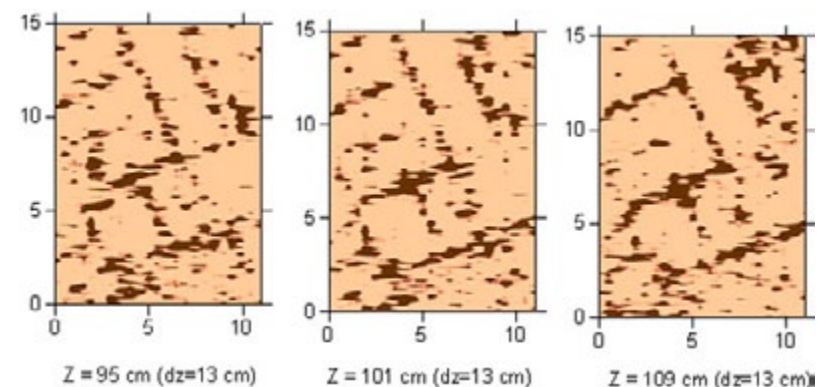


Foto 06. Peña et al. (2010). Rebanadas de profundidad (*depth slices*) correspondientes a un sector rádar del Yacimiento Arqueológico de Majadaiglesia. Las imágenes muestran algo similar al que se obtendría excavando por alzadas artificiales.

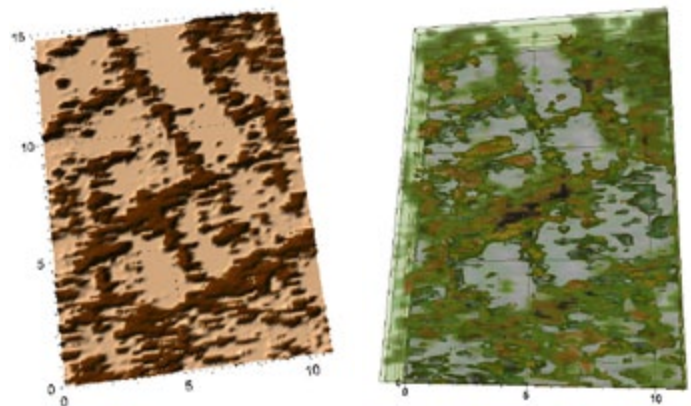


Foto 7. Peña et al. (2010). A partir de una selección de rebanadas se elaboran las “superficie alabeadas”. Son imágenes que muestran los reflectores como estructuras similares a las que se obtendría excavando por niveles naturales. - Estas imágenes se han elaborado mediante un algoritmo desarrollado por Teixidó y Peña -. Las imágenes corresponden al mismo sector rádar del Yacimiento Arqueológico de Majadaiglesia -.

Foto 8. Peña et al. (2010). Imágenes 3D del mismo sector rádar del Yacimiento Arqueológico de Majadaiglesia -. En este caso al transparentar las zonas no reflectantes se obtiene la distribución espacial de los cuerpos reflectores.

3. CASOS DE ESTUDIO

3.1. Yacimiento arqueológico de Majadaiglesia (el Guijo, Córdoba)

Situado en el norte de la provincia de Córdoba en la comarca de Los Pedroches. La abundancia de restos arqueológicos y la epigrafía nos llevan a la hipótesis de que Majadaiglesia pueda ser **Solia**, un asentamiento multicultural y totalmente romanizado en el último cuarto del siglo I.

Se han explorado dos zonas: la primera situada en la parte inferior del valle (delimitada en naranja), donde se han hallado numerosos restos de una necrópolis, y una segunda amesetada (delimitada en amarillo) con una gran estructura romana hidráulica (¿alberca?) excavada.

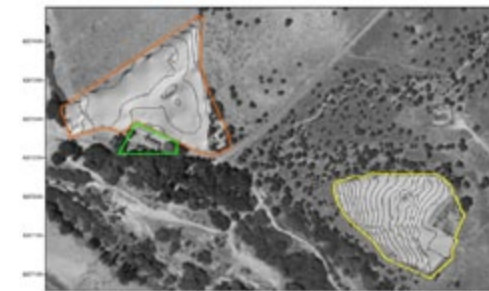


Foto 9. Peña et al. (2010). Sobre el sector correspondiente de la Ortofoto Digital de Andalucía se han superpuesto los levantamientos topográficos para el estudio del Yacimiento Arqueológico de Majadaiglesia. En naranja la zona afectada por la necrópolis romana y en amarillo los límites de la parte amesetada del yacimiento.

La exploración combinada con magnética (gris) y rádar (sepia) en la zona correspondiente a la necrópolis ha puesto de manifiesto la existencia de hornos y estructuras complejas (Foto-10); además de las tumbas que ya se conocían. En el caso de la zona amesetada la mayoría de las estructuras son hidráulicas, la prospección magnética ha permitido su localización inicial y con el rádar se han logrado notables detalles de la morfología las mismas (Foto-11).

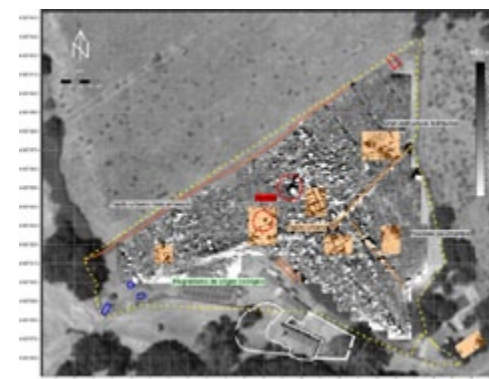


Foto 10. Peña et al. (2010). La geo-referenciación de todos los datos ha permitido superponer sobre la ortofoto el mapa de anomalías magnéticas. En base a ellas se han elegido los sectores radar (rectángulos de color crema) que muestran una mayor riqueza de detalles. - Zona de necrópolis del Yacimiento Arqueológico de Majadaiglesia -.



Foto 11. Peña et al. (2010). Se ha utilizado la misma metodología para esta segunda zona del yacimiento de Majadaiglesia. En este caso se observa una serie de anomalías lineales en la parte central que rodean a la gran alberca romana que muy probablemente sean restos de canalizaciones importantes y piletas de decantación. El resto de estructuras detectadas se hallan bastante arrasadas; se destaca en la parte norte estructuras asociadas a restos de una muralla, en la parte sur tejido habitacional y al este canalizaciones posiblemente conectadas con las centrales.

3. 2. Yacimiento arqueológico del Cortijo de Quintos

Situado 7 km al W de Córdoba, conserva restos de comunidades prehistóricas pero no es hasta el s. VII a. C. cuando se levantan una serie de estructuras, pensamos que de habitación, de época orientalizante (s. VII-VI a. C.). La etapa romana abarca desde fines del s. I a. C. hasta el cambio de era, al menos el s. V d. C.

Se realizó una exploración combinada de gradiente magnético vertical en la totalidad del área explorable, y una exploración selectiva con georrádar en modalidad 3D (Foto-12); actuando esta última sobre anomalías de interés detectadas en la prospección magnética y sobre áreas que no habían podido ser prospectadas con el magnetómetro pero que podían tener interés arqueológico (como el rectángulo amarillo en la parte norte de la foto-12 y área rádar coloreada en sepia al SE del citado rectángulo).

La prospección rádar 3D del rectángulo amarillo del norte, permitió la detección de unas anomalías con una geometría claramente definida (Foto-13). Sobre el mapa de anomalías se planificó una

excavación de 3 x 5 m que se replanteó en el terreno aprovechando el sistema de coordenadas preestablecido, la excavación del área (Foto-14) permitió documentar la época orientalizante del yacimiento.

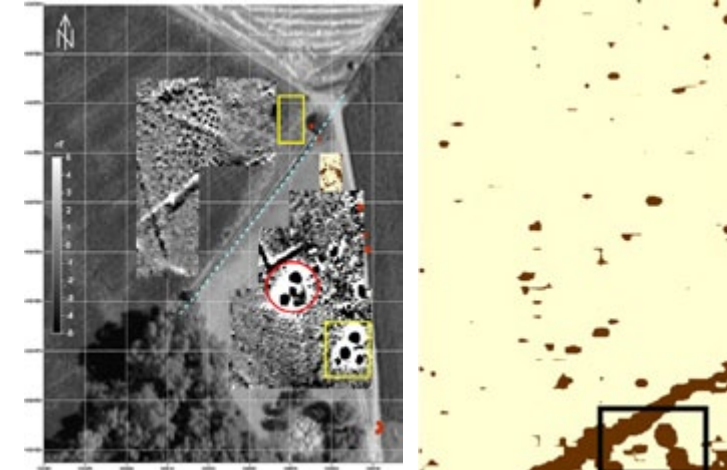


Foto 12. Peña et al. (2008 op. cit.). Superposición de la ortofoto digital, mapa de anomalías magnéticas y sectores rádar. En este caso la exploración rádar permitió elegir entre los dos grupos de anomalías magnéticas circulares correspondientes a hornos romanos y que en apariencia eran equivalentes.

Foto 13. Peña et al. (2007). Mapa de anomalías rádar 3D del sector norte del Yacimiento Arqueológico de Cortijo de Quintos. En él se indica la zona que sería excavada.



Foto 14. Sierra (2007). Muestra del resultado de la excavación en el área planificada sobre la figura anterior.

En la parte sur, la prospección magnética (ver foto-12) mostró dos grupos de anomalías circulares achacables a hornos romanos. La exploración con georradar permitió descartar los hornos que aparecen al sur de la estructura en L (círculo rojo en la foto 12) ya que no mostraban estructuras significativas en las imágenes radar, mientras que los situados en el rectángulo amarillo del sur de la foto-12 mostraban imágenes 3D coherentes con los mapas de anomalías magnéticas (Foto-15). Ello permitió seleccionar el área a excavar, replantearla en el terreno y elaborar un modelo volumétrico en base a la reflectividad electromagnética (Foto-16); los resultados de la excavación (Foto-17) confirman la validez de la metodología usada.

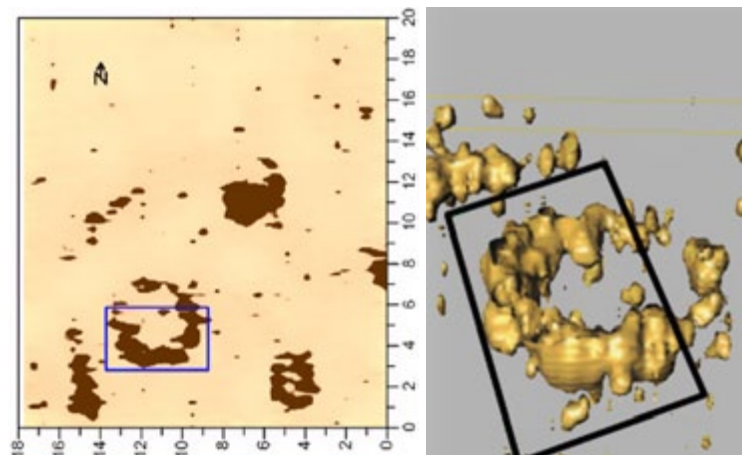


Foto 15. Peña et al. (2007). Mapa radar 3D, resultado de la prospección del grupo de anomalías circulares de la parte sur del Cortijo de Quintos, la coincidencia con el mapa de anomalías magnéticas (Foto-12) es más que notable. Las distancias de los ejes están en m, la profundidad de la rebanada es 0.7 m con un espesor de 15 cm.

Foto 16. Peña et al. (2007). Imagen 3D generada a partir del volumen de datos radar. Se han transparentado las zonas no reflectoras para obtener una visión previa del sector que se iba a excavar.



Foto 17. Sierra (2007). Muestra el resultado de la excavación del horno seleccionado, permite apreciar la buena calidad del modelo predicho.

3. 3. Yacimiento arqueológico de Útica

Situado al norte de Túnez, Útica fue una fundación colonial de Tiro que según diversos autores clásicos se remontaría a 1110 a. C. Después de Cartago. Fue la ciudad fenicia más importante en la antigua Libia, superpuesta a ella se edificó una ciudad romana que fue parcialmente destruida por los intensos trabajos agrícolas efectuados en los siglos XIX y XX en la parte norte del yacimiento; dejando visibles algunos restos de construcciones fenicio-púnicas cercanas a la zona de estudio.

La exploración magnética se vio perturbada por la gran contaminación férrica procedente de los aperos agrícolas contemporáneos, que persistió pese a las repetidas labores de limpieza previas a la prospección. Un cuidadoso procesado de datos (Foto-18) permitió la localización de algunos rasgos estructurales y dos sectores con magnetismo remanente, achacables a lugares donde ha existido combustión (círculos rojos).

La exploración radar 3D sobre la totalidad de la zona de estudio permitió obtener imágenes de mayor detalle de las estructuras: i) rebanadas de profundidad (Foto-19). ii) Superficies alabeadas (Foto-20), e iii) imágenes 3D (Foto-21). Todas ellas permiten diferenciar directrices estructurales diferentes y constituyen una buena herramienta para planificar una excavación arqueológica.

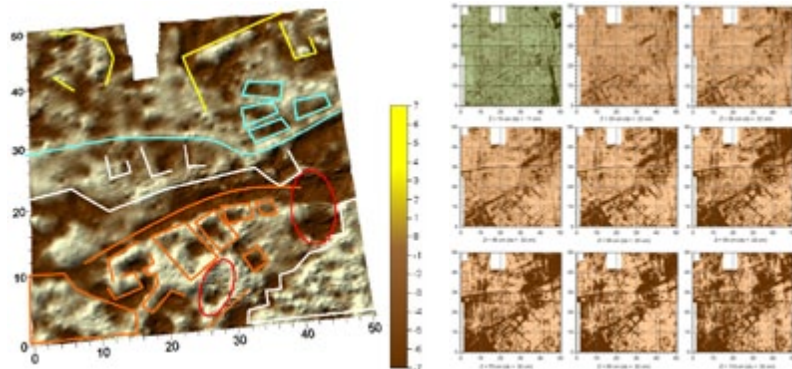


Foto 18. Peña, Teixidó (2010). Mapa de anomalías magnéticas obtenido después de un minucioso tratamiento debido a la contaminación férrica de los datos de campo. Los rasgos esenciales se confirman posteriormente con la exploración rádar. La escala de gradiente es en nT/m, los ejes están en m.

Foto 19. Peña, Teixidó (2010). Las sucesivas rebanadas proporcionan la evolución de las principales estructuras en profundidad, que tras su interpretación arqueológica deben permitir una buena planificación de las excavaciones.

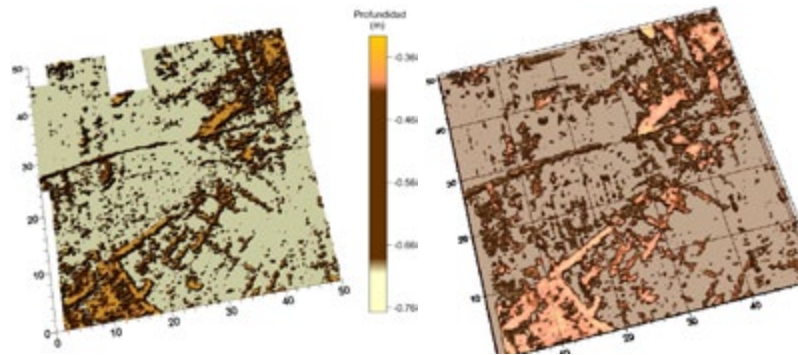


Foto 20. Peña, Teixidó (2010). Superficie alabeada de la zona inspeccionada en la parte norte del yacimiento de Útica para el tramo más superficial, entre 0.3 y 0.75 m de profundidad.

Foto 21. Peña, Teixidó (2010). Imagen georrádar volumétrica del tramo comprendido entre 0.3 y 1.4 m de profundidad. Las distancias de los ejes están en m. - También corresponde a la parte norte del yacimiento de Útica-.

4. DISCUSIÓN

La metodología combinada de: posicionamiento de precisión, prospección magnética sobre la totalidad del yacimiento, y

prospección rádar 3D en zonas seleccionadas; resulta una herramienta eficaz para obtener información arqueológica de calidad a un costo razonable, y es más potente que la prospección magnética o rádar empleadas de manera separada.

En el caso del Cortijo de Quintos, con baja contaminación férrica, el mapa de anomalías magnéticas habría aconsejado excavar los hornos situados más al norte ya que parecían más interesantes al estar cerca de una estructura en forma de L; sin embargo el rádar mostró que solo quedaba la huella magnética de lo que fueron hornos, y que las estructuras habían sido arrasadas, al contrario de lo observado en la parte sur. Así mismo, el posicionamiento de precisión permitió plantear los sectores de excavación en el sitio correcto, y de paso, testar la validez de la combinación de métodos empleada.

En el yacimiento de Majadaiglesia, con una contaminación férrica de tipo medio, la prospección magnética ha detectado en la zona de la necrópolis un sector de alfares de los que no se tenía noticia y una serie de anomalías achacables a estructuras diferentes de las producidas por las tumbas de losa. Además, en la zona amesetada los rasgos magnéticos señalaron grandes estructuras lineales asimilables a conducciones hidráulicas. La prospección rádar ha aportado un mayor detalle ya que ha permitido identificar sectores con tejido urbano, superficies de paso, estructuras hidráulicas, balsas de decantación, etc.

En el caso de Útica la prospección magnética por sí sola ha proporcionado resultados poco fiables dado el alto nivel de contaminación férrica. No obstante, mediante la prospección rádar 3D de la totalidad de la zona se han podido constatar las estructuras principales y descartar las anomalías y artefactos producidos por los hierros contemporáneos. Además las imágenes georrádar de detalle han proporcionado una excelente información para planificar y preservar esta zona del yacimiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con equipos adquiridos con fondos europeos FEDER y sus datos proceden de tres contratos de investigación realizados, vía OTRI, por el Área de Geofísica Aplicada del Instituto Andaluz de Geofísica de la Universidad de Granada. Estos contratos han sido encargados por las entidades que se enumeran a continuación:

- Yacimiento arqueológico de Majadaiglesia, T.M. de El Guijo. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía.
- Yacimiento arqueológico Cortijo de Quintos, T.M. de Córdoba. Grupo Familiar Gago S. L.
- Yacimiento arqueológico de Útica (Túnez). Dpto. de Historia, Geografía e Historia del Arte Universidad de Almería.

BIBLIOGRAFÍA

Geophysical Survey Systems, Inc. Radan 6.5. Salem (USA). 2007. Aplicación informática comercial.

Golden Software, Inc.; *Surfer versión 10*. Golden, Colorado (USA), 2010. Aplicación Informática comercial.

Golden Software, Inc.; *Voxler versión 2*. Golden, Colorado (USA), 2010. Aplicación Informática comercial.

Google, *Google Earth 6*, Mountain View, CA 94043 (USA.), 2011. Aplicación Informática de uso libre,

Instituto Geográfico Nacional, *Vértices geodésicos*, 2011. <http://www.ign.es/ign/layoutIn/geodesiaVertices.do>

Junta de Andalucía, *Ortofotografía digital de Andalucía*, Sevilla, 2004. 8 CDs, comercializado.

PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T. *Rebanadas radáricas 2 PPP-TT*, Granada. 2005. Aplicación Informática, uso restringido.

PEÑA, J. A. *Prospmag 2007*, Granada. 2007. Aplicación Informática, uso restringido

PEÑA, J. A., CARMONA, E., Y TEIXIDÓ, T.; *Prospección Geofísica en el Yacimiento del Plan Parcial La Golondrina (Córdoba)*. Informe técnico inédito para Grupo Familiar Gago S. L., Área de Geofísica Aplicada (IAG/UGR) 2007, 48 páginas.

PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., CARMONA, E., Y SIERRA, M.; "Prospección

magnética y radar 3D como métodos para obtener información *a priori* en la planificación de una excavación arqueológica. Caso de estudio: Yacimiento del Cortijo de Quintos (Córdoba, España)" en *Resúmenes 6ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*, 2008, pp. 231-232.

PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., Y CARMONA, E.; *Prospección geofísica en el yacimiento arqueológico de El Guijo, Córdoba*. Informe técnico inédito para la Delegación de Cultura en Córdoba., Área de Geofísica Aplicada (IAG/UGR), 2010, 75 páginas.

PEÑA, J. A., Y TEIXIDÓ, T.; *Prospección geofísica en varios sectores del yacimiento arqueológico de Útica, Túnez*. Informe técnico inédito para el Centro de Estudios Fenicios y Púnicos e Instituto Nacional de Patrimonio de Túnez., Área de Geofísica Aplicada (IAG/UGR), 2010, 69 páginas.