

OBTENCIÓN DE IMÁGENES GEORRÁDAR 3D EN EL YACIMIENTO ARQUEOLÓGICO DE LA MOTILLA DEL AZUER (DAIMIEL, CIUDAD REAL)

3D ground penetrating radar images obtained in “Motilla del Azuer” archaeological site (Daimiel, Ciudad Real)

JOSÉ ANTONIO PEÑA*, TERESA TEIXIDÓ*, TRINIDAD NÁJERA** y FERNANDO MOLINA**

RESUMEN El yacimiento de la Edad del Bronce de la Motilla del Azuer viene siendo objeto de excavaciones arqueológicas sistemáticas y de intervenciones para su puesta en valor por el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada durante las últimas décadas. Con el objeto de priorizar los sectores de excavación en futuras campañas se han realizado dos intervenciones geofísicas, la más reciente en el año 2009, usando el método de rádar de penetración terrestre (georrádar) en su modalidad 3D. El yacimiento que por sus estructuras arquitectónicas de piedra y depósitos presenta forma de montículo cónico, posee potentes capas de derrumbe. Ambos factores (relieve y derrumbe) producen imágenes georrádar poco nítidas, dificultando la interpretación arqueológica. En el presente estudio se describen las estrategias seguidas para obtener imágenes rádar lo más nítidas posibles; como son la corrección topográfica de los datos, y la creación de superficies alabeadas e imágenes tridimensionales descartando los niveles de derrumbe.

Palabras clave: Edad del Bronce, La Mancha, Motilla del Azuer, Prospección geofísica, Rádar del subsuelo (georrádar)

ABSTRACT In the last decades systematic excavations and Heritage valorization programs has been developed in the Motilla del Azuer Bronze Age archaeological site by University of Granada Department of Prehistory and Archaeology. Two geophysical research activities have been the most recent made, in 2009, in order to prioritize the areas where the future excavations campaigns could take place. Ground Penetrating Radar (GPR) in 3D mode has been used. The site shows a conical mound shape and has important layers of collapse. Both factors (slope and collapse) produce blurry images GPR which don't make easy any archaeological

* Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada. *peruano@ugr.es*, *tteixido@ugr.es*

** Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Granada. *tnajera@ugr.es*, *molinag@ugr.es*

Este estudio ha sido financiado por el Proyecto de Investigación (HUM2006-11296) *Función de los espacios y control de los recursos subsistenciales en la Motilla del Azuer. Un modelo para el estudio del asentamiento humano en La Mancha durante La Edad del Bronce.*

Fecha de recepción: 11-12-2009. Fecha de aceptación: 18-12-2009.

interpretation. In this paper strategies to get radar images as good as possible are discussed, such as topographic correction of data, design of warped surfaces and three-dimensional image in order to discard the levels of collapse.

Key words: Bronze Age, La Mancha, Motilla of Azuer, Geophysical survey, Subsurface radar (Ground-penetrating Radar, GPR)

1. LA MOTILLA DEL AZUER

Durante la Edad del Bronce la Mancha Occidental estuvo densamente poblada. A nivel arqueológico en este territorio se pueden definir dos tipos principales de asentamiento: poblados situados en cerros dominantes en las zonas de sierra y poblados de llanura o motillas. Estos últimos yacimientos son montículos cónicos de unos 5 a 10 metros de altura, formados por la erosión de potentes fortificaciones circulares de piedra y viviendas de pequeños poblados situadas a su alrededor. Presentan una implantación homogénea en el paisaje, con una distribución lineal a lo largo de los cursos de agua, generalmente con equidistancias regulares de entre 4 a 5 km. El proceso de nuclearización del poblamiento que tuvo lugar en La Mancha a comienzos del Bronce Antiguo, generó el modelo de asentamiento de las motillas, un complejo sistema de fortificación dirigido al control del agua y al almacenamiento y gestión de recursos subsistenciales, fundamentalmente el cereal (Nájera y Molina, 2004).

La Motilla del Azuer (Nájera, 1984; Nájera y Molina, 2004b; Molina *et al.*, 2005; Aranda *et al.*, 2008) presenta una fortificación central formada por tres recintos amurallados, aproximadamente concéntricos (fig. 1 y lám. I). La serie de dataciones de Carbono-14, realizadas sobre restos antropológicos, semillas y madera permite establecer el inicio de la ocupación del yacimiento en torno al 2200 cal AC, durante el Bronce Antiguo, y su abandono durante el Bronce Tardío, hacia el 1350 cal AC; por tanto el asentamiento estuvo ocupado de forma continua a lo largo de unos 800 ó 900 años.

El núcleo más interno de la motilla está integrado por la torre y los pasillos con rampas y escaleras que conducen a ella. La fortificación incluye otras áreas, destacando un gran patio dónde se localizan complejas estructuras relacionadas con la obtención y gestión del agua (pozo, rampas y plataformas de acceso), y dos grandes recintos delimitados por sendas líneas amuralladas, que cumplen, de manera prioritaria, una función de almacén de cereales y lugar de procesado y gestión de recursos agropecuarios. Durante la Edad del Bronce la Motilla del Azuer y otros asentamientos fortificados similares ejercieron a lo largo de los más de ochocientos años una importante función protegiendo recursos básicos como el agua, captada del nivel freático mediante un pozo, y controlando el almacenamiento y procesado de cereales a gran escala, para lo que se utilizaron diversos sistemas de almacenaje (grandes silos de mampostería, orzas, capachos de esparto). En el interior de la fortificación también se realizaron actividades relacionadas con la gestión de recursos ganaderos, dándose de forma ocasional la estabulación de ovicápridos y cerdos, así como otras actividades de carácter artesanal.

El poblado se sitúa a extramuros de la fortificación y está organizado en un radio de unos 50 metros de forma poco regularizada con viviendas de planta oval o rectangular,



Fig. 1.—Planta esquemática de la fortificación de la Motilla del Azuer.

espacios de producción especializada, en los que se localizan una alta concentración de fosas o silos y restos de hogares u hornos, así como zonas de basureros. Las cabañas se construyeron con zócalos de mampostería y alzados de barro. Sólo durante la fase más reciente del asentamiento se ocuparon como lugar de residencia los espacios más externos del área fortificada.

La necrópolis coincide a grandes rasgos con el área del poblado, documentándose dos áreas de concentración de sepulturas al sur y al noroeste del yacimiento. Se han localizado hasta el momento un total de 62 sepulturas de inhumación individual, generalmente en fosas simples o revestidas de pequeñas lajas hincadas, tanto de adultos como de individuos infantiles; éstos últimos se depositaron en algunas ocasiones en vasijas de cerámica. Los difuntos se situaron en posición de decúbito lateral flexionado. Son frecuentes los enterramientos que carecen de ajuar, aunque en algunas sepulturas la deposición de vasos de cerámica formó parte del ritual o, en casos excepcionales y siempre asociados a mujeres, el ajuar incluyó también algún elemento de cobre o plata.

2. PLANTEAMIENTO DE LA PROSPECCIÓN MEDIANTE GEORRADAR Y ADQUISICIÓN DE DATOS

Previamente a esta exploración de 2009, en el año 2004 se realizó una primera prospección georrádar en la parte este y sureste del poblado de la Motilla del Azuer, que permitió el ensayo de nuevas técnicas de representación 3D de los datos. Los resultados obtenidos aportaron información para la planificación de las posteriores intervenciones arqueológicas; la experiencia también ha sido de utilidad para definir la estrategia de adquisición y procesado de datos de la presente campaña.

En el 2009 la zona de exploración escogida ha sido el cuadrante suroeste del yacimiento, al exterior de la fortificación, situado entre los cortes excavados en los ejes estratigráficos oeste y sur; los límites de la excavación aparecen marcados con color amarillo en la figura 2. Las razones que han llevado a seleccionar esta área para la prospección fueron las siguientes: 1) En base a la topografía superficial del terreno, caracterizada por un desnivel acentuado, y a la información proporcionada por los ejes estratigráficos podría tratarse de una zona perimetral del yacimiento, en cuyo caso podría albergar estructuras comunales de cierta envergadura, como líneas externas de cierre del asentamiento (muralla o fosos), balsas, etc. 2) Las viviendas y zonas de actividad especializada localizados en el borde norte de esta zona, junto a la fortificación, se conservan en buen estado, lo que hace presumible la obtención mediante georrádar de un trazado del tejido urbano suficientemente explícito. 3) Cuando se completen las fases de puesta en valor del yacimiento se ha escogido esta zona del poblado para su musealización y apertura al público, debido a su situación con respecto a los itinerarios planteados para la visita al yacimiento. El área a prospectar se ha dividido en cinco sectores marcados en rojo en la figura 2.



Fig. 2.—Imagen de la Motilla del Azuer. Se marcan en amarillo los límites de excavación colindantes a las zonas exploradas con georrádar, que aparecen en rojo.

El método de prospección utilizado ha sido el de perfiles de reflexión mediante radar de subsuelo cubriendo el cuadrante SO del yacimiento (fig. 3, láms. II y III). La adquisición de datos se efectuó durante el mes de Agosto de 2009 utilizando un radar de subsuelo monocanal (SIR 2000, GSSI) y una antena de 400 MHz con una penetración nominal hasta 3 m de profundidad; suficiente para cubrir los objetivos perseguidos. Dado el relieve del terreno explorado y a fin de aplicar una corrección topográfica a los datos, se procedió a efectuar un levantamiento topográfico con una pareja GPS de bifrecuencia operando en modo cinemático en tiempo real (RKT). La toma de puntos coordenados se planteó en forma de malla de 1m x 1m y densificada en las zonas de gradiente. En la tabla 1 se presentan los parámetros de adquisición más significativos; de donde se extrae que el barrido de exploración fue mediante perfiles paralelos separados 25 cm entre sí y con una emisión-escucha (traza) cada 2 cm a lo largo de éstos. Así mismo, la constante dieléctrica del terreno para determinar la profundidad de las estructuras se ha calculado experimentalmente mediante la realización de radargramas paralelos a uno de los perfiles de las excavaciones arqueológicas tras haber introducido 2 barras de hierro a una profundidad conocida.

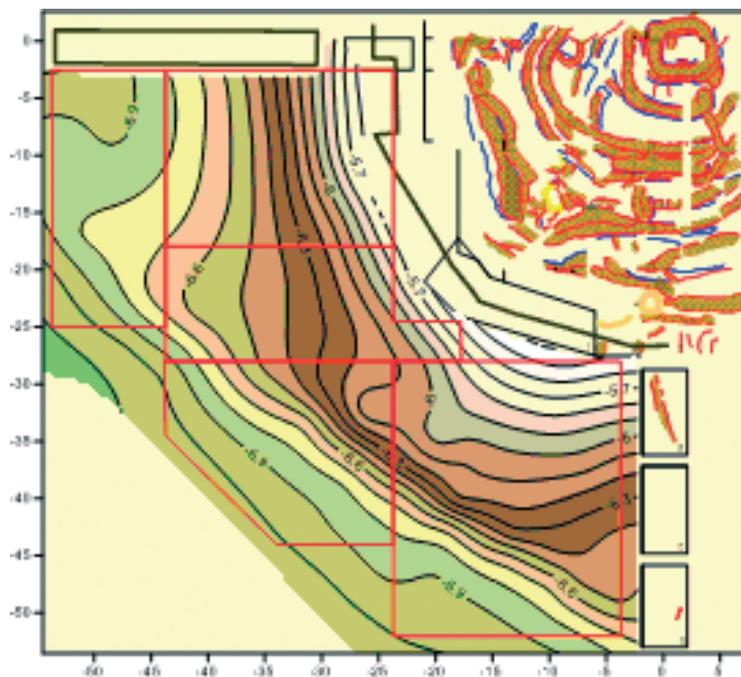


Fig. 3.—Plano del cuadrante SO del fortín explorado mediante rectángulos adjuntos. Cada rectángulo se ha barrido mediante perfiles de reflexión paralelos con separación de 0.25 m entre ellos, posteriormente los rectángulos se han agrupado para formar un solo conjunto de datos georrádar. En el mapa de situación (c) también se representa la topografía de detalle realizada con GPS de bifrecuencia operando en modo RTK.

TABLA 1
PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

Muestras / traza	512
Bits / muestra	16
Trazas / m.	50
Rango	60 ns
Filtro vertical IIR LP.	800 MHz
Filtro vertical IIR HP.	30 MHz
Filtro horizontal IIR Stack	5
Constante dieléctrica	10.3

3. PROCESADO DE LOS DATOS

Procesado estándar de los perfiles

Para el procesado estándar de los radargramas se ha empleado la aplicación Radan-6.5 (GSSI 2001). En la tabla 2 se describe el tratamiento general efectuado a los radargramas de campo y en la figura 4 el resultado de su aplicación. Como se desprende de la tabla 2, los perfiles han seguido un tratamiento estándar (Baket *et al.*, 1997), donde no se ha aplicado ningún tipo de migración ya que se ha comprobado que cuando se colapsan las hipérbolas producidas por la difracción sobre grandes sillares o estructuras derrumbadas, también se modifican muchas de las otras estructuras de interés (arcos, acequias, etc.), produciendo radargramas muy suavizados y con artefactos; aunque se usen anchos de rama hiperbólicos cortos. Tampoco recomendamos la transformada de Hilbert de los radargramas ya que, al estar las estructuras derrumbadas, este algoritmo las suele integrar hacia los niveles superiores e inferiores produciendo un conjunto más informe.

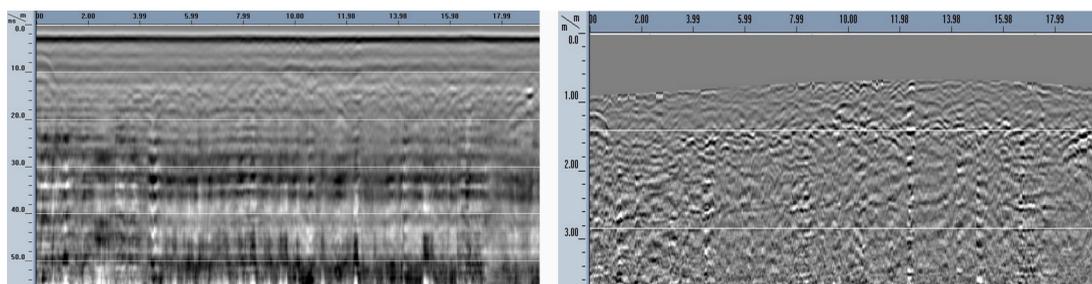


Fig. 4.—Ejemplo del procesado multiseñal aplicado. A la izquierda se muestra un radargrama de campo y a su derecha el mismo radargrama después de ser tratado. La corrección topográfica se distingue por el tramo superior gris, sin datos, que va marcando el relieve a lo largo del perfil.

TABLA 2
FLUJO DE TRATAMIENTO APLICADO A LOS RADARGRAMAS DE CAMPO

Ajuste automático del tiempo cero. (Thres. 3000)
Eliminación automática de ruido coherente horizontal
Deconvolución predictiva (N=31, Lag=5, PreWhite=1)
Filtro vertical pasa-altas FIR de 50 MHz
Filtro vertical pasa-bajas FIR de 550 MHz
Ganancia lineal
Corrección topográfica
Construcción del volumen de datos 3D

Efecto de la topografía

Dado que la zona de estudio presenta cierto relieve se ha efectuado una corrección topográfica a los radargramas para obtener imágenes más interpretables. En los esquemas de la figura 5 se justifica la corrección aplicada frente a la opción sin corrección. En este caso, el relieve implicado ha supuesto una diferencia de 1.6 m, entre las cotas locales del yacimiento; esto es de -5.5 m a -7.1 m. Un elemento decisivo ha sido el escalón central presente en la zona de estudio.

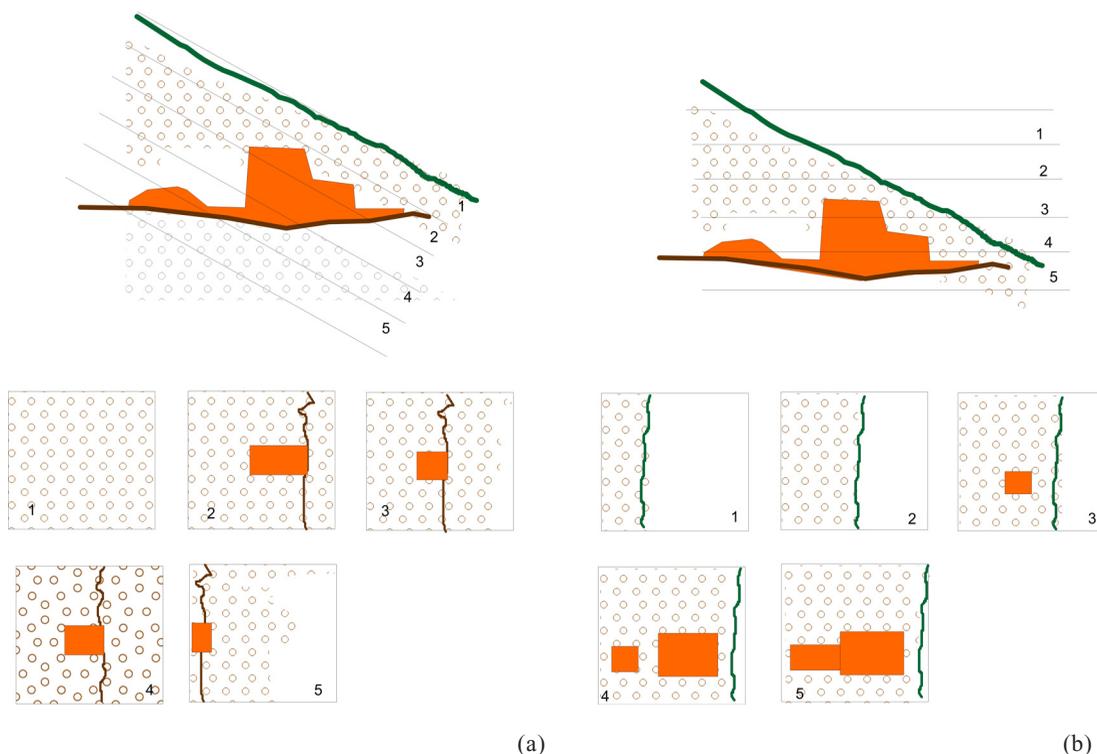


Fig. 5.—Los esquemas de la parte superior muestran una sección del terreno que alberga un objeto de interés. En el de la izquierda (a) no se realiza corrección topográfica de modo que las sucesivas rebanadas son paralelas a la superficie del terreno. Al ir seccionando el volumen de datos en rebanadas aparecerán las imágenes de la parte inferior y el objeto se presentará de forma parcial, siendo su interpretación difícil. En el esquema de la derecha (b) se aplica corrección topográfica de modo que cada rebanada corta en horizontal y la morfología del objeto aparece mejor representada; evidentemente cuanto más delgadas sean las rebanadas mejor queda definido el objeto.

En la figura 6 se comparan las imágenes correspondientes a la rebanada de un sector sin y con corrección topográfica.

Obtención de las imágenes 3D

El análisis general de datos rádar 3D viene determinado por la posición (x_i, y_i, z_i) de cada muestra y por su amplitud de reflexión (a_i) (fig. 7). Cuando la zona de estudio es de tamaño considerable, el volumen de datos implicado es grande (en este caso 512 muestras/traza x 1 traza/ 0.02 m x 50 m / perfil x 200 perfiles ~ $256 \cdot 10^6$ muestras) de forma que la obtención de imágenes debe tener en cuenta cómo se agrupan estas muestras para que contengan una información significativa. Este

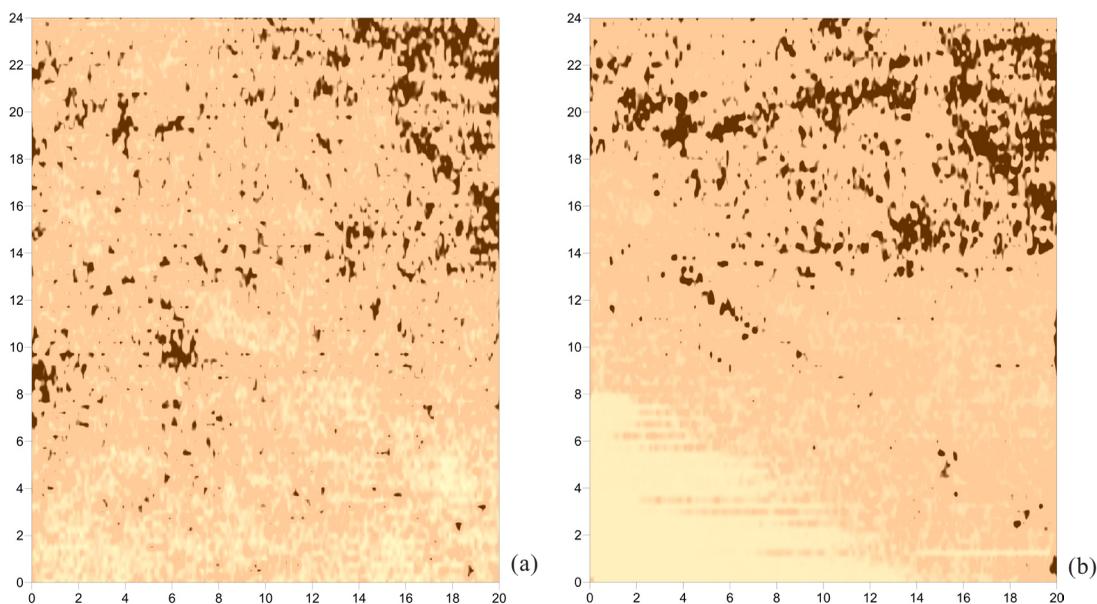


Fig. 6.—Efecto de haber aplicado corrección topográfica a los perfiles georádar. (a) La imagen corresponde a una rebanada realizada a 65 cm de profundidad con un espesor de 21 cm; al no haber realizado corrección topográfica la sección es paralela a la superficie del terreno. (b) Rebanada equivalente a la anterior donde se ha aplicado corrección topográfica, de modo que la rebanada corta en horizontal y la morfología de las reflexiones del tramo a 65 cm de profundidad aparecen mejor representadas.

también es otro punto crucial ya que de ello depende la nitidez de las imágenes que se vayan a obtener.

Cuando las estructuras soterradas son lineales, están bien conservadas y hay una acusada impedancia electromagnética entre los materiales buscados y su entorno, suele ser fácil la generación de imágenes nítidas y apenas hay que realizar ningún tipo de consideración especial. No obstante, en yacimientos con arquitecturas más complejas y con derrumbes es necesario aplicar un procesado muy meticuloso; en estos casos proponemos la siguiente metodología:

- i) Realizar una primera inspección del volumen generando cortes horizontales (rebanadas de profundidad) con un grosor equivalente al 10% de la profundidad total (Leckebusch J., 2000). En este estudio se ha fijado una rebanada de 21 cm de grosor que se ha ido desplazando a intervalos de 6 cm (5% de la profundidad total) hasta llegar a 2.5 m de profundidad, que es el nivel donde desaparecen las estructuras.
- ii) A partir del análisis de las rebanadas generadas se obtiene la evolución de las geometrías de las reflexiones con la profundidad, de modo que el segundo paso consiste en establecer los principales niveles artificiales y las zonas de derrumbe. En este estudio el tramo de mayor derrumbe se ha detectado entre los 65 y 95 cm de profundidad (fig. 8b).

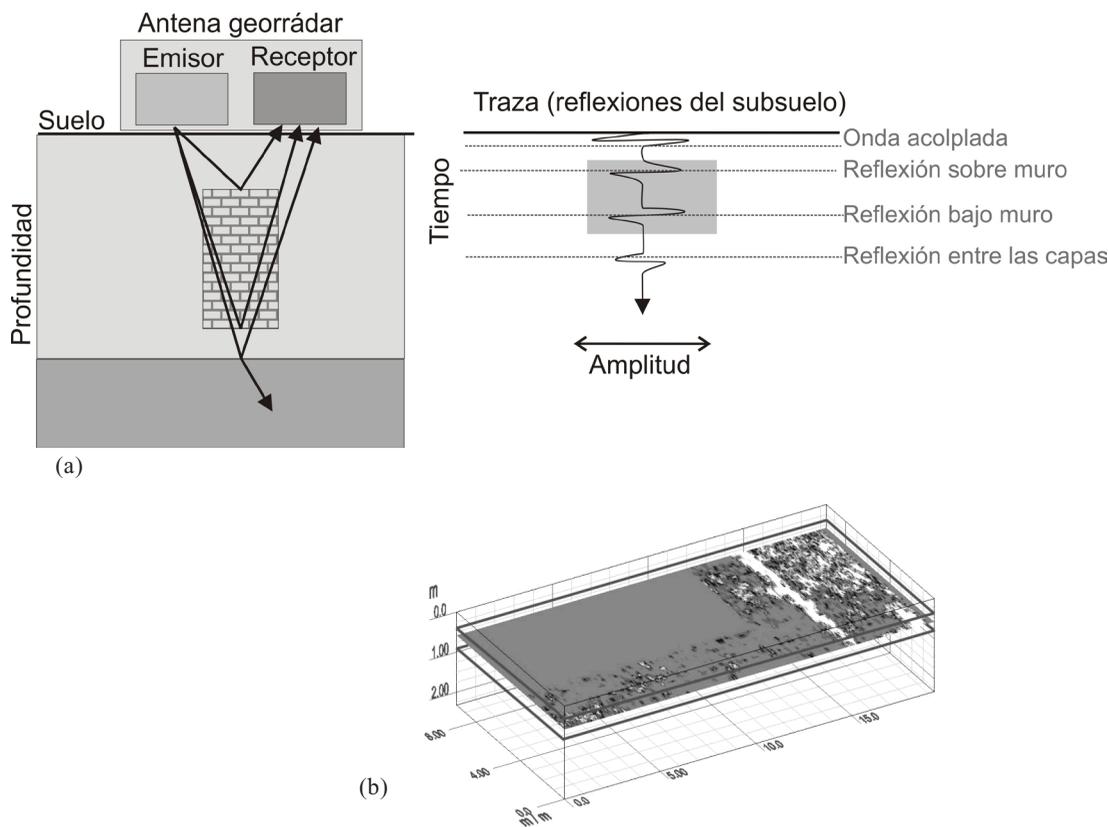


Fig. 7.—(a) Una traza georrádar contiene la información en punto del terreno de las reflexiones debidas a la emisión de un pulso electromagnético en dicho punto. Cada traza está formada por muestras que responden a una posición determinada del subsuelo y a una amplitud reflejada. (b) Ello genera un gran volumen de datos que debe analizarse agrupando las muestras por niveles representativos, el grosor de la rebanada va a determinar la nitidez geométrica de las reflexiones.

- iii) Una vez establecido los niveles y detectadas las zonas de derrumbe, se está en disposición de generar las superficies alabeadas (Peña *et al.*, 2002) que muestran la reflexión más próxima a la superficie para un valor de reflectividad predeterminado; obteniéndose imágenes similares a la que se obtendría si se excavase por niveles naturales; sin dejar de tener presente de que lo que se representa son valores de reflectividad del terreno. En este estudio el tramo de mayor derrumbe, entre los 65 y 95 cm de profundidad, se ha elegido como un horizonte de separación entre la superficie alabeada del nivel superior, hasta los 65 cm (fig. 9a), y la superficie alabeada del nivel inmediato inferior, entre 1 m y 1.35 m de profundidad (fig. 9b). Si se comparan estas imágenes con las rebanadas representativas de cada nivel (figs. 8a y 8b), se pone en evidencia la mayor nitidez de las estructuras en las superficies alabeadas; lo que permite una mejor interpretación arqueológica.

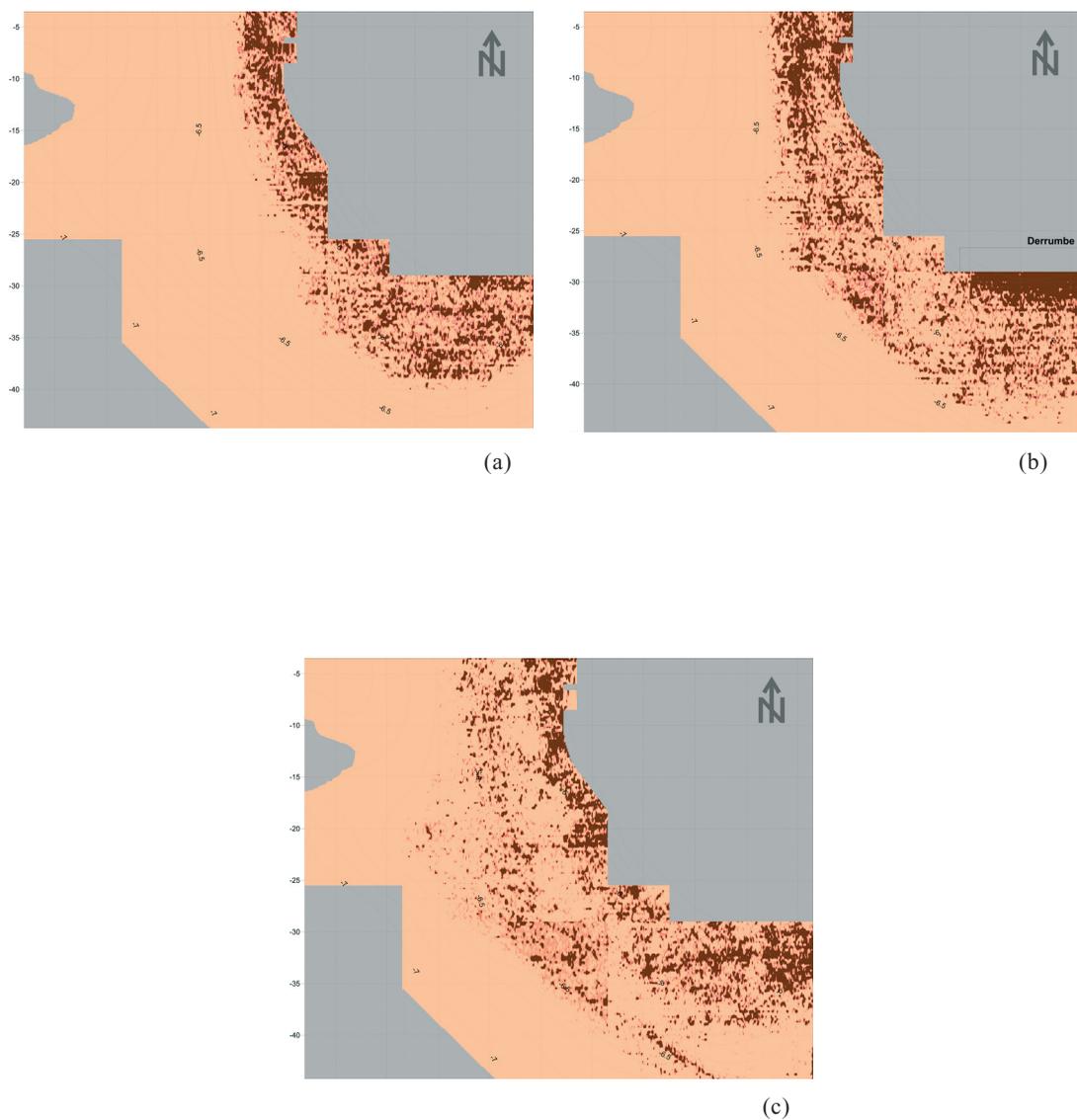


Fig. 8.—Evolución de las rebanadas antes y después de un tramo de derrumbe. (a) Rebanada de 21 cm de grosor a 50 cm de profundidad, (b) Rebanada representativa del tramo derrumbado que abarca de los 65 cm a 90 cm de profundidad, y (c) Rebanada a 1 m de profundidad.

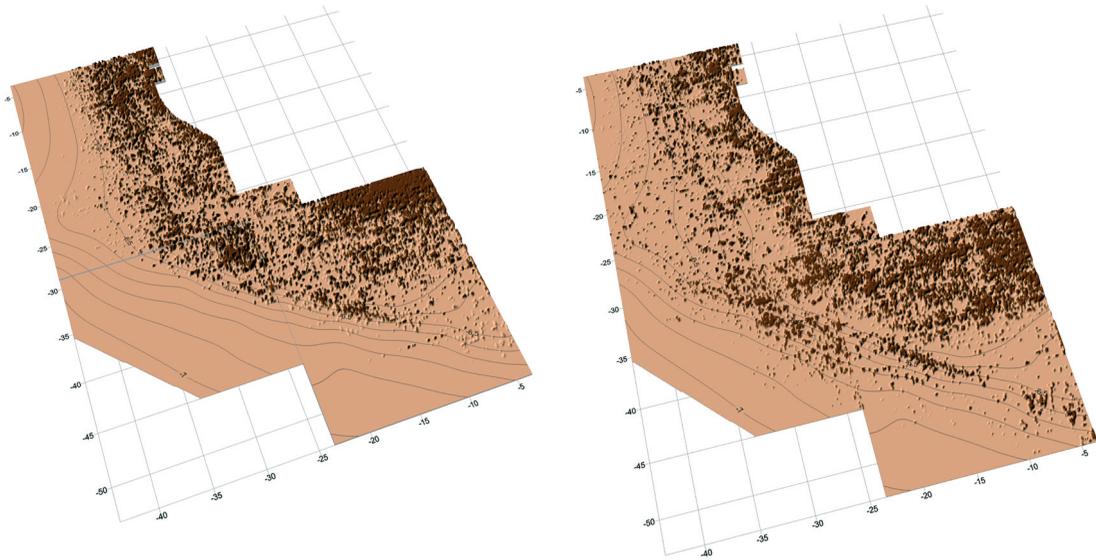


Fig. 9.—Superficies alabeadas construidas con el conjunto de reflexiones (a) antes del derrumbe, hasta los 65 cm de profundidad, y (b) después del derrumbe entre 1 m y 1.35 m de profundidad.

- iv) La disección del subsuelo en rebanadas finas también permite la generación de imágenes volumétricas (3D) donde se consigue una mayor nitidez de las estructuras eliminando los tramos de derrumbe (fig. 10).

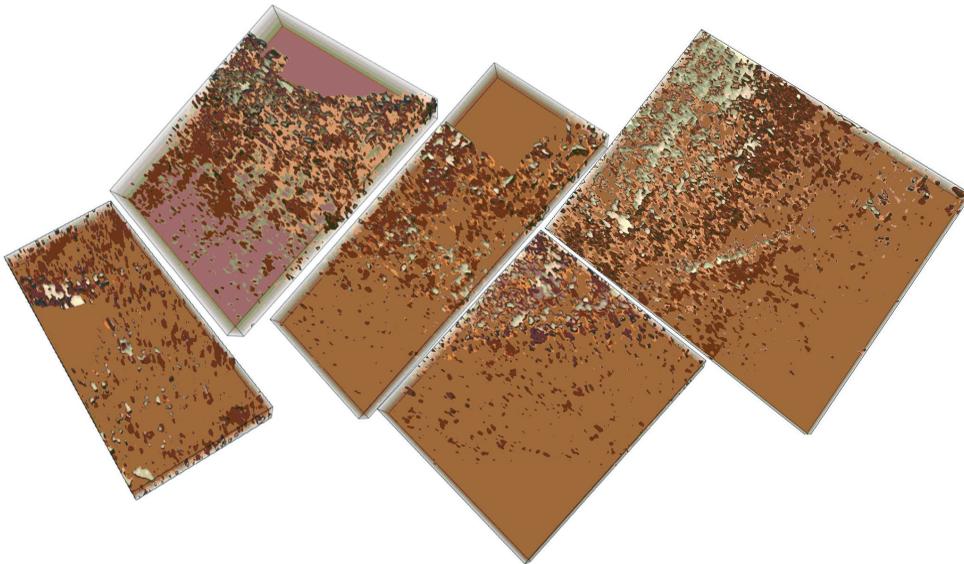


Fig. 10.—Imágenes 3D de los sectores rádar explorados una vez eliminadas las zonas de derrumbe. En claro se distinguen las estructuras más superficiales y en oscuro las más profundas. La profundidad máxima se estima en 2.5 m.

4. INTERPRETACIÓN

Los resultados obtenidos (fig. 11) junto con la inspección geológica del terreno han llevado a los siguientes aspectos interpretativos:

Clasificación del subsuelo en niveles rádar

Nivel 1. Corresponde al tramo de suelo superficial formado por un suelo mixto arenoso-arcilloso muy antropizado. La imagen que el georrádar obtiene para este nivel se caracteriza por ser un tramo homogéneo poco reflector en el que se destacan reflexiones aisladas en forma de hipérbolas correspondientes a piedras y escombros sueltos. Es de destacar algunos cuerpos metálicos, principalmente alambres, que se han detectado en esta capa produciendo fuertes reflexiones puntuales cuyos “ecos” se extienden hacia los niveles inferiores. Aunque depende de las distintas zonas exploradas, normalmente la base de este nivel se ha situado entre los 0.2 m y 0.6 m de profundidad.

Nivel 2. Se sitúa por debajo del nivel anterior. En general es un tramo donde se localizan las primeras estructuras entre el medio encajante (limo-arenoso). Este nivel se ha preservado de la “profundidad del arado” y tiene unos 0.8 m de grosor medio, de modo que su base se sitúa alrededor de los 1.2 m - 1.5 m de profundidad respecto del suelo.

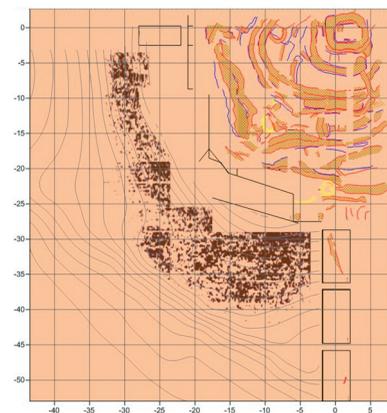
El examen minucioso de las anomalías 3D ha puesto de manifiesto diferentes distribuciones de las estructuras y, en función de ellas, se ha dividido este nivel en dos sub-tramos:

Subtramo A. Es la primera capa donde se empiezan a localizar restos. Como se sitúa por debajo del suelo antrópico, se halla “parcialmente arrasada” albergando en su base mucho derrumbe. Todo ello produce que las correspondientes imágenes 3D se vean enmarañadas desdibujando las geometrías relacionadas con las estructuras originales. La capa donde impera un mayor derrumbe es entre los 0.4 y 0.85 m de profundidad respecto del suelo.

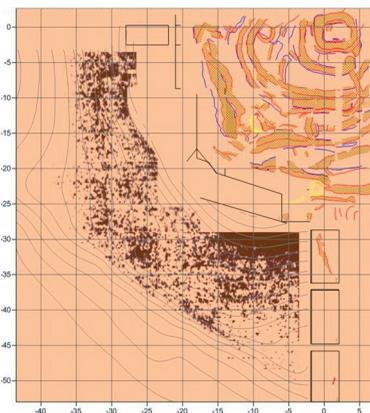
Tramo B. En este tramo, se detectan las estructuras de forma más nítida, lo que hace pensar que sea una capa mejor conservada por debajo del nivel derrumbe. Su grosor rondaría los 0.5 m.

Nivel 3. Aunque el techo de este nivel está poco diferenciado con respecto al subtramo anterior (B), en él se han detectado reflectores más gruesos, algunos con orientaciones distintas que podrían responder a estructuras basales: muros gruesos, conducciones hidráulicas, etc. El grosor de este nivel es variable y las estructuras de mayor potencia se hallan formando cinturón ancho en la zona media del área estudiada. La base aproximada de este nivel se hallaría en torno a unos 2.2 m respecto de la cota más alta.

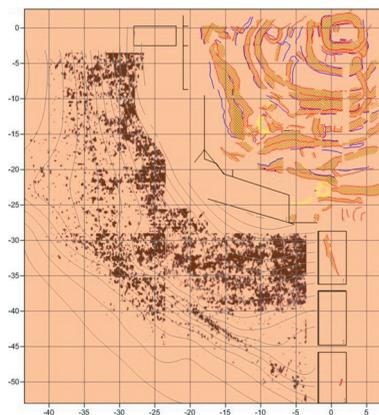
Nivel 4. Es el último tramo rádar que se ha definido y se ha asimilado al terreno natural. En los radargramas suele ser un nivel homogéneo donde la mayoría de las reflexiones registradas corresponden a los “ecos” de las reflexiones producidas en el nivel superior.



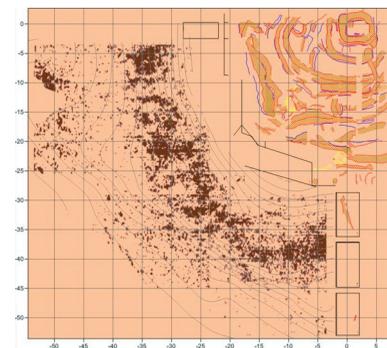
Reflectores hasta 0.4 m respecto la cota más alta



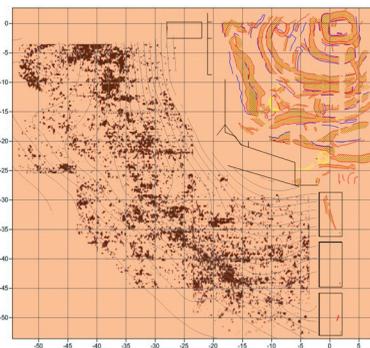
Reflectores entre 0.4 y 0.85 m respecto la cota más alta



Reflectores entre 0.9 y 1.2 m respecto la cota más alta



Reflectores entre 1.3 y 1.8 m respecto la cota más alta



Reflectores entre 1.9 y 2.2 m respecto la cota más alta

Fig. 11.—Evolución en profundidad de los principales reflectores detectados.

Evidentemente, esta anterior clasificación debe tomarse tan sólo como referencia, puesto que en algunos de los sitios explorados ni los subtramos están diferenciados, ni se cumplen las acotaciones presentadas. Lo cual es lógico dado que el yacimiento ha sufrido diferentes vicisitudes a lo largo de la historia y cabe esperar una reutilización de sus estructuras.

Principales geometrías de reflexión y su evolución en profundidad

Como se observa en la figura 11, la distribución de los reflectores es concéntrica a la fortaleza, mostrando una zona algo más excéntrica hacia la parte Sur. Esta distribución es más densa en la banda más cercana a las actuales excavaciones, con 10 m de anchura y 0.85 m de grosor. En ella los reflectores son más cortos y sus geometrías están muy enmascaradas; lo cual hace suponer que se trate de estructuras pequeñas, con derrumbes y, por su escasa potencia, debe estar muy arrasada. En alguna de las rebanadas correspondientes a esta banda se han detectado formas circulares y recintos.

En el cinturón más exterior, los reflectores son de mayor tamaño y tienen orientaciones distintas, por lo que se supone que se trate de un nivel con estructuras más potentes y con otra funcionalidad. En algunas de las rebanadas y superficies alabeadas correspondientes se han localizado muros e hipérbolas que pueden responder a conducciones hidráulicas.

A los 0.9 m de la cota más alta se aprecia una franja con pocos reflectores y que se va haciendo más evidente en profundidad hacia el Sur. En la parte Suroeste y Oeste esta franja parece estar cruzada por gruesos reflectores que podrían marcar la fase constructiva de las estructuras basales. La inspección individual de los radargramas que cruzan esta franja (fig. 12) pone de manifiesto que podría tratarse de un cinturón perimetral

A partir de las fotos aéreas del yacimiento, parece ser que el escalón cartografiado responde a una antigua linde agraria donde se han detectado algunas piedras asociadas superficiales, pero en las imágenes 3D más profundas sigue habiendo cierta acumulación de reflexiones, lo que podría indicar que la linde se trazó posteriormente sobre un paleo-relieve ya existente.

5. CONCLUSIONES

La prospección georrádar 3D es una de las mejores técnicas geofísicas que pueden aplicarse en un yacimiento arqueológico ya que permite la exploración del subsuelo con un grado de detalle elevado; acorde con las dimensiones de las principales estructuras de interés.

Aunque actualmente la metodología 3D se use de forma habitual, son pocos los casos donde se aplica un procesado exhaustivo a los datos y casi en ningún estudio 3D se ha aplicado corrección topográfica. No obstante, hemos constatado que este tipo de corrección mejora considerablemente las imágenes resultantes; favoreciendo así su interpretación.

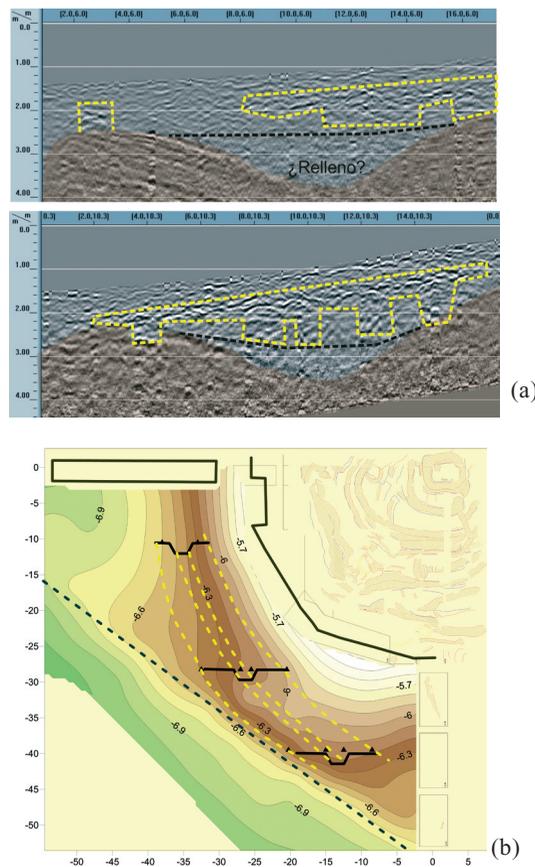


Fig. 12.—(a) Radargramas donde puede apreciarse el corte perpendicular del posible cinturón perimetral. Probablemente las líneas discontinuas negras marquen un nivel colmatado, mientras que las líneas amarilla marcan zonas con acumulación de estructuras/derrumbe.
(b) Situación del cinturón perimetral.

En aquellos yacimientos donde hay derrumbe deben buscarse estrategias alternativas que palien este efecto, en la medida de lo posible. En este estudio se ha propuesto la generación de una secuencia fina de rebanadas en profundidad que sirva de base para establecer los niveles más significativos que pueden hallarse en la excavación. A su vez, esta secuencia permite construir posteriores imágenes (superficies alabeadas y volúmenes) cuya nitidez mejora si se descartan los tramos de derrumbe.

Todas las anteriores descripciones se han establecido aplicando criterios de interpretación geofísica; donde debe tenerse en cuenta que las imágenes georrádar representan modelos aproximados del subsuelo basados en las reflexiones que se producen entre materiales con distintas constantes dieléctricas, y nunca pueden llegar al nivel de precisión que aporta una excavación arqueológica; tampoco es su misión. En este contexto un objetivo derivado de este trabajo es el ejemplificar la

capacidad que tienen los métodos geofísicos de suministrar una primera aproximación al conocimiento de las estructuras: área de distribución, grosor y dimensiones predominantes, etc.

BIBLIOGRAFÍA

- ARANDA, G.; FERNÁNDEZ, S.; HARO, M.; MOLINA, F.; NÁJERA, T.; SÁNCHEZ ROMERO, M. (2008): Water control and cereal management on the Bronze Age Iberian Peninsula: la Motilla del Azuer, *Oxford Journal of Archaeology*, 27, pp. 241-259
- BAKER, J. A., ANDERSON, N. L. y PILLES, P. J., (1997). Ground-penetrating radar surveying in support of archeological site investigations, *Computers & Geosciences* 23, nº 10, pp. 1093-1099.
- 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, pp. 189-200.
- MOLINA, F., NÁJERA, T., ARANDA, G., SÁNCHEZ, M., and HARO M. 2005: Recent fieldwork at the Bronze Age fortified site of Motilla del Azuer (Daimiel, Spain). *Antiquity* 79, <http://antiquity.ac.uk/progall/aranda/index.html>
- NÁJERA, T. (1984): *La Edad del Bronce en La Mancha occidental*, Tesis Doctorales de la Universidad de Granada 458, Granada.
- NÁJERA, T.; MOLINA, F. (2004): Las Motillas. Un modelo de asentamiento con fortificación central en la llanura de la Mancha. *La península ibérica en el II milenio a.C.: poblados y fortificaciones* (M.R. Garcia; J. Morales, eds.), Cuenca, pp.173-214.
- PEÑA, J. A., TEIXIDÓ, T., y ESQUIVEL, J. A. (2002). Improvements in the images of horizontal slices by means of processed radar data, *Cien años de Sismología en Granada* (Granada 8-11 de octubre de 2002).



Lám. I.—Vista de la Motilla del Azuer desde el este.



Lám. II.—Vista general, desde el sur, de la zona prospectada; la antena del radar está situada en el borde del sector más oriental.



Lám. III.—Adquisición de un perfil georrádar; la antena de 400 MHz se desliza a lo largo de un cordel guía y el odómetro (rueda marcadora) va marcando la distancia horizontal.