

PROSPECCIONES GEOFÍSICAS EN LOS HORNOS ROMANOS DE LA CARTUJA (GRANADA). UN EJEMPLO PARA OBTENER INFORMACIÓN *A PRIORI*

GEOPHYSICAL PROSPECTINGS IN THE CHARTERHOUSE'S ROMAN KILNS (GRANADA). AN EXAMPLE OF OBTAINING *A PRIORI* INFORMATION

José Antonio PEÑA*, Teresa TEIXIDÓ **, Enrique CARMONA**, Margarita ORFILA*

RESUMEN

La asignatura de “Técnicas de Prospección Geofísica Aplicada a la Arqueología”, del Master de Arqueología y Territorio (curso 2006-2007), se ha planteado a nivel docente como una propuesta para obtener información a priori mediante métodos no destructivos sobre la distribución de los restos arqueológicos y las características del subsuelo de un yacimiento. Para ello se eligió una superficie rectangular en el yacimiento arqueológico “Alfar Romano de Cartuja” y en ella se aplicaron las todas las técnicas de prospección geofísica más actuales, concretamente: magnetometría, tomografía eléctrica (ERT), tomografía sísmica y georrádar 3D (3D-GPR). Así mismo, la geometría de la zona de estudio se posicionó mediante GPS de bifrecuencia trabajando en modo RTK. Finalmente se realizó una interpretación conjunta de los resultados.

PALABRAS CLAVE:

Prospección sísmica, georrádar 3D, tomografía, magnetometría, alfar romano.

ABSTRACT

The matter of “Geophysical Prospecting Methods Applied to the Archaeology” has been imparted in the Master of Archaeology and Territory (2006-2007) as a proposal to obtain information a priori through non destructive methods about the archaeological remains distribution and the terrain characteristics of a particular site. For this proposal, it was chosen a rectangular surface in the “Roman Alfar of Charterhouse” place and all the most recent geophysical prospecting methods were been applied. Concretely: magnetometry, electric resistivity tomography (ERT), seismic tomography and 3D ground penetrating radar (3D-GPR). Likewise, the geometry of the study area was positioned with GPS working in way RTK. Finally a joint interpretation of the results was carried out.

KEY WORDS:

Seismic prospecting, 3D-GPR, ERT, magnetometry, Roman alfar.

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento del Alfar Romano de Cartuja (Granada) está situado entre la actual Facultad de Teología y la Facultad de Ciencias de la Educación del Campus Universitario de Cartuja. Ocupa una extensión de más de tres hectáreas de las que solamente se ha excavado una parte (Sotomayor, 1992, 64), aunque posiblemente el conjunto arqueológico sea mucho mayor y el área intervenida sea una porción ínfima del total.

* Departamento de Prehistoria y Arqueología, Universidad de Granada; peruano@ugr.es

** Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada

Las primeras noticias sobre el yacimiento se remontan a 1889, fecha en que Gómez-Moreno dio a conocer una serie de vestigios al NW del Monasterio de Cartuja, en el paraje denominado Cercado Alto (Gómez-Moreno, 1988, 27). No será hasta los años sesenta del siglo XX, y como resultado de los trabajos de prospección realizados entre los años 1957/62 por Pellicer (Pellicer, 1964, 317-318), cuando se documente la existencia de estructuras y cerámicas romanas en la Huerta de la Cartuja de los Padres Jesuitas.

Los primeros trabajos arqueológicos realizados en la finca de la Facultad de Teología de la Compañía de Jesús se iniciaron en 1964, y fueron dirigidos por el Dr. Manuel Sotomayor Muro, autor de las memorias de excavación. Éstas pusieron al descubierto un total de diez hornos de época romana en el área excavada, datados entre el siglo I y II d. C., y parte de las dependencias de un alfar.

Durante las obras de adecuación de esta finca, una vez adquirida por la Universidad de Granada, para instalar en ella el Campus de Cartuja, con una serie de facultades y colegios mayores, en la vía que da hoy acceso al yacimiento, se documentaron, en la remoción de tierras, dos hornos más de este complejo.

A principios de los años 90 (1991-1993), fue concedida por la Consejería de Cultura y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía una actuación de urgencia en el yacimiento que nos ocupa, cuya directora fue la Dra. Margarita Orfila. Dicha intervención se canalizaría a través del profesorado (Pablo Casado y Antonio Burgos) del Módulo de Arqueología Urbana perteneciente a la Escuela-Taller de la Universidad de Granada, que tenía como uno de sus objetivos fundamentales la recuperación del Patrimonio Arqueológico en terrenos de la Universidad de Granada. Arqueológicamente se intervino en uno de los hornos ya en parte excavado por Sotomayor en los años 60, y sobre una serie de estructuras de su entorno. Además se acondicionó y se valló de todo el yacimiento.

Desde el curso 2002/2003 se viene impartiendo una asignatura de Libre Configuración Específica, ofertada por la Universidad de Granada, con el título de “La práctica arqueológica. El alfar romano de Cartuja”, de la que han ido siendo responsables, hasta estas fechas, Margarita Orfila, Consuelo del Moral, Julio Román, José Afonso y Luis Arboledas.

Durante el año 2004 se llevó a cabo una campaña de limpieza del yacimiento a cargo de la Delegación Provincial de Cultura de la Junta de Andalucía, bajo la dirección de M^a. José Rivas. Paralelamente la Delegación encargó a Dimensiones, S. C. A. la realización de un levantamiento topográfico del yacimiento, y entre 2004 y 2005 se realizó un proceso de consolidación de parte de los restos visibles del mismo, bajo la dirección de la restauradora D^a. Pilar Aragón.

2. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

Los elementos fabricados en este complejo alfarero, documentados como consecuencia de la serie de excavaciones arqueológicas realizadas en el yacimiento, son básicamente, además de materiales de construcción, como tejas (*tegulae e imbrices*), y un amplio repertorio de ladrillos, todo un conjunto de piezas de vajillas -unas hechas a molde otras a torno- en *sigillata*, piezas para cocinar, elementos para el pequeño almacenaje o de preparación de alimentos en la cocina, etc. Esas producciones fueron caracterizadas en las publicaciones de Serrano y de Sotomayor, tal como consta en las referencias bibliográficas, publicándose en 1999, después de la revisión de los materiales llevada a cabo durante el funcionamiento de la mencionada Escuela Taller, una síntesis de las mismas (Casado *et al*, 1999).

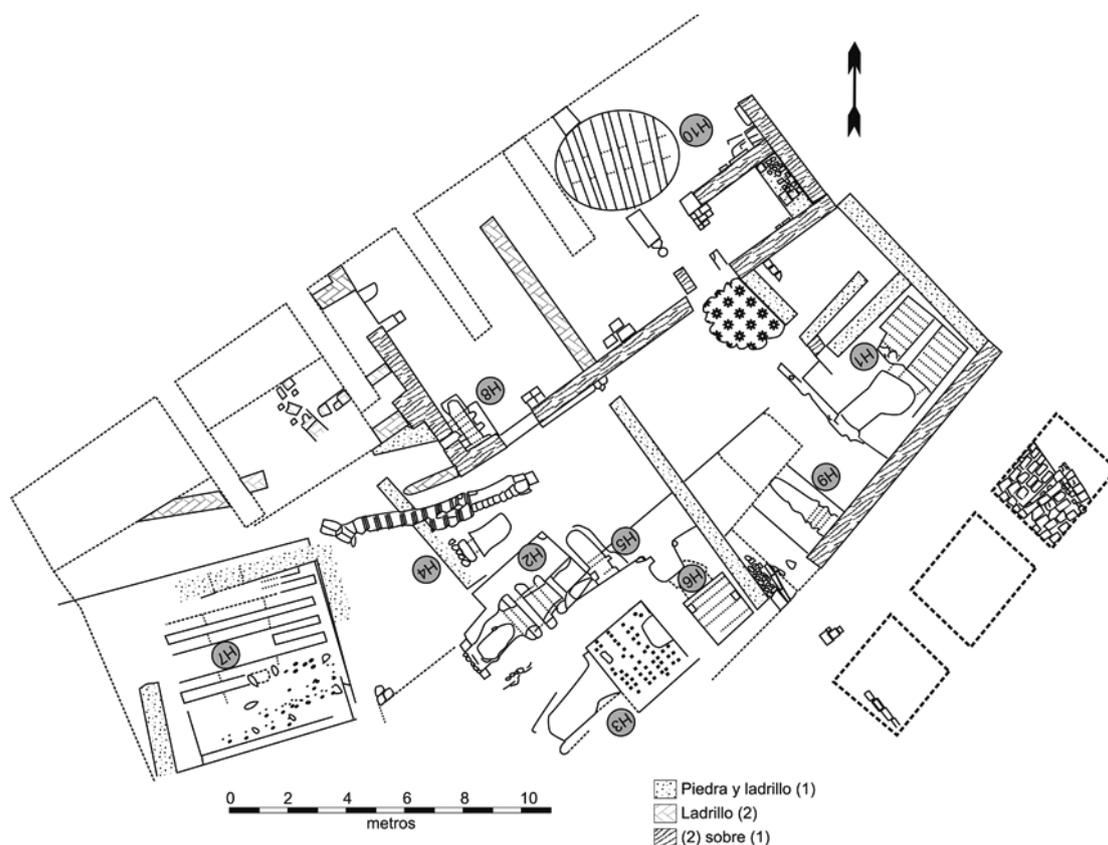


Fig. 1. Planta de las excavaciones realizadas durante el periodo 1991-1993 en el yacimiento. Reconstrucción de un antiguo dibujo.

Las características de los hornos documentados (Fig.1) varían en función del tipo de materiales que estaban destinados a cocer (ya fuese vajilla, materiales de construcción, etc.). Los de vajillas son de tamaño más pequeño, y de tamaño mayor los de otras producciones. Como ejemplos reproducimos la descripción de los siguientes hornos:

- Horno 1. Consta de un *praefurnium* que tiene 2,25 metros de largo y 1 m de ancho en la entrada y termina abrazando las dos secciones en que está dividido el horno propiamente dicho. Cada sección tiene un ancho de un metro y la altura de los muros conservados es de casi tres metros. Se conservaban aún los dos primeros arcos que separan al horno del *praefurnium*. La sección de la izquierda fue inutilizada, obturándola con téglulas y cascotes. Aparecieron también restos de la bóveda que cubría el *praefurnium* (Sotomayor, 1966, 367-368). El horno es de planta cuadrada en su hogar. La parrilla estuvo sostenida por muretes transversales, que apoyándose en las paredes y en el muro central que dividía en dos partes el hogar, formaban dos arcos cada uno. El horno constaba de cuatro de estos dobles arcos, que dejaban entre sí cuatro espacios libres en los cuales se abrían los orificios de comunicación entre hogar y cámara de cocción. El hogar tenía un pavimento duro, de tierra y arcilla. Los arcos estaban contruidos con adobes. Por sus cuatro lados, el horno estaba delimitado externamente por muros de ladrillos y téglulas y fragmentos de escoria. Las dimensiones del horno y algunas escorias aparecidas parecen indicar que en él se fabricó principalmente material basto, como téglulas, ladrillos, etc. (Sotomayor, 1970, 714-715).

- El Horno 2 es de planta cuadrada en su hogar. Posiblemente se dedicó a la fabricación de vajilla de *sigillata*. Sufrió una modificación que invirtió el sentido de la carga y descarga del fuego. La parrilla estaba sostenida por tres o cuatro arcos simples. La cámara de cocción era cuadrada. El *praefurnium*, de planta irregular, estaba excavado en la tierra y revestido en su interior por un muro de ladrillos y una bóveda de adobes. Las costras de escoria fundida, fácilmente visibles, llegaron a cegar la salida del *praefurnium*, lo cual obligó a murar la comunicación del *praefurnium* con el hogar y abrir un nuevo *praefurnium* por el lado opuesto. Posiblemente en el segundo momento se produjo más *sigillata*, ya que la mayor abundancia y concentración de fragmentos se halló en los alrededores del segundo *praefurnium* y a su altura (Sotomayor, 1970, 715-716).

Destaca el Horno 7 por su tamaño, de más de 4 metros de lado. La curiosidad del Horno 10 es que sea de planta ovalada con una parrilla sustentada por muros paralelos con un solo arco central). No se conoce su *praefurnium*. Posiblemente se utilizó para la fabricación de ladrillos y téglulas.

En 1965 se excavó parte de uno de sus vertederos, del que solamente pudo explorarse una parte y donde se recogieron producciones que no se habían cocido bien o que no alcanzaban la calidad deseada por parte de los alfareros productores de las mismas y que habían sido desechadas.

Además de las intervenciones arqueológicas, se han realizado estudios específicos de sus materiales, tal como el estudio de arqueomagnetismo llevado a cabo por Catanzariti, G., Ruiz-Martínez, V.C. y Osete, M.L., que ha aportado una datación en torno a fines del siglo I dC.

3. MÉTODOS GEOFÍSICOS APLICADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Tanto la distribución espacial como las características (tipos de materiales respecto del medio encajante) de las estructuras excavadas suponen un banco de pruebas excelente para chequear la respuesta de los distintos métodos geofísicos y evaluar la complementariedad de los mismos (*Fig.2a y 2b*).



Fig. 2 a y b. Yacimiento de los Hornos Romanos de la Cartuja (Granada). El rectángulo explorado con todos los métodos geofísicos mide 20 m x 12 m y se sitúa hacia el SE de la excavación. Las coordenadas están en UTM (ED-50). b) El tamaño, la distribución y las características físicas de las estructuras excavadas suponen un excelente banco de pruebas para aplicar los distintos métodos geofísicos y analizar sus respuestas.



Fig. 2b

3.1. Prospección magnética

Se optó por realizar primero una prospección magnética de acuerdo con el modo habitual de proceder, dado que es el método más rápido de obtención de datos en campo y el primero que se usa para disponer así de resultados preliminares; sobre todo cuando se trata de vastos yacimientos. Para ello se utilizó un magnetómetro de vapor de potasio modelo GSMP-40 v6.0 (GEM Systems, Inc.) cuya precisión absoluta es de 0.1 nT (sensibilidad 1 picotesla) trabajando en modo de pseudo-gradiente (Fig. 3). El rectángulo se exploró mediante perfiles paralelos de ida-vuelta en dirección Norte-Sur y separados 1m entre sí.



Fig. 3. Magnetómetro de vapor de potasio. Los dos sensores verticales están separados 1 m. En la foto se va a realizar un perfil que se materializa siguiendo un hilo que une dos cintas métricas que están colocadas en los bordes del rectángulo estudiado. En este caso se tomaron 10 lecturas por segundo.

Los pasos básicos del procesado de datos han consistido en eliminar los errores de adquisición (paralaje, *spikes*, etc.), disminuir el “ruido de fondo” (bandedo magnético) y elaborar una serie de mapas (magnetogramas) de anomalías diferenciadas: fuertes (*Fig. 4a*) y medias-débiles (*Fig. 4b*). Ambos magnetogramas proporcionan, por si solos, una valiosa información inicial que luego debe confrontarse y ampliarse con el resto de las imágenes geofísicas. El magnetograma de anomalías fuertes (usualmente magnetismo remanente) muestra una concentración de ellas en la parte superior (entre los 14 m y 20 m, según el eje de las Yes), las cuales pueden ser producidas por elementos férricos (como la anomalía bipolar señalada) o bien por materiales que han sufrido altas temperaturas (hornos, concentraciones cerámicas, etc.). En el magnetograma de anomalías medias-débiles se observan trazos lineales y concentraciones con polaridad inversa que pueden asociarse a acumulaciones de materiales arqueológicos, pero su interpretación más precisa solo podrá establecerse en base a los demás métodos.

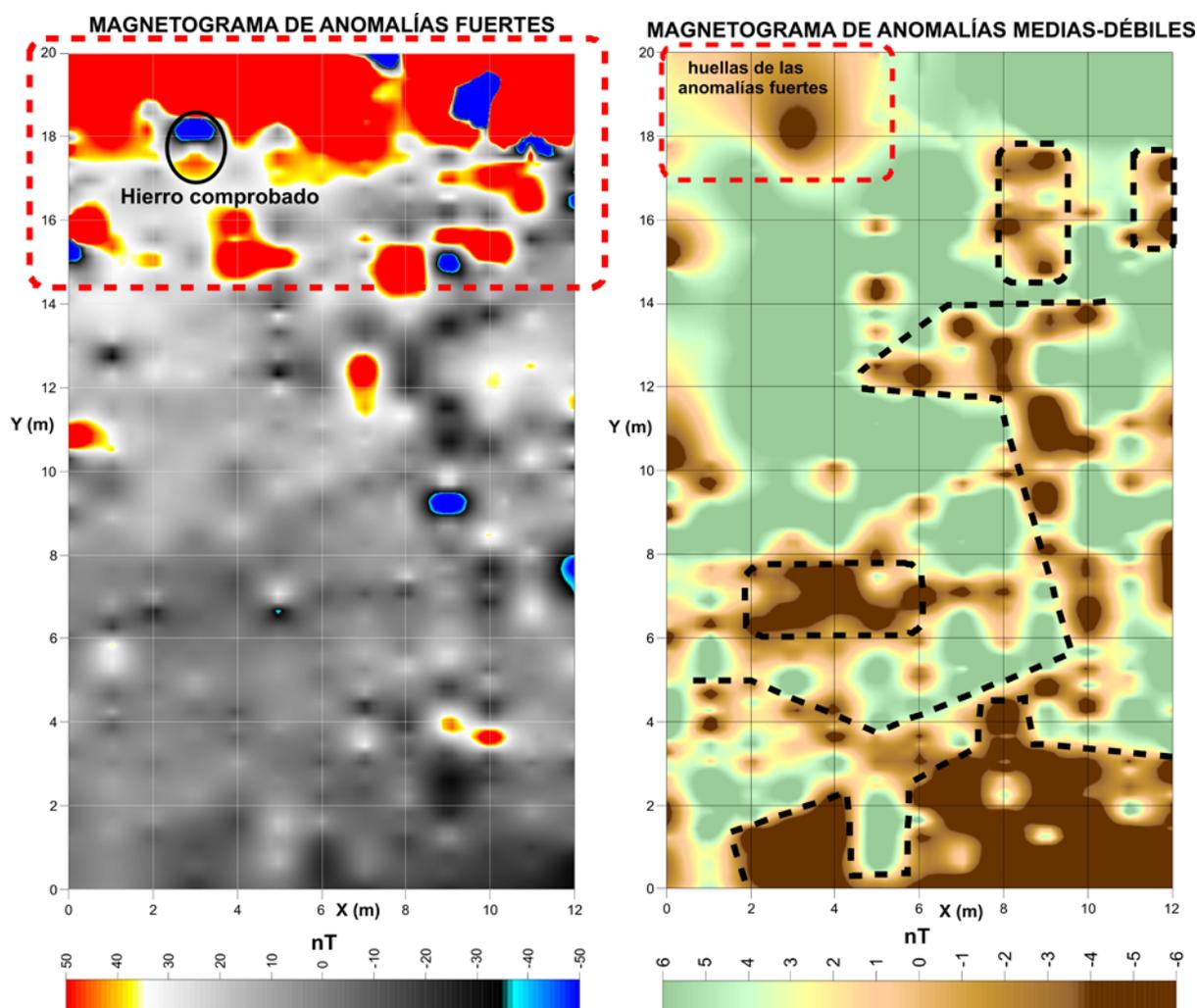


Fig. 4. (a) Magnetograma de anomalías fuertes en donde se pone de manifiesto que en la parte superior (marcada) hay una zona anómala de altos valores que podría contener materiales férricos o que han sufrido altas temperaturas (hornos, acumulaciones cerámicas, etc.).

(b) En el magnetograma de anomalías medias-débiles se detectan rasgos lineales y concentraciones negativas cuya interpretación deberá confrontarse con el resto de imágenes geofísicas obtenidas.

3.2. Tomografía eléctrica (ERT)

A partir de los magnetogramas se planificaron dos perfiles ERT en los metros $x = 3$ (ERT-1) y $x = 9$ (ERT-2). El equipo utilizado fue ABEM-SAS 1000 y se montó un dispositivo eléctrico Wenner con 41 electrodos espaciados cada 0.5 m (Fig. 5). Ambas tomografías eléctricas han sido tratadas usando el programa Res2dinv (LOOKE M.H., 2002; GEOTOMO, Software Inc.). En este caso el procesamiento básico ha consistido en eliminar las medidas erróneas y en establecer un proceso iterativo de inversión fijado para un máximo de 10 iteraciones (o un RMS inferior al 1%). La convergencia de la solución para el perfil ERT-1 ha sido del 5 % de error absoluto entre las resistividades aparentes obtenidas en el campo y las generadas por el modelo, y del 1 % para el perfil ERT-2.



Fig. 5. Montaje de un perfil ERT. La separación entre electrodos se estableció en 0.5 m y se usó para ello una cinta métrica. En la imagen también se observa la base móvil del GPS de bifrecuencia utilizado para referir todos los datos geofísicos a un sistema de coordenadas preciso y reproducible.

En las imágenes resultantes (Fig. 6) se detecta un primer nivel conductor que correspondería al suelo agrícola y que llega a los 40 – 50 cm de profundidad. A continuación le sigue un segundo tramo que

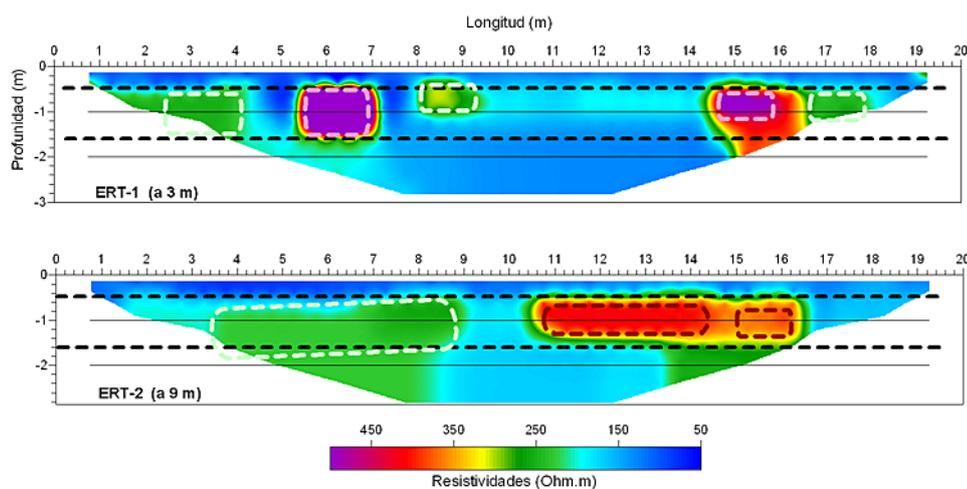


Fig. 6. Perfiles de tomografía eléctrica ERT-1 y ERT-2. En ambos perfiles se detecta un primer nivel conductor que correspondería al suelo agrícola y un segundo nivel con anomalías resistivas que pueden asociarse a estructuras arqueológicas.

abarca hasta los 1.5 - 2 m de profundidad que contiene las anomalías resistivas. Teniendo en cuenta los valores de las resistividades halladas, las anomalías de resistividad media (por encima de los 200 Ω/m , gama de verdes) podrían asociarse a materiales de derrumbe o adobe, y las anomalías de resistividad alta (hasta los 500 Ω/m , en rojos) se relacionarían con ladrillos, mamposte-

ría, etc. También se han detectado dos cuerpos con resistividades más altas (por encima de los $500 \Omega/m$, morados) cuya interpretación también deberá confirmarse mediante los restantes métodos pero, a modo preliminar, podrían responder a secciones de cavidades parcialmente rellenas o a muros de piedra.

2.3. Tomografía sísmica de primeras llegadas

Los dos perfiles sísmicos (PS-1 y PS-2) se realizaron coincidentes con los perfiles eléctricos a fin de poder contrastar las imágenes eléctricas con las sísmicas. Para ello se utilizaron 24 geófonos de 40 Hz dispuestos cada metro, una consola de adquisición de datos (Geometrics Stratavisor NZ) y un martillo de 8 kg de masa disparando cada 2 m para garantizar una buena cobertura de rayos (*Fig.7*). La ventana de registro de cada disparo se estableció en 200 ms y el tiempo de muestreo fue de $25 \mu s$.



Fig. 7. Montaje del perfil sísmico PS-2 (coincidente con el eléctrico ERT-2). La separación entre geófonos se estableció en 1 m y se usó para ello una cinta métrica.

La tomografía sísmica (en ondas P) consiste en obtener la distribución de velocidades del subsuelo $V_p(x,z)$. En este caso el procesado de las trazas sísmicas ha consistido en: 1) visionado de los registros de campo e instalación de la geometría, 2) lectura de las primeras llegadas de cada uno de los tiros realizados a los respectivos geófonos, 3) establecimiento de los puntos de inflexión de las gráficas espacio-tiempo para determinar el rango de velocidades aparentes y profundidades iniciales del modelo, 4) cálculo del modelo inicial de velocidades $V_p(x,z)$ (método Delta T-V; GEBRANDE and MILLER 1985) y, 5) cálculo del modelo final $V_p(x,z)$ mediante un proceso iterativo que va modificando el modelo inicial en función de sucesivos trazados de rayos aplicando el método WET (*Wavepath Eikonal Traveltime tomography processing*; SCHUSTER 1993; WATANABE 1999). En la *Figura 8* se presentan la distribución de velocidades obtenida. En ellas el primer nivel de suelo agrícola casi no se destaca del segundo nivel, lo cual puede interpretarse como que el grado de compactación entre estas

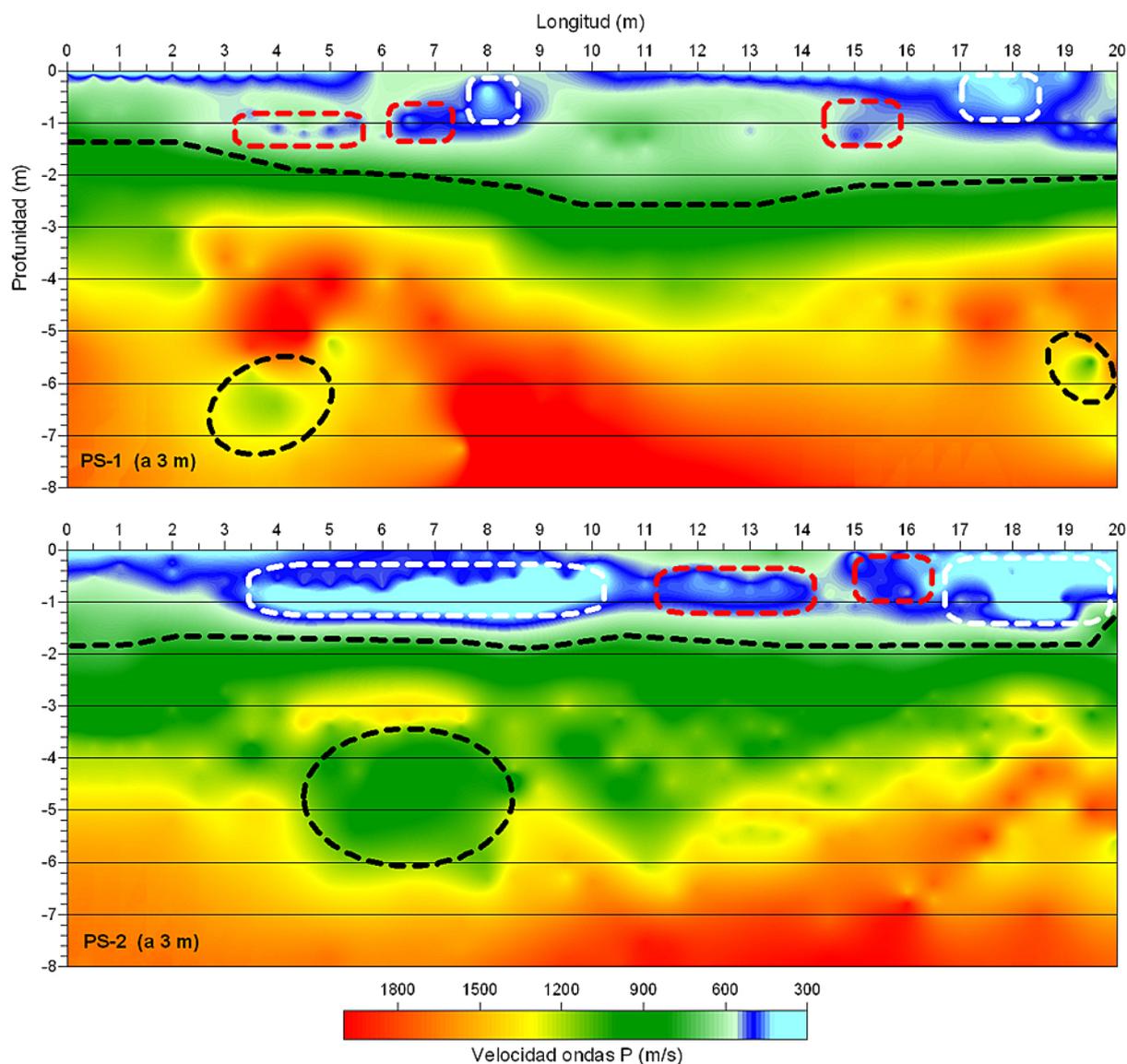


Fig. 8. Perfiles de tomografía sísmica PS-1 y PS-2 coincidentes con eléctricos. En este caso la exploración llega a mayor profundidad. En los primeros 2 m de ambos perfiles se detectan una serie de anomalías de baja velocidad que pueden asociarse a cuerpos antrópicos (rellenos, adobes y posibles cavidades).

dos capas es similar. No obstante, lo que sí se detecta bien es la base del segundo nivel que llega también hasta 1.5 -2.5 m de profundidad. En ambos perfiles, la profundidad de investigación ha llegado a los 8 metros, de modo que las imágenes muestran un tramo basal (tercer nivel) que se ha asociado a los conglomerados presentes en la zona de estudio.

En el nivel de interés arqueológico (segundo nivel) se han detectado una serie de anomalías de baja velocidad; lo cual puede ser un indicativo de que la mayoría de las estructuras que cortan los perfiles se deban a adobe, zonas de relleno y, en algún caso, también cavidades. Así mismo, para el tercer nivel (conglomerados) la distribución heterogénea del campo de velocidades indica una considerable alteración; incluso cabe la posibilidad de que encierre algunas cavidades.

2.4. Georrádar 3D

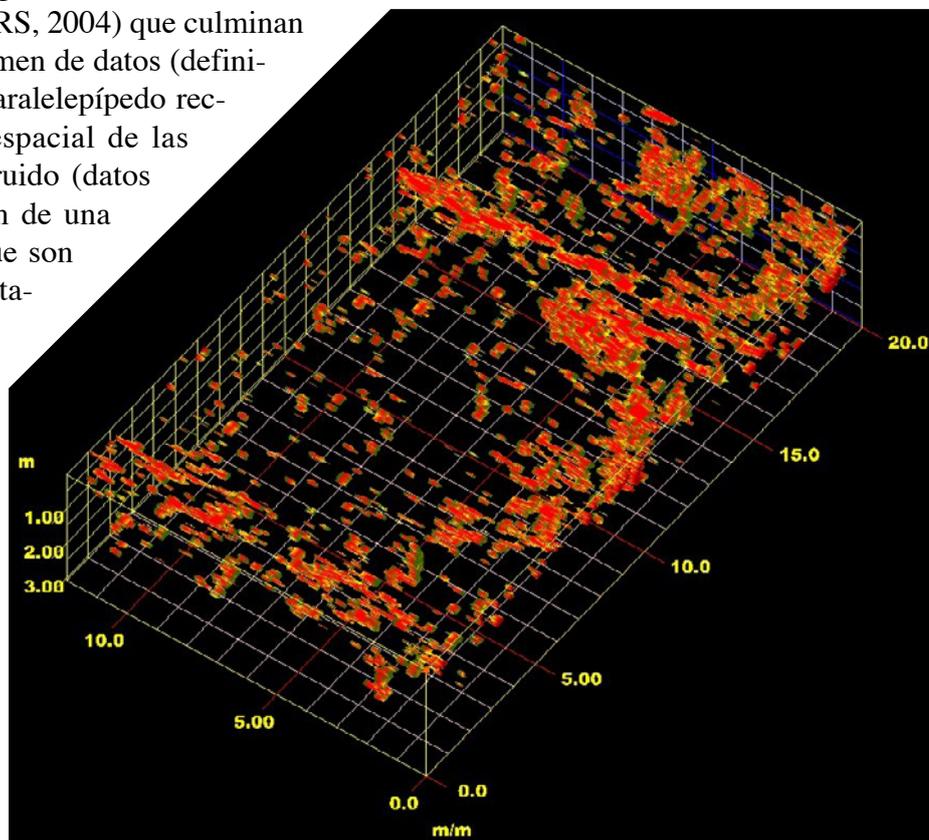
La prospección con rádar 3D se realizó con una antena de 400 MHz y una consola de adquisición de datos (GSSI, inc.). Se exploró todo el rectángulo mediante perfiles paralelos separados entre sí una distancia de 0.5 m. La toma de muestras se fijó en 1 muestra (traza) cada 2 cm, siendo la longitud de cada traza de 100 ns (Fig. 9).

Para el procesado básico de los radargramas se ha utilizado el paquete específico Radan-6.5 de GSSI, pero para el tratamiento de imágenes 3D se han empleado programas de desarrollo propio y estándares de ofimática. La adquisición en modo rádar 3D supone que además de tratar cada radargrama individualmente deben seguirse una serie de procedimientos adicionales (LAWRENCE B. CONYERS, 2004) que culminan con la creación de un volumen de datos (definición de la geometría del paralelepípedo rectangular e interpolación espacial de las trazas). El volumen construido (datos 3D), permite la generación de una serie de imágenes rádar que son muy útiles para la interpretación arqueológica de las reflexiones rádar (Fig. 10, 11 y 12).

Fig. 10. La selección de los cuerpos más reflectantes dentro del volumen rádar proporciona una visión de su distribución espacial indicando las zonas de mayor acumulación de material (tanto es superficie como en profundidad).



Fig. 9. Obtención de datos rádar 3D. La antena tiene acoplada una rueda marcadora que fija con precisión la distancia de cada traza. En la parte lejana de la imagen puede verse la consola de recepción y gestión de los datos.



En este caso, las imágenes rádar obtenidas indican que en la parte superior del rectángulo explorado hay una distribución de reflectores con geometrías que podrían dar cuenta de estructuras arqueológicas bien conservadas. Dichas estructuras empezarían a detectarse entre los 0.2 - 0.3 m de profundidad y llegarían hasta los 1.50 m. En la parte inferior del rectángulo las reflexiones son más superficiales (hasta los 0.7 m) y se presentan en forma de acumulaciones pudiéndose interpretar que hay un mayor grado de derrumbe.

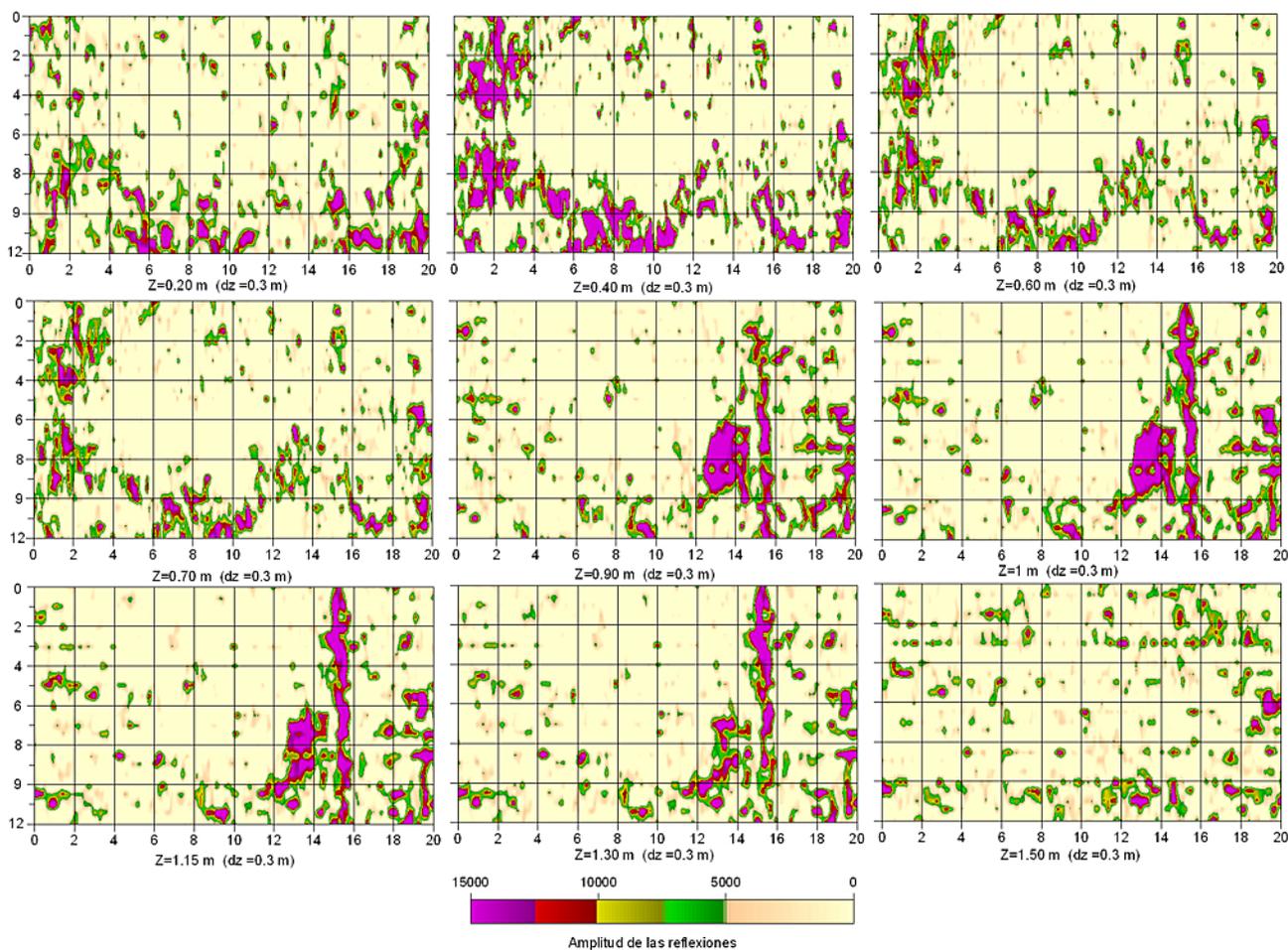


Figura 11. Otra forma clásica de análisis es la denominada “rebanada de tiempo o de profundidad”. Consiste en obtener una serie de láminas horizontales en el volumen creado, con un determinado espesor y a una determinada profundidad. De modo que la sucesión de estas láminas muestra la evolución de las reflexiones y constituye una eficaz herramienta de interpretación.

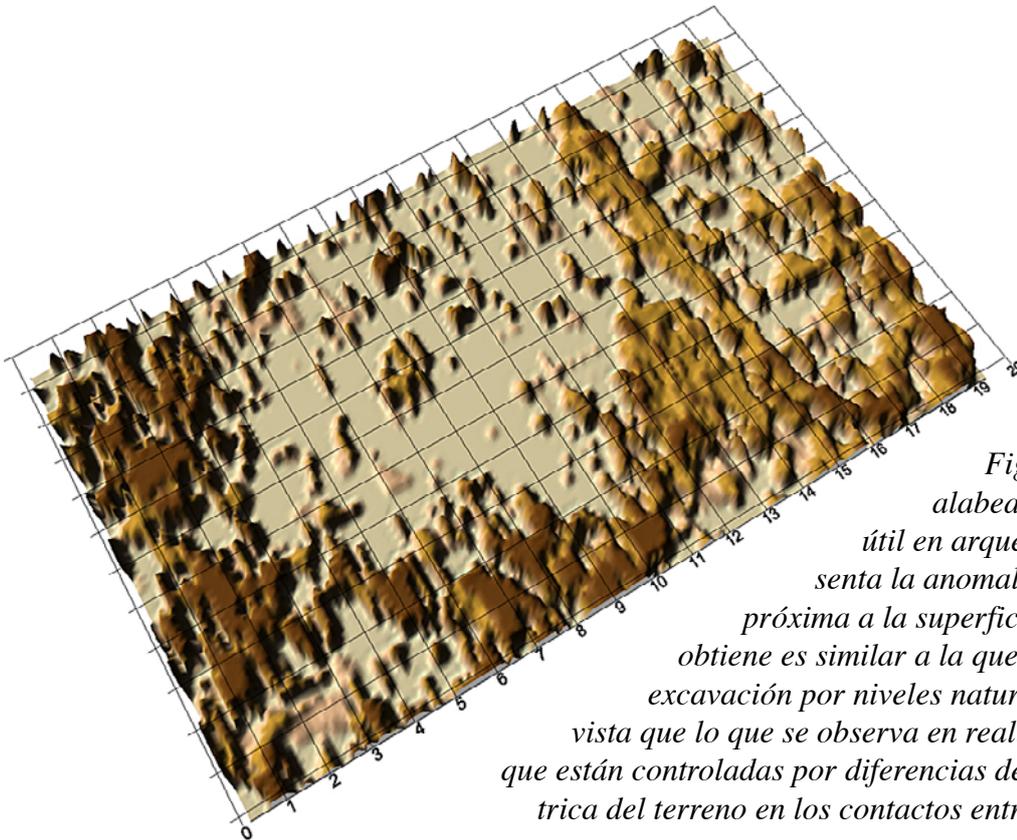


Fig. 12. La superficie alabeada es especialmente útil en arqueología ya que representa la anomalía significativa más próxima a la superficie. La imagen que se obtiene es similar a la que cabe esperar en una excavación por niveles naturales; sin perder de vista que lo que se observa en realidad son reflexiones que están controladas por diferencias de la constante dieléctrica del terreno en los contactos entre materiales.

3. INTERPRETACIÓN CONJUNTA

A partir del análisis conjunto de las anomalías procedentes de todos los métodos geofísicos aplicados, se está en disposición de realizar una interpretación más detallada del subsuelo que si sólo se hubiese aplicado un solo método (*Figura 13*).

Según ello, la parte superior del rectángulo explorado (marcada con 1, en la fig.13), puede albergar un horno romano bien conservado. El fuerte magnetismo remanente indicaría que se trata de una zona donde ha habido combustión (los materiales han superado la temperatura de Curie), y a la vez las imágenes rádar describen una geometría clara con reflectores que llegan al 1.5 m de profundidad (aproximada). El hecho de encontrar bajas velocidades (350 m/s), en la zona donde discurre el perfil sísmico PS-2, cabe interpretarse porque en este lugar los materiales son muy poco compactos pudiendo tratarse de una mezcla ladrillo-adobe donde no se descarta la posibilidad de que hubiera estructuras vacías con relleno. Esto concordaría con la estructura de una parrilla rellena, dado que los adobes se utilizaban a la hora de cerrar las cámaras que iban sobre las parrillas, y que eran los espacios en donde se albergaban las piezas a cocer. La hipótesis de que se trate de un horno está también acorde con la altura en que localiza esta estructura con relación a la bajada que hace el terreno; ello significaría que se ampliaría la zona de hornos de este alfar, algo que no debe extrañar, dado que a la altura de la carretera actual por la que se accede al mismo, se documentaron dos hornos más al hacerse esa vía.

A continuación, por encima del metro 15 (marcada con un 2 en la fig.13) le sigue una estructura rádar lineal caracterizada por altas resistividades (superiores a 500 Ω .m) y baja velocidad (350 m/s) que no

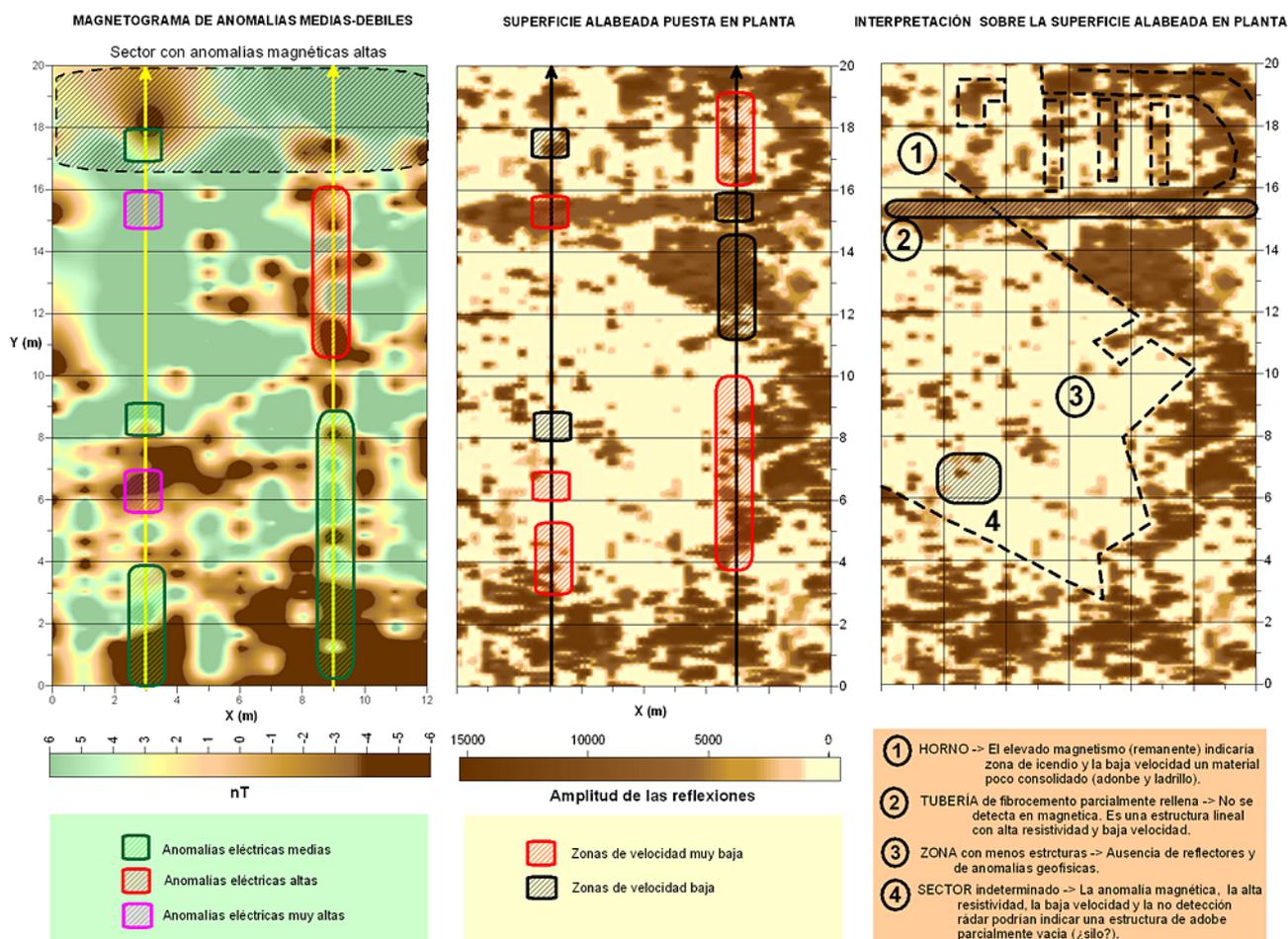


Fig. 13. Interpretación conjunta. Una vez superpuestas las anomalías procedentes de todos los métodos geofísicos aplicados, se está en disposición de realizar una interpretación más detallada del subsuelo que si solo se hubiese aplicado un método.

ha sido detectada por la prospección magnética. Teniendo en cuenta que próxima a la zona de estudio se encontraba una arqueta, este cuerpo puede ser una tubería de fibrocemento parcialmente rellena hacia los 9 m longitudinales (según el eje X); ello explicaría el aumento de velocidad y la bajada resistiva en el perfil ERT-2. En las imágenes radar se aprecia como si la construcción de la zanja hubiera roto una estructura lineal inclinada que bien pudiera atribuirse a un muro.

Entre los 12 m y 15 m (eje Y), en la parte media-derecha del rectángulo, las anomalías magnéticas se deben a magnetismo inducido y tienen carácter bipolar. En esta zona la velocidad se sitúa en torno los 500 m/s y la resistividad media es de 400 Ω .m. Las imágenes radar muestran un grupo de reflectores bastante concurrentes con el horno, ya que aparecen a los 0.8 - 0.9 m de profundidad y llegan hasta los 1.5 m. Parece tratarse de un material homogéneo en su parte superficial (¿adobe?), pero que en profundidad presenta ciertas estructuras murarias; como indica la rebanada radar horizontal correspondiente a los 1.3 m (Fig. 11). La interpretación de esta parte inferior podría estar de acuerdo con lo que ocurre en otras zonas del yacimiento, donde los ámbitos vienen señalados por paredes realizadas con tégulas reaprovechadas.

En las partes media-derecha e inferior del rectángulo explorado aparecen concentraciones de cuerpos reflectores con geometrías menos claras (¿derrumbes?) que llegan a menor profundidad (en torno los 0.7 m). Para los reflectores situados entre los 4 m y 10 m longitudinales (eje Y) poca cosa puede inferirse sobre su composición, excepto que la baja velocidad hallada (350 m/s) indicaría una zona con material muy suelto (almacenaje de piezas, cavidad rellena, depósito de arcilla, etc.). El conjunto de reflectores de la parte inferior presenta alineaciones más delgadas y definidas y los materiales que lo forman poseen un magnetismo inducido negativo (entre - 4 y -6 nT), una resistividad media (en trono 250 Ω .m) y una velocidad alrededor de 900 m/s; todo ello indica que podría tratarse de un ámbito con estructuras de ladrillo.

En la Figura 13 se ha delineado una zona (con un 3) en donde se hallan escasas reflexiones que coincide también con pocas anomalías magnéticas, lo que puede ser un indicativo de pocos restos y tratarse de un espacio funcional. No obstante, se ha marcado (con un 4) un sector donde hay una anomalía magnética significativa. En el mismo lugar, el perfil eléctrico detecta una alta resistividad (por encima de 500 Ω .m) y el sísmico una baja velocidad (350 m/s). Estos tres factores y el hecho de que el radar no lo haya detectado podría interpretarse como la presencia de una estructura con paredes de adobe que se halle parcialmente rellena (¿silo, depósito de piezas?, etc.). En cualquier caso es una zona de dudosa interpretación.

4. CONCLUSIONES

Este estudio ejemplifica como la realización de una prospección geofísica representa una buena propuesta para obtener información a priori, no destructiva, sobre la distribución de los restos arqueológicos y las características del subsuelo de un yacimiento (*fig. 14*).

En el presente estudio (y también como regla general) la correspondencia entre las estructuras arqueológicas y las imágenes geofísicas se ha establecido bajo las siguientes hipótesis:

Fig. 14. Vista aérea de la excavación y de la imagen radar del rectángulo explorado. Si se descarta la reflexión lineal que se ha interpretado como una tubería de fibrocemento, el resto de los reflectores parecen mostrar alineaciones coincidentes con las direcciones principales de la excavación.



En un medio homogéneo la respuesta de cualquier método geofísico es constante y, por tanto, no se producen anomalías significativas.

1. Cuando se detecta un nuevo material con características distintas a la del medio encajante (piedras, muros cerámicas, cambio litológico, humedades, etc.), entonces se producen distintos tipos de respuestas (hay contraste) y las imágenes que se obtienen deben ser interpretadas teniendo en cuenta toda la información disponible del yacimiento.
2. En zonas potencialmente arqueológicas, las respuestas (anomalías) con distribuciones más o menos geométricas pueden asimilarse a restos. Pero en ningún caso las anomalías geofísicas tienen adscripción crono-cultural.
3. Así mismo, también se pone de manifiesto como el uso de diferentes métodos está en relación directa con el volumen de información que puede extraerse. En efecto, cada uno de ellos tiene una respuesta geofísica distinta frente a los materiales del subsuelo, de modo que de su análisis y comparación se realiza la interpretación geofísica. Pero, posteriormente, el arqueólogo la debe validar ya que éste es, en última instancia, quien conoce la arquitectura de las estructuras que puede contener el yacimiento.

5. AGRADECIMIENTOS

En este estudio han participado los alumnos de la asignatura “Técnicas de Prospección Geofísica Aplicadas a la Arqueología” integrada en el máster en Arqueología y Territorio (Curso 2006-2007). No solo han intervenido en la toma de los datos de campo de los distintos métodos aplicados, sino también en la interpretación conjunta de los resultados obtenidos. A todos ellos, expresarles nuestro agradecimiento:

Natalia Inmaculada CALVO TOREL, María Isabel CAMPOS MENACHO, Nadia CHAFEI, María CHAVET LOZOYA, Sonia GARCIA LUQUE, Oscar Daniel GARCIA QUIROGA, Sara GIL JULIA, Natalia GÓNZALEZ HIDALGO, José Domingo LENTISCO NAVARRO, Luca MATTEI, Sara MEDINA SAN JOSE, Nathalia Paola MORENO RAMOS, Salvador NARANJO MORALES, Rafael PIQUERAS NUÑEZ, Elia QUESADA MARTINEZ, Hernan Alexsander QUEVEDO JARA, Zulema REBOLLO RUBIO, Elena H. SANCHEZ LOPEZ y Elisabet SEPULVEDA TORO

6. BIBLIOGRAFÍA

CASADO MILLÁN, P. J.; BURGOS JUÁREZ, A.; ORFILA PONS, M.; ALCARAZ HERNÁNDEZ, F.; CASSINELLO ROLDÁN, S.; CEVIDANES LEÓN, S.; RUIZ TORRES, S. (1999): “Intervención arqueológica de urgencia en el alfar romano de Cartuja (Granada)”. *Anuario Arqueológico de Andalucía* 1994 vol. III. Actividades de Urgencia, Sevilla, pp. 129-139.

GEBRANDE, H. AND MILLER, H. (1985). Refraktionsseismik (in German). In: F. Bender (Editor), *Angewandte Geowissenschaften II*. Ferdinand Enke, Stuttgart; pp. 226-260. ISBN 3-432-91021-5.

GÓMEZ-MORENO, M. (1988): *Monumentos romanos y visigóticos de Granada*. Edición facsímil. Universidad de Granada, Granada.

- LAWRENCE B. CONYERS (2004). *Ground- Penetrating Radar for Archeology*. Altamira Press, ISBN: 0-7591-0772-6. PO Box 317, Oxford, OX2 9RU, UK.
- LECOME, I. GJOYSTADAL, H. DAHLE, A. and PEDERSEN, O.C. (2000). Improving modeling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver. *Geophysical Prospecting*, volume 48, pp. 437-454.
- LOKE, M. H. (2002). *RES2DMOD ver. 3.0, 2D Resistivity and IP Forward Modelling*. Ed. M.H. Loke, Penang
- PELLICER CATALÁN, M. (1962): Actividades de la Delegación de zona de la provincia de Granada durante los años 1957-62. *Noticiario Arqueológico Hispánico VI*. Ministerio de Cultura, Madrid, pp. 304-350.
- SCHUSTER, G.T. and A. QUINTUS-BOSZ, A. (1993). *Wavepath eikonal travelttime inversion: Theory*. *Geophysics*, volume 58, pp. 1314-1323.
- SERRANO RAMOS, E. (1976): “La cerámica romana de los hornos de Cartuja (Granada)”. *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 1. Granada, pp. 215-233.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1966): “Alfar romano en Granada”. *IX Congreso Nacional de Arqueología (Valladolid, 1965)*, pp. 367-372.
- SOTOMAYOR MURO, M. (1970): “Siete hornos de cerámica romana en Granada con producción de sigillata”. *XI Congreso Nacional de Arqueología (Mérida, 1968)*, pp. 713-728.
- WATANABE, T. *et al.* (1999). Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach. *SEG Houston 1999 Meeting, Expanded Abstracts*.