

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA MEDIANTE RÁDAR DE SUBSUELO EN LA VILLA ROMANA DE FUENTE ÁLAMO

JOSÉ ANTONIO PEÑA ⁽¹⁾
FRANCISCO JAVIER ÁVILA CASASOLA ⁽²⁾
MANUEL DELGADO TORRES ⁽³⁾
TERESA TEIXIDÓ ⁽⁴⁾

Resumen: En el interior del recinto de la *Villa* romana de Fuente Álamo (Puente Genil, Córdoba) se ha realizado una prospección geofísica con radar de subsuelo en sectores no excavados. El método empleado ha sido el de perfiles paralelos de reflexión, separados 25 cm entre ellos. Cada perfil ha sido tratado con técnicas de procesamiento multiseñal a fin de potenciar las señales debidas a las posibles estructuras infrayacentes (reflexiones prominentes) y, posteriormente, se han reunido mediante procedimientos 3D para obtener mapas de la distribución horizontal de estos reflectores. Adicionalmente se ha aplicado un “picado-selectivo” a los reflectores más significativos a fin de visualizar espacialmente su relieve. El resultado final se plasma en distintos mapas de distribución horizontal que permiten plantear más eficazmente futuras intervenciones.

Résumé: Au milieu de l'enceinte du *Villa* romain de Fuente Álamo, Puente Genil, Cordoue, il s'est réalisé une prospection géophysique avec radar de sous-sol en secteurs non creusés. La méthode employée a été celle de profils parallèles de réflexion, séparée 25 cm entre eux. Chaque profile a été traité avec techniques multi signal pour améliorer les signaux dus aux possibles structures soterrés (réflexions proéminentes) et, postérieurement, ils il sont réunis grâce aux procédés 3D pour obtenir cartes de la distribution horizontale de ces réflecteurs. De manière supplémentaire il s'est employé un « piqué sélectif » aux réflecteurs les plus significatifs afin de visualiser spatialement son relief. Les résultat final il se concrétisent en distinctes cartes de distribution horizontale qu'ils permettent de projeter plus efficacement futures interventions.

Summary: A geophysical prospecting with subsoil radar has been carried out inside the enclosure of the Roman *Villa* of Fuente Álamo (Puente Genil, Córdoba). This work has been done in not excavate quadrant. The used method is parallel profiles of reflection; spaced 25 cm among. The data have been processed individually to improve the reflections signals do to possible structural anomalies. After, this profiles has been grouped with 3D procedures for to obtain the views of the spatial distribution. Additionally a “selective-picking” has been applied in the most significant anomalies to look its minimum depths. The final results are showed trough different spatial anomalies maps that can guide efficiently future interventions.

1. INTRODUCCIÓN: ZONA DE ESTUDIO

Fuente Álamo está situado en el término municipal de Puente Genil (Córdoba), a 3 Km al NE de la población; en las inmediaciones del paraje conocido como Los Arenales

Cuantitativamente significa un punto más en la amplia nómina de yacimientos localizados en el término municipal de Puente Genil. Sin embargo, el contexto superficial que presenta individualiza bastante a este asentamiento. Éste se muestra a través de abundantes restos de edificaciones de *opus caementicium* que aún se ofrecen a la vista por no haber sufrido nunca un soterrado total, algunos pavimentos de *opus signinum*, y diseminados, *sigillatas*, ladrillos y monedas; proporcionando a la *villa* una cronología entre los siglos II y IV d.C.

La parte excavada de la villa muestra una edificación de una sola planta, con traza ortogonal en todas sus dependencias; salvo en la parte del *oecus* que presenta cabecera absidal. Los muros de la villa son de dos tipos: un primer tipo de ladrillos unidos con argamasa de barro y un segundo tipo, el más frecuente, de aparejo mixto, a base de hiladas de ladrillo y piedra, con un grosor de 65 a 70 cm y 1 m en los de carga.

Sin duda alguna la excepcionalidad de Fuente Álamo viene determinada por la existencia de pavimentos *musivarios* sin parangón en el mundo romano, constituyendo un *unicum* arqueológico. Tal es el caso del mosaico de tema Nilótico, el de las Tres Gracias o el Triunfo de Baco.

Del estudio de los materiales, los mosaicos y estructuras excavadas en Fuente Álamo se podría considerar esta edificación del siglo IV d.C.; observándose dos fases claramente diferenciadas de ocupación humana. Una primera fase en época hispano-romana que finalizaría con el abandono de la Villa, y una segunda fase de reutilización de esta parte de la Villa en época visigoda, en la cual parte de las dependencias fueron reutilizadas para encerrar ganado y parte como vivienda y almacén de víveres.

2. MÉTODO GEOFÍSICO EMPLEADO

- Perfiles de reflexión con radar de subsuelo

Los perfiles de reflexión mediante radar de subsuelo (georradar, GPR) son la modalidad más usual de adquisición de este tipo de datos en arqueología. Consiste en desplazar sobre el terreno una antena que emite pulsos de energía electromagnética en una banda limitada de radiofrecuencia (Figura 1). Dichos pulsos viajan hacia el interior del terreno en forma de ondas electromagnéticas y cuando encuentran una superficie de discontinuidad electromagnética, parte de la energía que transportan se refleja. En general estas superficies son debidas a cambios litológicos y también a variaciones del contenido en agua dentro de una misma capa.

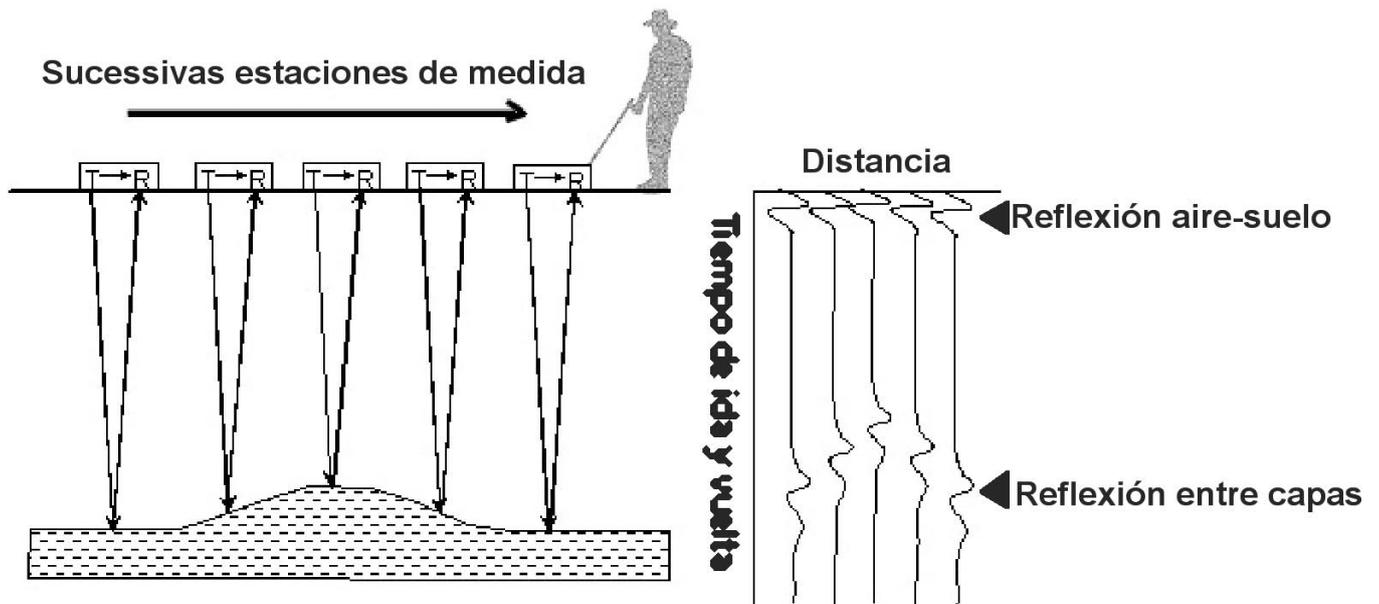


FIG. 1. Esquema de realización de un perfil de reflexión con radar de subsuelo. La antena, formada por un transmisor (T) y un receptor (R) se desplaza sobre el terreno, emitiendo pulsos a distancias prefijadas. Cada disparo genera una onda (traza) que da cuenta de su recorrido por el subsuelo.

El radagrama es la representación más habitual de un perfil radar (Figura 2) ya que permite visualizar el terreno dándole una apariencia de continuidad. Los radagramas se construyen teniendo en cuenta que las trazas están muy cercanas y la gama de colores se elige en función de la intensidad de las reflexiones, en general colores más vivos a mayor intensidad.

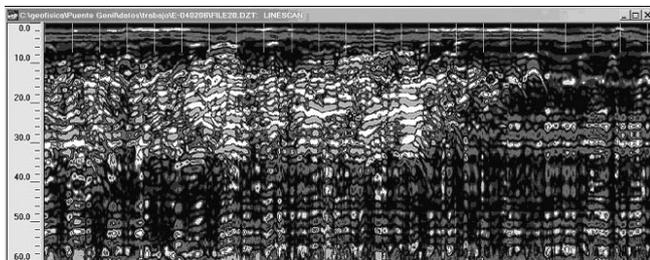


FIG. 2. El radagrama típico. En el eje horizontal se marcan las distancias en m (marcas verticales de la parte superior), y en el eje vertical los tiempos de ida y vuelta medidos en nanosegundos. El ejemplo corresponde a un radagrama sin tratar del sector E.

Un requisito básico para que se produzcan reflexiones es que exista un contraste notable entre las constantes dieléctricas de los materiales en contacto. Si entre dos materiales éste parámetro físico es parecido no hay reflexión y en el radagrama aparecen como un único material; aunque su aspecto sea radicalmente diferente a simple vista. Lo contrario también puede ocurrir: un mismo material puede tener un distinto valor de constante dieléctrica en función de su contenido en fluidos (agua o contaminantes líquidos).

- Instrumentación utilizada y adquisición de datos

Como equipo transmisor-receptor se ha utilizado un radar de subsuelo monocanal modelo SIR 2000, desarrollado por la empresa americana GSSI, y una antena de 400 MHz (Figura 3).

La elección de este tipo de antena vino impuesta teniendo en cuenta que la profundidad de penetración y la resolución dependen de las características del terreno y de la antena utilizada. Para ello se fijó un valor medio de constante dieléctrica del terreno de 15 que supuso una penetración nominal calculada de 2.5 m; suficiente para cubrir con una buena resolución los objetivos perseguidos.

El tratamiento multiseñal de los datos se ha realizado con la aplicación Radan-4 de GSSI, y la presentación final de los resultados con programas convencionales de CAD, imágenes, gráficos y textos.

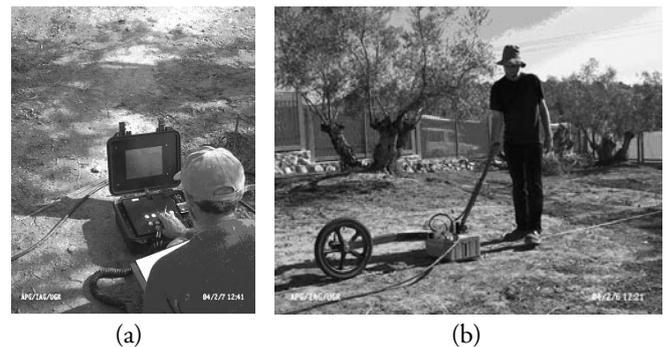


FIG. 3. Equipo básico utilizado. (a) Unidad radar SIR 2000 con el cable de conexión con la antena. (b) La antena de 400 MHz está siendo desplazada a lo largo de un perfil materializado en el suelo con la ayuda de una cinta métrica. La rueda marcadora sujeta a la antena permite realizar disparos cada cierta distancia prefijada (2 cm en nuestro caso). La foto corresponde al proceso de adquisición de datos en el sector C.

La adquisición de datos se efectuó durante el mes de febrero de 2004. En la Tabla 1 se muestran los parámetros empleados en la adquisición, que han sido los mismos para todos los sectores

Tabla 1. Parámetros de adquisición

Muestras / traza.....	512
Bits / muestra.....	16
Trazas / m.....	50
Rango de ganancias (dB).....	2.0, 46.0, 64.0, 64.0, 78.0
Filtro Vertical pasa-bajas.....	N = 1 F = 800 MHz
Filtro Vertical pasa-altas.....	N = 2 F = 30 MHz
Apilamiento Horizontal IIR TC...	4

3. TRATAMIENTO DE DATOS

Los radargramas en bruto muestran la información útil enmascarada entre un gran número de señales parásitas (ruido). En una primera etapa de tratamiento el objetivo del procesamiento multiseñal consiste en eliminar de los radargramas dicho ruido a fin de evidenciar las reflexiones de interés. En la Tabla 2 se muestra el flujo de procesamiento aplicado en este caso y en la Figura 4 se recoge el resultado de aplicación de este flujo sobre un radargrama tipo de campo.

Tabla 2. Flujo de procesamiento aplicado a todos los radargramas

Puesta a 0 automática
Eliminación de ruido coherente
Deconvolución predictiva
Filtro vertical pasa baja
Migración de Kirchhoff
Transformada de Hilbert en magnitud
Selección del umbral de representación

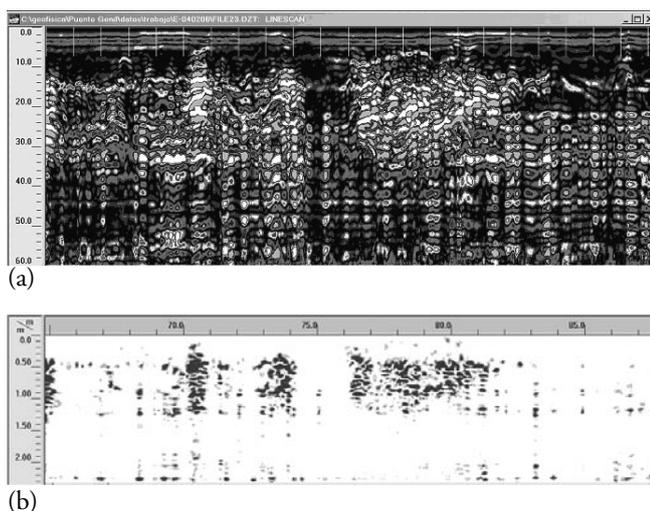


FIG. 4. Efecto del tratamiento aplicado a un radargrama en bruto del sector E (a). (b) El mismo radargrama anterior procesado mediante el flujo descrito. Se ha conseguido la desaparición de la mayor parte de las señales parásitas quedando solo las señales de interés entre los 10 y 35 ns. La elección del un umbral de representación adecuado permite observar las señales que sobrepasan un cierto nivel prefijado, prescindiendo de la información banal, se observan. El paso final de representación es la conversión a profundidad calculada a partir de la constante dieléctrica del material encajante.

En una segunda etapa de tratamiento se ha procedido al procesamiento 3D con vistas a la elaboración de los mapas de distribución horizontal de anomalías; también llamados “mapas de rebanadas de tiempo”. Estos mapas se confeccionan integrando la información de un conjunto de perfiles próximos y paralelos. Para ello se fija, en cada perfil, un espesor centrado a una cierta profundidad (la rebanada de tiempo), y se correlacionan las amplitudes máximas entre los radargramas vecinos. Una limitación de este método es la generación de “artefactos matemáticos” derivada de la interpolación, que tiende a enlazar cada amplitud máxima con la más próxima del perfil vecino. En general estos artefactos son perpendiculares a los perfiles y más acusados cuanto mayor sea la distancia entre ellos. En nuestro caso este problema está minimizado por la escasa distancia entre los perfiles vecinos, pero para reducir su efecto al mínimo, a cada rebanada se le ha aplicado un remuestreo posterior con métodos geoestadísticos, seguido de una selección del umbral de representación de los resultados (Figura 5).

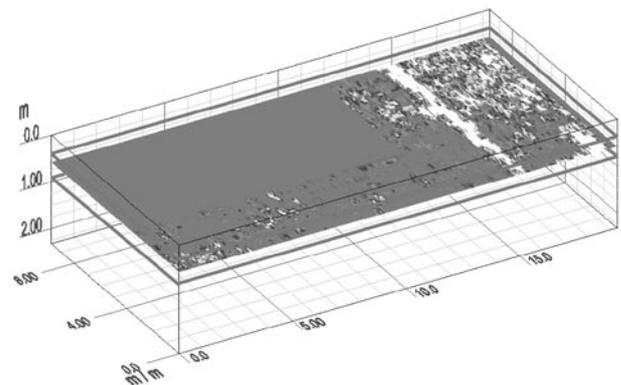


FIG. 5. “Rebanada de tiempo” obtenida mediante la correlación entre los radargramas; realizados con separación de 0.25 y en la dirección del eje mayor de la figura. La profundidad de referencia está marcada por la propia posición de la rebanada y el espesor que representa se indica mediante las líneas paralelas, situadas por encima y por debajo de la misma.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha procurado explorar la mayor superficie posible al exterior del área excavada, dentro del recinto municipal delimitado por la cerca perimetral, de manera que los sectores estudiados se plantearon utilizando los obstáculos intocables (los olivos) como delimitadores (Figura 6).

Los resultados más interesantes obtenidos corresponden a los sectores N, C, y E (figuras 7, 8 y 9); la mayor cantidad de estructuras se ha detectado en el Sector E. Para este sector (Figura 9) se han seleccionado diferentes rebanadas a fin de mostrar la evolución de las reflexiones más fuertes en profundidad (desde 0.3 m a 1.1 m). Nótese como en la rebanada correspondiente a la profundidad de 0.3 m se empiezan a detectar las improntas de estructuras junto con los prismas de mármol moderno, colocados para simular curvas de nivel, y los restos del material reciente removido para facilitar la adquisición de datos. En la siguiente rebanada (a 0.5 m) se siguen viendo los restos recientes pero además aparecen fuertes reflexiones (anomalías) alineadas con las direcciones estructurales de la villa. Dichas anomalías aumentan la coherencia en rebanadas de mayor profundidad (de 0.7 m a 1.1 m) y claramente delimitan espacios habitacionales.

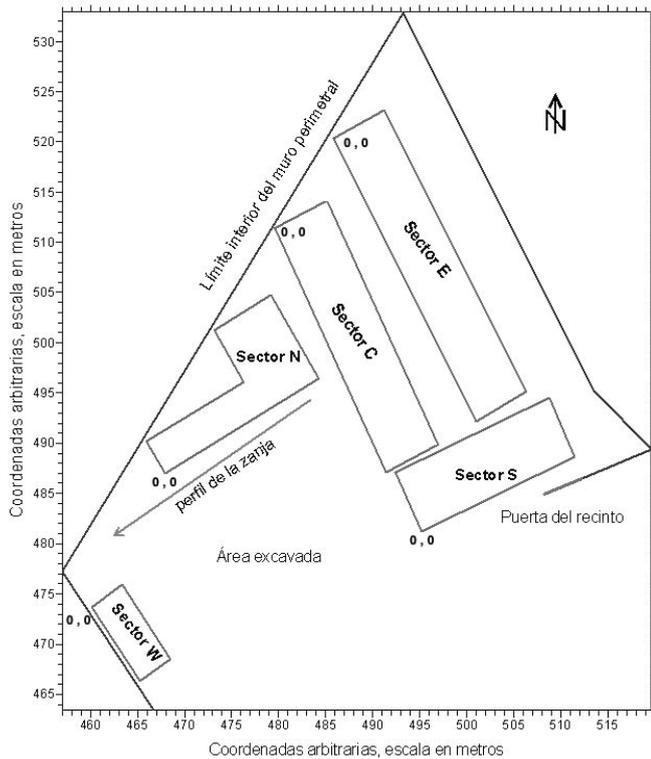


FIG. 6. Situación de los sectores explorados con relación a la cerca perimetral del recinto. Los puntos singulares al interior de la cerca se referenciaron mediante estación total, usando un sistema de coordenadas arbitrario y una orientación aproximada al norte magnético. También se posicionaron los límites de los diferentes sectores.

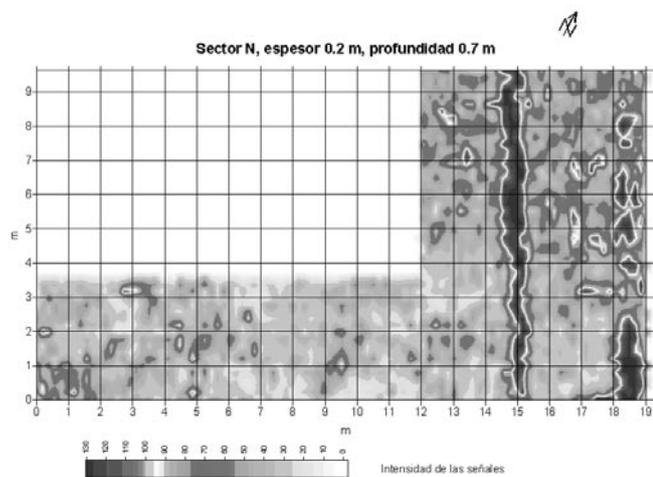


FIG. 7. Mapa de distribución de anomalías del Sector N. Se ha seleccionado una de las rebanadas más representativas (a 0.7 m de profundidad), en la que se aprecia una neta anomalía longitudinal atribuible a un muro.

Dada la relevancia de las anomalías encontradas en el Sector E, se ha aplicado un método alternativo de estudio 3D que consiste en marcar sobre cada radargrama el techo de cada reflector de interés. Este marcaje (picado selectivo) es cualitativo ya que

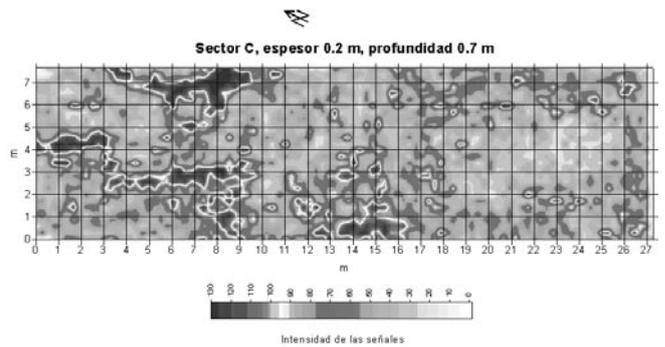


FIG. 8. Mapa de distribución de anomalías del Sector C. En este caso la rebanada más representativa coincide con la del Sector N (a 0.7 m de profundidad). Entre los metros 1 y 10 del eje mayor se detectan anomalías achacables a estructuras.

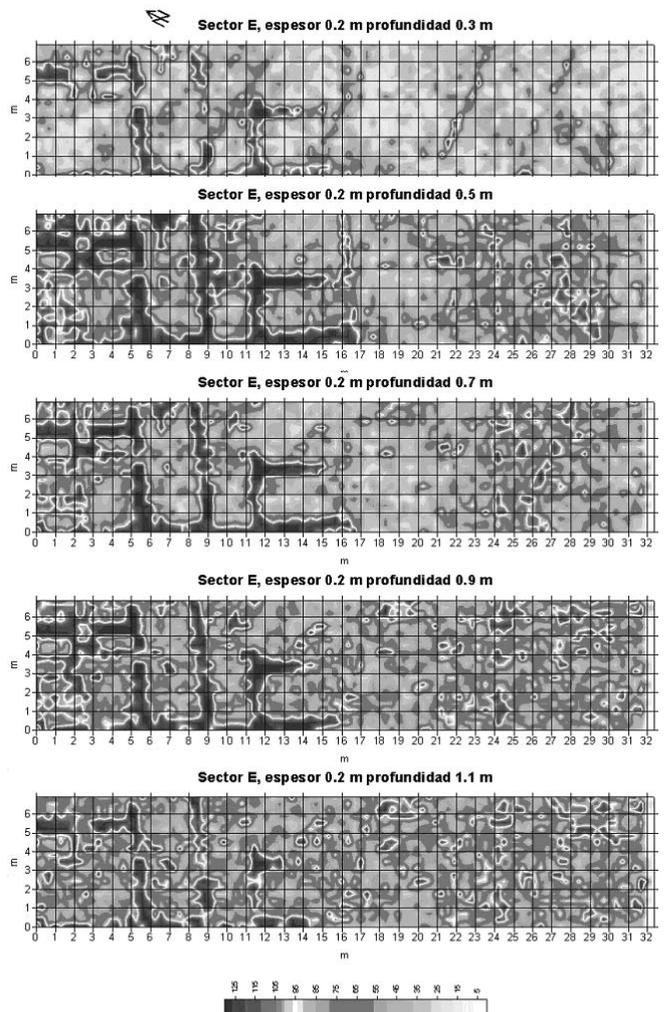


FIG. 9. Mapa de distribución de anomalías del Sector E. En este caso se han seleccionado diferentes rebanadas para mostrar la evolución de las anomalías en profundidad (desde 0.1 m a 1.1 m). Mientras que en las rebanadas más superficiales se detectan las improntas de materiales recientes mezcladas con las correspondientes a estructuras (diferentes alineaciones), en las rebanadas posteriores aparecen fuertes anomalías alineadas con las direcciones estructurales de la villa.

se realiza sobre la base de la experiencia del operador. Como resultado se obtiene un conjunto de puntos (x,y,z) que, una vez tratado con métodos geoestadísticos, representa la distribución espacial de los cuerpos relectores (Figura 10).

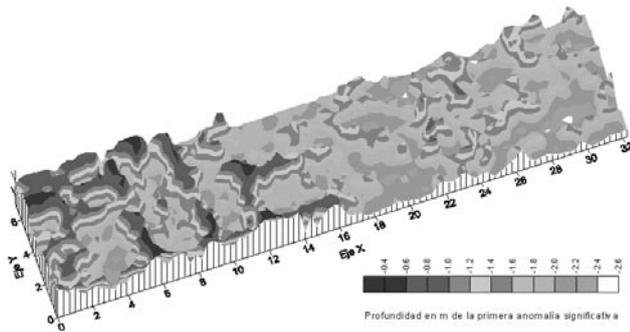


FIG. 10. Imagen 3D resultante de la aplicación del método de picado selectivo para el Sector E.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que tanto la metodología de adquisición de datos como los tratamientos de procesado empleados permiten un conocimiento muy aceptable del subsuelo a excavar. Siendo de destacar la notable coherencia entre los mapas de distribución horizontal de anomalías y los correspondientes mapas de profundidades del techo de los reflectores; ambos obtenidos por dos métodos completamente diferentes.

Si bien la detección de capas reflectoras está condicionada por el contraste entre la constante dieléctrica del material que forma la estructura y la del medio encajante; hay dos etapas cruciales que se requiere optimizar a la hora de la toma de datos: i) la definición de los parámetros de adquisición y la distancia entre perfiles, que

favorecen la detección de reflexiones y su posterior extrapolación a mapas de superficie. ii) La etapa de tratamiento que se aplica a cada radargrama con el objetivo de aislar las reflexiones atribuidas a estructuras de interés de las demás señales parásitas. Solo un buen procesado individualizado permite luego una coherencia entre mapas resultantes de distintos tratamientos.

En la práctica la exploración con radar del subsuelo permite orientar la excavación arqueológica a los lugares donde los mapas de anomalías indican la posible localización de estructuras (situación y morfología); lo cual justifica sobradamente su empleo previamente a cualquier intervención.

Dado que el coste por metro cuadrado explorado con radar del subsuelo es una fracción mínima del coste por metro cúbico excavado, su utilización también permite la exploración de áreas muy superiores a las que finalmente se excavarán; optimizando de esta manera los recursos que a emplear en la excavación y obteniendo una información documental que permite la planificación de futuras intervenciones.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se ha realizado a petición del Ilustrísimo Señor D. Manuel Baena Cobos, alcalde del Excelentísimo Ayuntamiento de Puente Genil.

El trabajo ha sido planteado como “actividad arqueológica puntual”. Como Arqueólogo Inspector ha actuado Alejandro Ibáñez Castro, de la Delegación de Cultura de Córdoba.

Las tareas de operador de campo las ha realizado Raúl Peña.

Notas

⁽¹⁾ Área de Prospección Geofísica, del Instituto Andaluz de Geofísica de la Universidad de Granada. prospeccion@iag.ugr.es, www.ugr.es/local/geofisic

⁽²⁾ Arqueólogo.

⁽³⁾ Arqueólogo. Jefe del Servicio de Patrimonio y Arqueología del Excmo. Ayuntamiento de Puente Genil. mdelgadot@telefonica.net

⁽⁴⁾ Grupo de Prospección Geofísica, del Institut Cartogràfic de Catalunya. tteixidó@icc.es

Bibliografía

- AAVV. <http://www.visualhungary.com/peregrinus/sp/2.html>
- DAVIAULT, A.; LANCHI, J.; LÓPEZ PALOMO, L.A. (1987). *Un mosaico con inscripciones. Puente Genil (Córdoba)*, <<Publicacions de la Casa Velázquez>>, Serie Etudes et Documents, III, edición bilingüe, Madrid.
- GSSI (1998). *RADAN for Windows NT. Version 2.0. User's manual*. Geophysical Survey Systems, Inc. North Salem.
- GSSI (2001). *SIR System-2000. Operation manual*. Geophysical Survey Systems, Inc. North Salem.
- LECKEBUSCH, J. (2000). Two- and Three-dimensional Groundpenetrating Radar Surveys Across a Medieval Choir: a Case Study in Archaeology. *Archaeol. Prospect.* 7, 189-200.
- LÓPEZ MONTEAGUDO, G. et al. (1988). El simbolismo del matrimonio en el mosaico de Fuente Álamo (Puente Genil, Córdoba) y otros mosaicos hispanos inéditos, *Latomus*, XLVII/4. pp. 785-804.
- LÓPEZ PALOMO, L. A. (1978). La ciudad romana de Fuente Álamo. *Actas del I Congreso de Historia de Andalucía. I. Fuente y Metodología. Andalucía en la Antigüedad*. Córdoba. pp. 363-372.
- LÓPEZ PALOMO, L. A. (1985). Excavaciones de urgencia en la villa romana de Fuente Álamo (Puente Genil, Córdoba), 1985, *AAA*, III, pp. 105-115.
- LÓPEZ PALOMO, L. A. (1992). Fuente Álamo. El lujo romano al sur de Córdoba. *Revista Cajasur*, n.º 48. Córdoba. pp. 17-20.
- LÓPEZ PALOMO, L. A. (2002). La villa de Fuente Álamo, *I Congreso de Historia de Puente Genil*. Puente Genil. Pasado y Presente. Universidad de Córdoba. pp.184-238.
- NEUBAUER, W.; EDER-HINTERLEITNER, A.; SEREN, S. and MELICHAR, P. (2002). Georadar in the Roman Civil Town Carnuntum, Austria: An Approach for Archaeological Interpretation of GPR Data. *Archaeol. Prospect.* 9, 135-156
- PEÑA, J. A.; TEIXIDÓ, T. and ESQUIVEL, J. A. (2002). Improvements in the images of horizontal slices by means of processed radar data. Congreso: *Cien años de Sismología en Granada*, 8-11 de octubre de 2002.