

DESCRIPCIÓN GEOFÍSICA DE UN DERRUMBE. PROSPECCIÓN GEORADAR Y CORRECCIÓN TOPOGRÁFICA EN EL POBLADO FORTIFICADO DE MUNOANDI (AZKOITIA-AZPEITIA, GIPUZKOA)

GEOPHYSICAL DESCRIPTION OF MOUNDS GENERATED BY COLLAPSED STRUCTURES. GPR PROSPECTION AND TOPOGRAPHIC CORRECTION IN THE FORTIFIED SETTLEMENT OF MUNOANDI (AZKOITIA-AZPEITIA, GIPUZKOA)

Ekebine Garcia Garcia (1) / Roger Sala Bartroli (1) / Sonia San Jose Santamarta (2)

(1) SOTProspecció Arqueològica

(2) Dpto. de Arqueologia Prehistòrica. Societat de Ciències Aranzadi

RESUMEN: El yacimiento de Munoaundi está situado en los municipios de Azkoitia-Azpeitia (Gipuzkoa, Euskal Herria), dominando una amplia zona del valle del Urola. Se trata de un poblado fortificado de la II Edad del Hierro, localizado en altura y con un gran control estratégico de la zona circundante.

Dentro del objetivo arqueológico de analizar las estructuras defensivas que rodean el poblado se ha programado el estudio de dos montículos situados sobre la línea de muralla en la zona oeste del yacimiento, debido a que podría tratarse de dos torres defensivas situadas a ambos lados de la puerta de acceso al recinto.

En este contexto se planteó un estudio con georadar para esclarecer si bajo los montículos formados por materiales de derrumbe se distinguen estructuras. Durante el proceso de los datos se realizó una corrección topográfica para corregir por una parte la cota relativa de los perfiles y por otra la inclinación de la antena con respecto de la vertical (tilt). Finalmente se aplicó la técnica de visualización time-slicing para generar cortes horizontales.

El comienzo de las labores de excavación permite una primera comparación de los resultados obtenidos mediante la prospección.

SUMMARY: The archaeological site of Munoaundi is located in the municipalities of Azkoitia-Azpeitia (Gipuzkoa, Euskal Herria), overlooking a wide area of the Urola valley. It is a fortified settlement from the Iron Age II, located in height and with a great strategic control of the surrounding area.

Within the objective of analyzing the archaeological defensive structures that surround the town, the study of two mounds along the line of wall on the west side of the site was scheduled, as it could be two collapsed defensive towers on either side of the door access to the site.

In this context, a study was made to clarify whether GPR could detect structures underneath the collapsed material forming the mounds. During the process of data, a topographic correction was performed to correct relative level of data and tilt of the antenna with respect to the vertical. After data process, the time-slicing visualization technique was applied to generate horizontal cuts.

The beginning of excavation allowed a first comparison between excavated structures and results obtained from geophysical survey.

PALABRAS CLAVE: Prospección Geofísica, georadar, corrección topográfica, poblado fortificado, Edad del Hierro.

KEY WORDS: Geophysical Prospecting, GPR, topographic correction, fortified settlement, Iron Age.

I. INTRODUCCIÓN

El yacimiento de Munoaundi se sitúa en el interior de Gipuzkoa (Euskal Herria), dentro de los términos municipales de Azkoitia-Azpeitia y dominando parte del valle del Urola. Se trata de un poblado fortificado de la Edad del Hierro, localizado en altura y con un gran control estratégico de la zona circundante.

El poblado tiene una zona aterrazada de unos 10-15 m de anchura contenida por una muralla de piedra que rodea todo el monte excepto en su lado este, donde la fuerte pendiente del terreno hace innecesaria la construcción de una estructura de piedra para defenderse. Rodeando a la muralla, y paralela a ella, se localiza una segunda terraza de dimensiones y entidad similares a la superior, de la que de momento no se conoce su función (Peñalver; San Jose 2003).

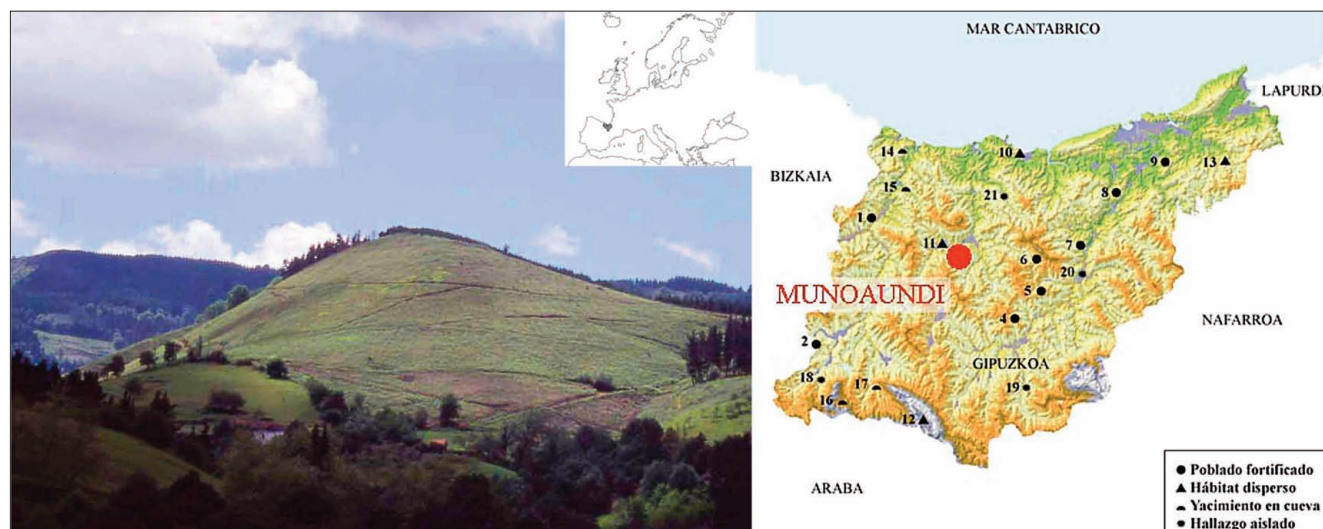


Fig. 1. Plano de localización del poblado de Munoaundi (Azkoitia-Azpeitia) y vista general del monte Munoaundi.

Este hábitat fue descubierto en 1995 dentro de un programa de prospección sistemática orientada a localizar yacimientos del Bronce Final-Edad del Hierro en el territorio de Gipuzkoa y en los años posteriores se realizaron algunos trabajos puntuales de cara a conocer la secuencia estratigráfica del yacimiento y la tipología de la muralla. Desde el año 2006, sin embargo, se inició un proyecto de investigación y puesta en valor del yacimiento que pretende realizar una excavación arqueológica en extensión con dos objetivos principales: por un lado, conocer los modos de vida y las estructuras de vivienda de los pobladores de este sitio y, por otro, estudiar los sistemas defensivos del recinto fortificado y en concreto uno de los posibles accesos al mismo. Paralelo a ello, se llevan trabajos de difusión de este patrimonio arqueológico, principalmente a nivel comarcal, teniendo como objetivo último la musealización de los resultados de la intervención arqueológica, consolidando y reconstruyendo los posibles restos de murallas y viviendas que se puedan recuperar, para de este modo hacer visitable el yacimiento. Este proyecto, cuya fase a medio plazo finaliza en el 2013, está dirigido por una de las firmantes de este trabajo, S. San Jose, del departamento de Arqueología Prehistórica de la Sociedad de Ciencias Aranzadi, y financiado por la Diputación Foral de Gipuzkoa y los Ayuntamientos de Azkoitia y Azpeitia, bajo la coordinación de la Empresa para el Fomento y Desarrollo del Urola, Iraurgi Lantzen.

dos hasta la fecha, se cuenta con materiales cerámicos, modelados y a torno, de recipientes de distintos tamaños y tipologías; material lítico, como alisadores/percutores y restos de un molino circular; elementos metálicos tanto en bronce (una fíbula de Torrecilla o una pesa troncocónica de comercio), como en hierro (enseres domésticos y armamento), etc. Asimismo, se han recuperado restos carpológicos indicadores de agricultura (cereales) y recolección (fundamentalmente bellotas). Contamos con una datación de 2.420 ± 80 BP (I-18368).

Por otra parte, se han documentado restos de posibles suelos de vivienda y la estructura de la muralla, compuesta por dos paramentos de piedras areniscas del terreno dispuestas a seco, reforzada en el interior por un relleno de tierra y cascajo. En la zona estudiada tiene una anchura de 2 m (San Jose 1999).

II. PROBLEMÁTICA Y METODOLOGÍA

En 2007 se inició la excavación arqueológica con el objetivo de estudiar las defensas y accesos al poblado. Para ello se abrió una superficie de 225 m² (hoy en día alcanzan casi los 425 m²) en la parte este del poblado, en una zona donde el relieve del terreno indicaba la posible existencia de una entrada al poblado. Se trata de dos montículos situados encima de la línea de muralla, con una pequeña vaguada entre ellos que, aunque cubier-

Fruto de los trabajos arqueológicos realiza-

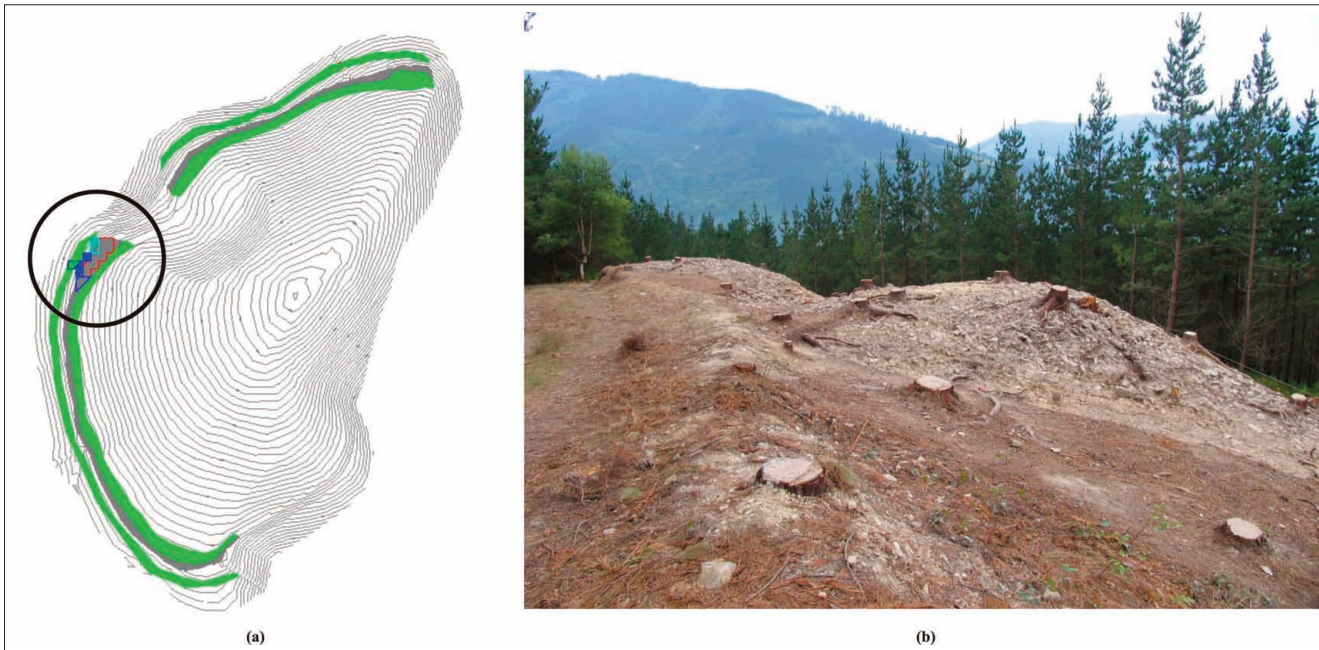


Fig. 2. (a) Plano topográfico del yacimiento con el área de excavación (en círculo). (b) Vista del derrumbe antes de realizar los trabajos con el georadar.

tos en su totalidad por una capa de tierra vegetal y una plantación de *pinus insignis*, siempre se habían considerado como “la puerta” de la muralla. Estos dos montículos están situados al sur de una hondonada muy pronunciada existente en la ladera, por lo que en este punto se interrumpe al menos la muralla y la terraza inferior¹, para volver a continuar más adelante, al norte de la misma. Este barranco, por otra parte, es muy apropiado de cara a la defensa del acceso al recinto.

En este contexto se plantea una prospección geofísica para intentar esclarecer la existencia o no de estructuras constructivas bajo los niveles de derrumbe. Para el planteamiento de dicha prospección se parte de dos hipótesis posibles (Figura 3):

1. Existen estructuras constructivas con una geometría bien definida sobre las cuales se espera encontrar el derrumbe de parte de las construcciones además de la capa vegetal.
2. Las estructuras están muy arrasadas y no quedan restos constructivos en posición.

Para distinguir entre estas posibles hipótesis era necesario un sistema de prospección que permitiera traspasar el nivel de derrumbe y aportar información sobre la disposición de los materiales que pudiera haber debajo, por lo que se optó por la utilización de un georadar (Sala *et al.* 2008).

El georadar es un sistema de prospección geofísica basado en la emisión hacia el subsuelo de pulsos electromagnéticos de frecuencia conocida, y el registro de los ecos que vuelven a la superficie. Estos ecos se generan en las superficies donde hay un cambio en las propiedades electromagnéticas del terreno, y son más intensos cuanto mayor sea la diferencia de composición entre los dos medios (contraste). En cada una de estas superficies de discontinuidad la onda se divide y, aunque se genere un eco que vuelve a la superficie, hay una parte de la energía que no se refleja y continúa viajando hacia el subsuelo. Así, por cada pulso emitido se recogen diversos ecos provenientes de cambios que están a diferente profundidad, lo que permite obtener información del subsuelo clasificada en función de la profundidad.

¹ En prácticamente todo el lado oeste del monte, la terraza superior se ha visto afectada por la construcción de una pista forestal, por lo que en este punto es difícil seguir su recorrido.

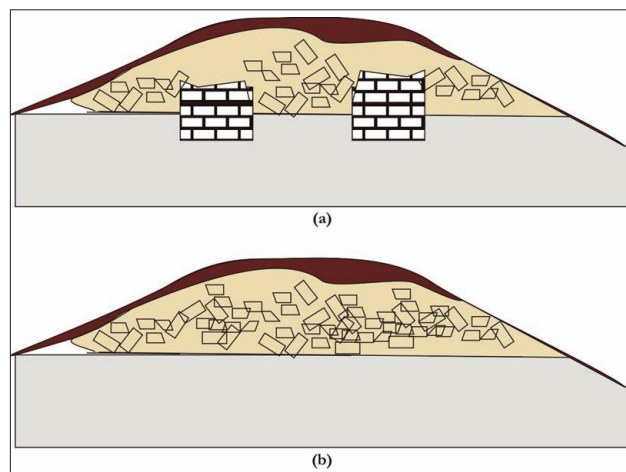


Fig. 3. Hipótesis de partida para el planteamiento de la prospección. (a) Existen estructuras constructivas con una geometría bien definida. (b) Las estructuras están muy arrasadas y no quedan restos constructivos en posición.

Repitiendo el proceso (emisión de un pulso electromagnético y registro de los ecos que llegan dentro de una ventana de tiempo) en cada punto de un perfil se obtiene un radargrama. El radargrama representa la cantidad de energía recibida en función del tiempo (eje vertical) y en función del avance del radar (eje horizontal), y se puede interpretar como una sección del subsuelo bajo el perfil, pero donde lo que está representado es la energía reflejada desde cada punto del subsuelo (Conyers *et al.* 1997)

Volviendo a la problemática de este caso, para poder detectar la existencia de estructuras era necesario poder visualizar los resultados en planta, ya que con los perfiles sueltos no se podría diferenciar si lo detectado era parte de alguna estructura geoméricamente definida o si bien se tra-

taba de materiales de derrumbe. Así se optó por un estudio de georadar en extensión, aplicando posteriormente la técnica de cortes de tiempo o *time-slicing* para la visualización y análisis de resultados (Goodman *et al.* 1995).

Para crear cortes de tiempo o representaciones en planta del área explorada, primero se crea un bloque tridimensional de toda la superficie cubierta en la prospección. Para llenar los espacios sin lectura (entre perfiles y entre las lecturas en el sentido de avance) se realiza una interpolación matemática de los datos (Figura 4).

Una vez creado este bloque de datos, se divide su dimensión vertical en cuantos cortes o secciones horizontales se consideren adecuados para visualizar los resultados. El resultado de esta operación es una secuencia de plantas horizontales donde se representan las diferencias de reflectividad de los objetos del subsuelo mediante la asignación de una carta de colores a los valores de respuesta de cada punto.

Para que esta técnica pueda aplicarse directamente, la superficie de exploración ha de ser llana ya que la topografía influye en los radargramas. Por una parte, si la superficie no es plana las estructuras que se encuentran en un nivel plano aparecen a diferente profundidad con respecto a la superficie actual. Por otra, la inclinación de la antena (tilt) provoca que el haz no se dirija a la vertical de cada punto deformando las imágenes. Para paliar estos efectos se realiza una corrección topográfica de los radargramas antes de interpolarlos, posicionando cada uno a la cota real que le

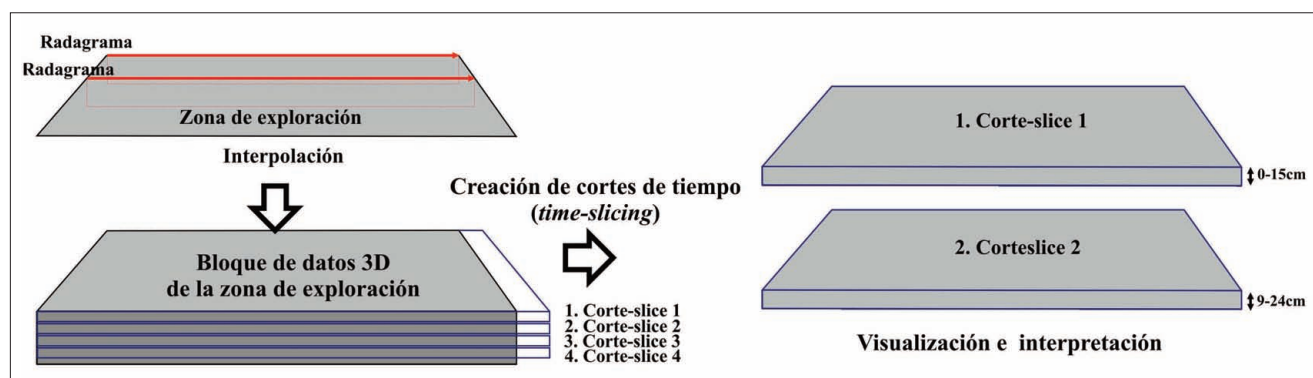


Fig. 4. Esquema de la metodología de generación de cortes de tiempo a partir de datos de georadar (radargramas).

corresponde (Goodman *et al.* 2006). En el estudio que se presenta el desnivel entre el punto más alto de los montículos y la base de los mismos era de aproximadamente 3 metros por lo que la corrección topográfica era imprescindible.

III. PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Para ejecutar la prospección se generaron dos cuadrículas que cubrían los montículos, con unas dimensiones de 10.4 m X 10 m para el montículo situado al sur (montículo 1) y de 10.8 m X 10 m para el montículo situado al norte (montículo 2) (Figura 5). Se empleó un sistema de georadar GSSI SIR-3000 equipado con una antena de 270 MHz, con una ventana de tiempo de 90 ns y una distancia entre perfiles de 40 cm. Debido a que la irregularidad de la superficie de adquisición no permitía el uso de una rueda de medida que gobernase las medidas dentro de cada perfil, los radargramas se adquirieron en modo tiempo. Esto significa que las medidas no se hacen en posiciones definidas sino que el sistema emite y recibe continuamente, y es el usuario quien realiza una marca cada metro de recorrido que se queda registrada. Así, en los momentos en los que se avance despacio, la densidad de lectura será muy alta y en momentos en los que se avance rápido, los puntos de medida estarán más espaciados.

Una vez adquiridos los radargramas se aplicó la siguiente secuencia de proceso para la obtención de resultados (Figura 6):

1. Resampleado de los radargramas para asignar un número de scans/m constante: Habiendo tomado los radargramas en modo tiempo, el número de medidas por metro (scans/m) no es constante sino que depende de la velocidad de adquisición en cada momento. Si no se corrige los tramos en los que se ha avanzado despacio aparecen alargados debido a que están representados con más medidas, generando una deformación geométrica que afecta los procesos de interpolación posteriores.

2. Aplicación de un filtro de background para minimizar el efecto de la primera reflexión.

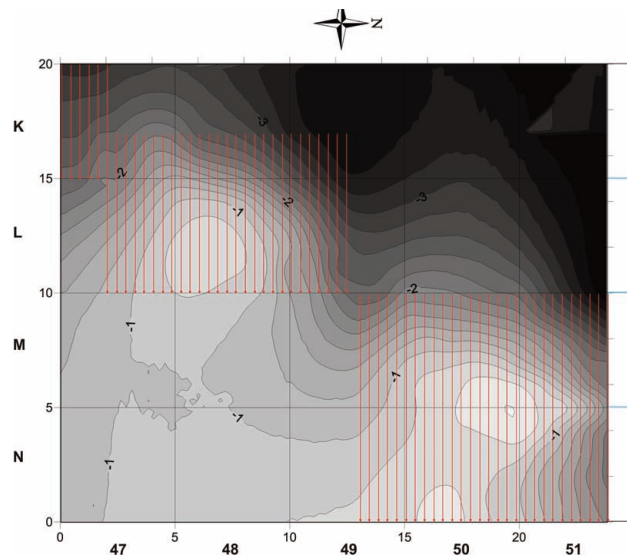


Fig. 5. Situación de los perfiles de georadar sobre mapa de relieve del área de los montículos.

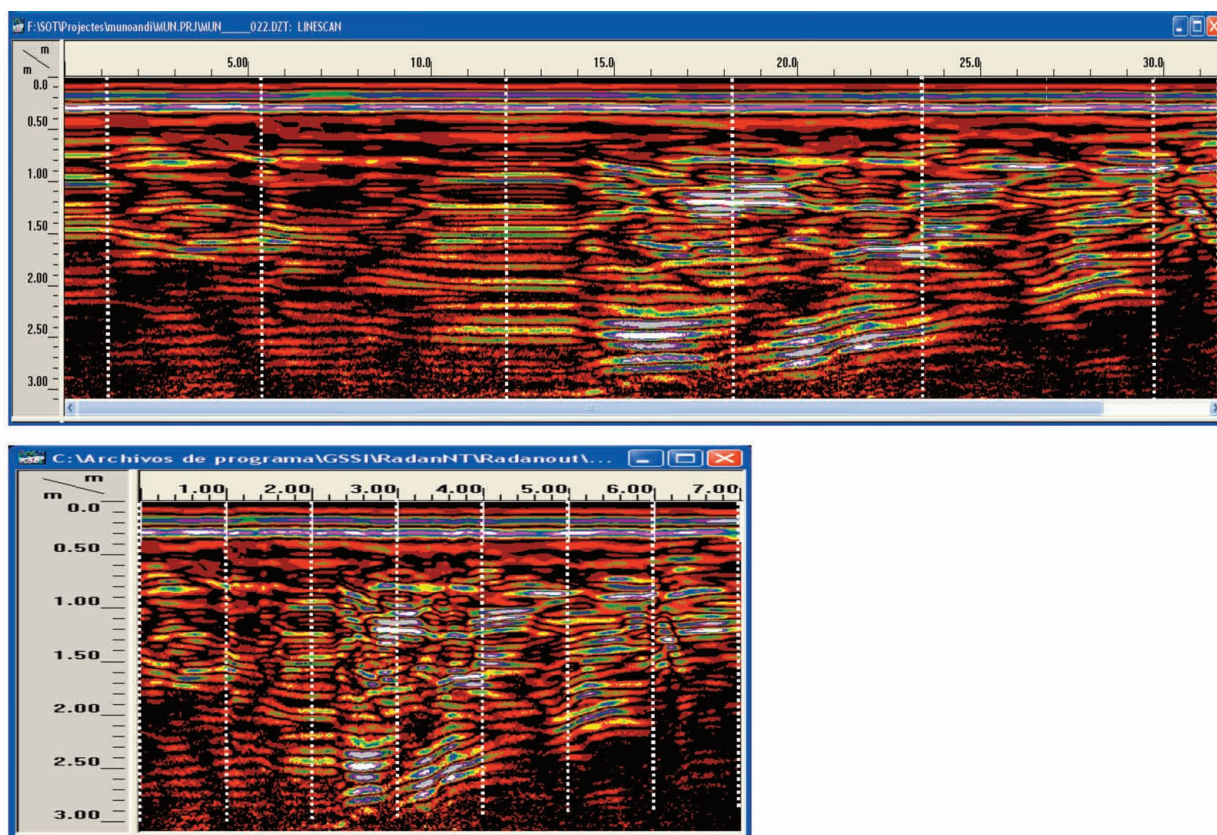
3. Corrección topográfica de altura de los radargramas e inclinación de la antena: para realizar esta operación se necesita el levantamiento topográfico del área explorada. Debido a que no se contaba con esta información, el equipo de excavación tomó medidas de altitud con una densidad de 1 medida/m.

4. Interpolación de los radargramas y generación de los cortes de tiempo: se generaron 50 cortes de 6.56 ns solapados en 3.58 ns. Teniendo en cuenta que la separación entre perfiles es de 40 cm se utilizó un radio de búsqueda circular de 0.60 m para la interpolar, utilizando para ello una función lineal.

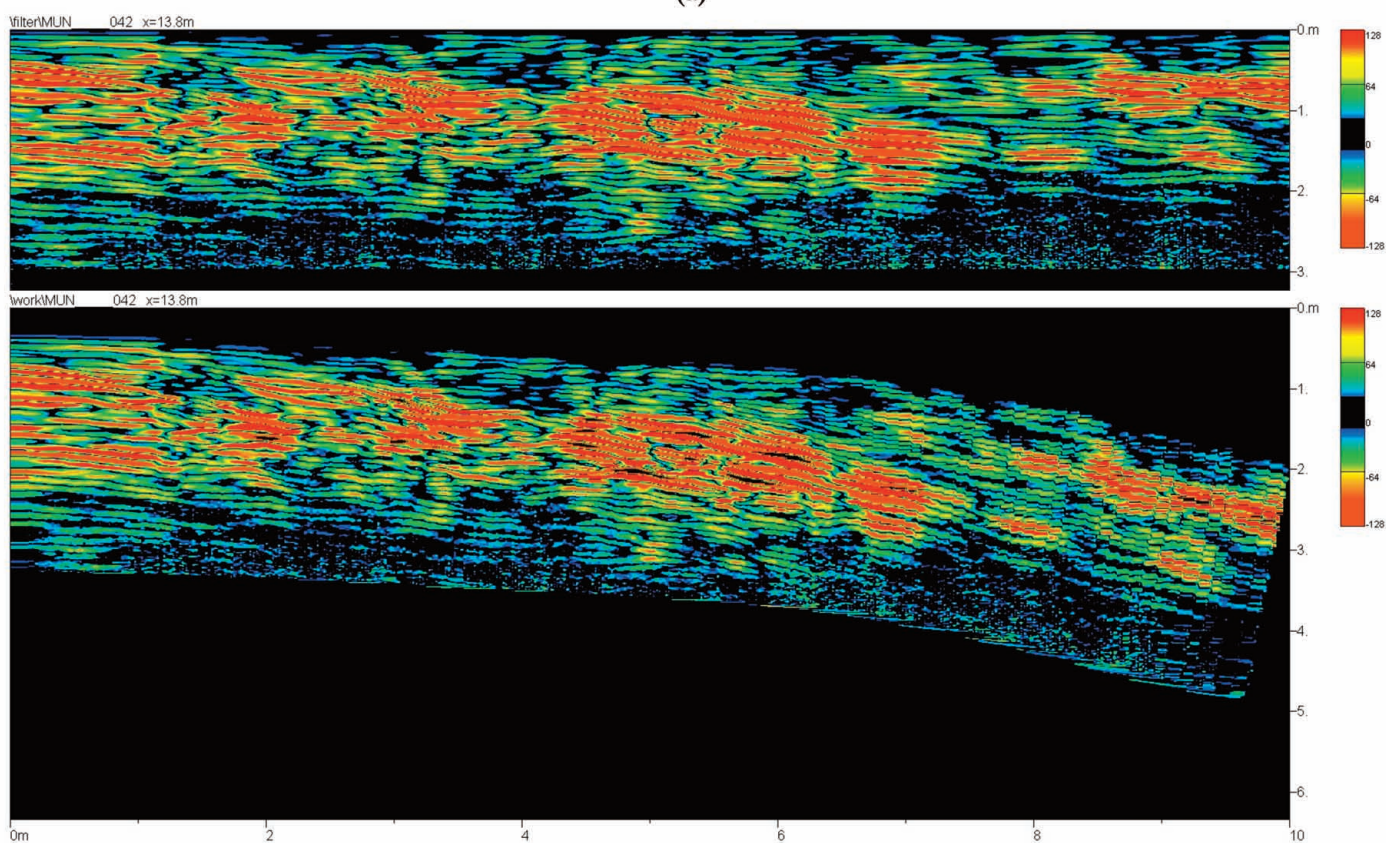
IV. RESULTADOS DE LA PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Los resultados de la prospección muestran una anomalía rectangular bajo en el montículo 2 (norte), a una profundidad aproximada de 0.90 m con respecto la cota 0 (Anomalía A). Presenta unas dimensiones aproximadas de 5 m X 6 m y una orientación SE-NO, con una potencia aproximada de 40 cm (Figura 7).

En el caso del montículo 1 (sur) no se detecta un perímetro que se mantenga en profundidad, pero en cambio se detecta una anomalía lineal que podría indicar un cierre (Anomalía B).



(a)



(b)

Fig. 6. Radargrama original y el resultado de las diferentes fases del tratamiento de datos. (a) Asignación de un número de scans/m constante a los radargramas. (b) La corrección topográfica y de inclinación de la antena.

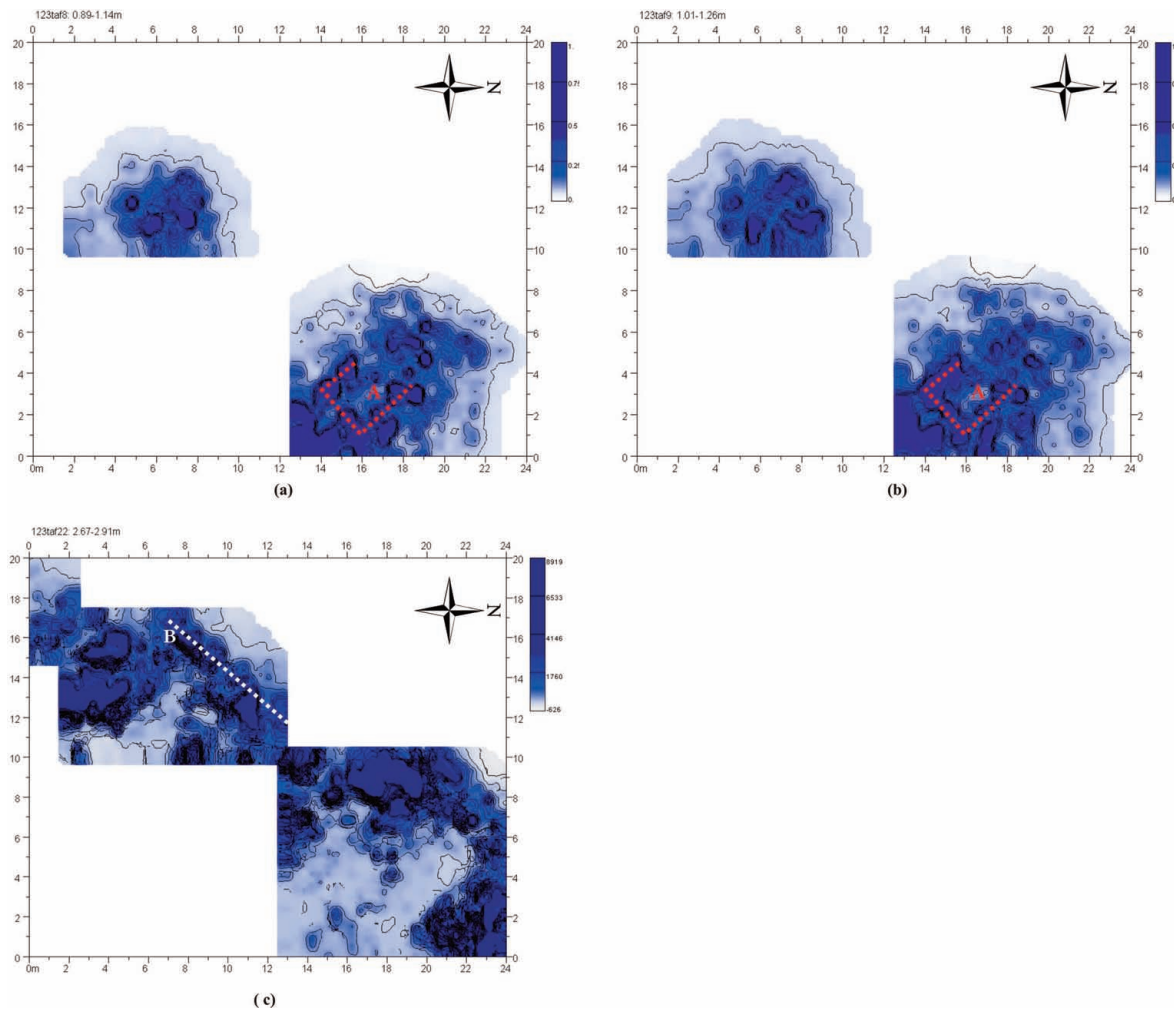


Fig. 7. (a) y (b) Cortes 8 (0.89m-1.14m bajo cota 0) y 9 (1.01m-1.26m bajo cota 0) respectivamente donde se señala la anomalía rectangular A. (c) Sobreposición (*Overlay*) de los cortes 19, 20, 21 y 22 (2.29m-2.91m bajo cota 0) donde se señala la anomalía lineal B.

V. RESULTADOS DE LA EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA

Fruto de los trabajos realizados en esta área de excavación y aunque no están finalizados, se pueden adelantar algunos resultados sobre los hallazgos localizados:

Los dos montículos excavados parecen corresponder a dos estructuras de planta cuadrada o poligonal anexos a la muralla y realizadas con muros de piedra dispuesta a seco. Estas dos construcciones, más o menos simétricas, parecen tener 12 m de lado aproximadamente y están delimitando el acceso al poblado, un paso de 2 m de anchura que sube hacia el interior del recinto en línea recta, perpendicular a la línea de muralla, siguiendo el relieve del terreno.

De las dos estructuras que delimitan la en-

trada al recinto, es la situada al sur de la que se dispone de una mayor cantidad de datos. La pared exterior sur de la misma está realizada con bloques rectangulares de dimensiones medias, conservando un mínimo de 3 hiladas. La zona de unión con el lienzo interior de la muralla forma una línea curva abierta, pudiendo estar fabricada al mismo tiempo, aunque de momento no contamos con suficientes datos al respecto. Tiene una orientación EO y un recorrido más o menos rectilíneo hacia el oeste. La pista forestal construida sobre la terraza superior ha cortado parte de este lienzo, así como seguramente el muro N-S que cerraría la estructura al interior del recinto. El muro norte, con una orientación NO-SE es el que delimita la zona de entrada. Su lienzo exterior sólo conserva una hilada formada por grandes bloques rectangulares de arenisca, dispuestos ordenadamente sobre el estrato del terreno. Este muro parece tener un re-

lleno al interior de gran anchura, aunque no se ha podido determinar sus dimensiones ni el cierre interior del mismo. La pared oeste de la estructura, aunque latente en algunos puntos, no está todavía delimitada. Posiblemente forma un todo con el paramento exterior de la muralla, hasta cerrar con el muro N de la construcción, pero el estado de conservación de los muros y el nivel de derrumbe existente no nos ha permitido definirlo por el momento (San Jose 2007).

En cuanto a la edificación situada al norte del acceso, conocemos aproximadamente el recorrido de los muros de la misma, pero debido al derrumbe existente sólo ha sido posible detectarlo en zonas muy puntuales. Todo apunta a que se trata de una estructura de características y dimensiones similares a la situada al sur.

Aunque el interior de estas estructuras no ha sido estudiado en profundidad cabe la posibilidad de que éstas no fueran huecas sino macizas, rellenas con material extraído del estrato geológico del terreno. Por lo menos, así se evidencia en las zonas más altas.

Así, según los trabajos realizados hasta el momento y a tenor de los datos anteriormente expuestos, interpretamos estas dos estructuras como dos posibles torres o construcciones de defensa del acceso al poblado. Si bien todavía no contamos con datos sobre la altura que pudieran alcanzar

estas torres, la gran cantidad de derrumbe existente y las dimensiones en longitud y anchura de las mismas, nos hace pensar que se trata de dos construcciones de gran entidad. Como simple dato, desde el punto más alto del derrumbe situado al interior de las estructuras hasta la cota más baja de la terraza inferior, situada al exterior de estas estructuras, actualmente hay una diferencia en altura de 8 m aproximadamente.

VI. COMPARACIÓN Y CONCLUSIONES

La comparación entre la interpretación de los datos de georadar y la situación de los muros hallados durante la excavación muestran una mayor coincidencia en el caso del montículo 1, que parece estar mejor conservado que el montículo 2.

En contra de los indicios aportados por el georadar, durante los trabajos de excavación no se ha hallado ninguna estructura constructiva asociada a la anomalía rectangular A detectada bajo el montículo 2. Por otra parte, con el georadar no se detecta ninguna anomalía claramente identificable con el muro hallado en la excavación bajo este montículo. Dicho muro no se conserva en una hilada continua sino que se detecta únicamente por unas piedras aisladas, algo mayores que el resto, que marcan una alineación. Estas piedras además no se encuentran en un nivel plano, sino que presentan diferencias de cota de hasta 70 cm entre unas y otras.



Fig. 8. (a) Imagen de la alineación de piedras pertenecientes al muro no detectado en la prospección (montículo 2, muro Este de la estructura Norte). La imagen corresponde a un momento posterior al levantamiento de los niveles de derrumbe. (b) Detalle del momento donde empieza a determinarse la hilera del muro correspondiente a la anomalía B.

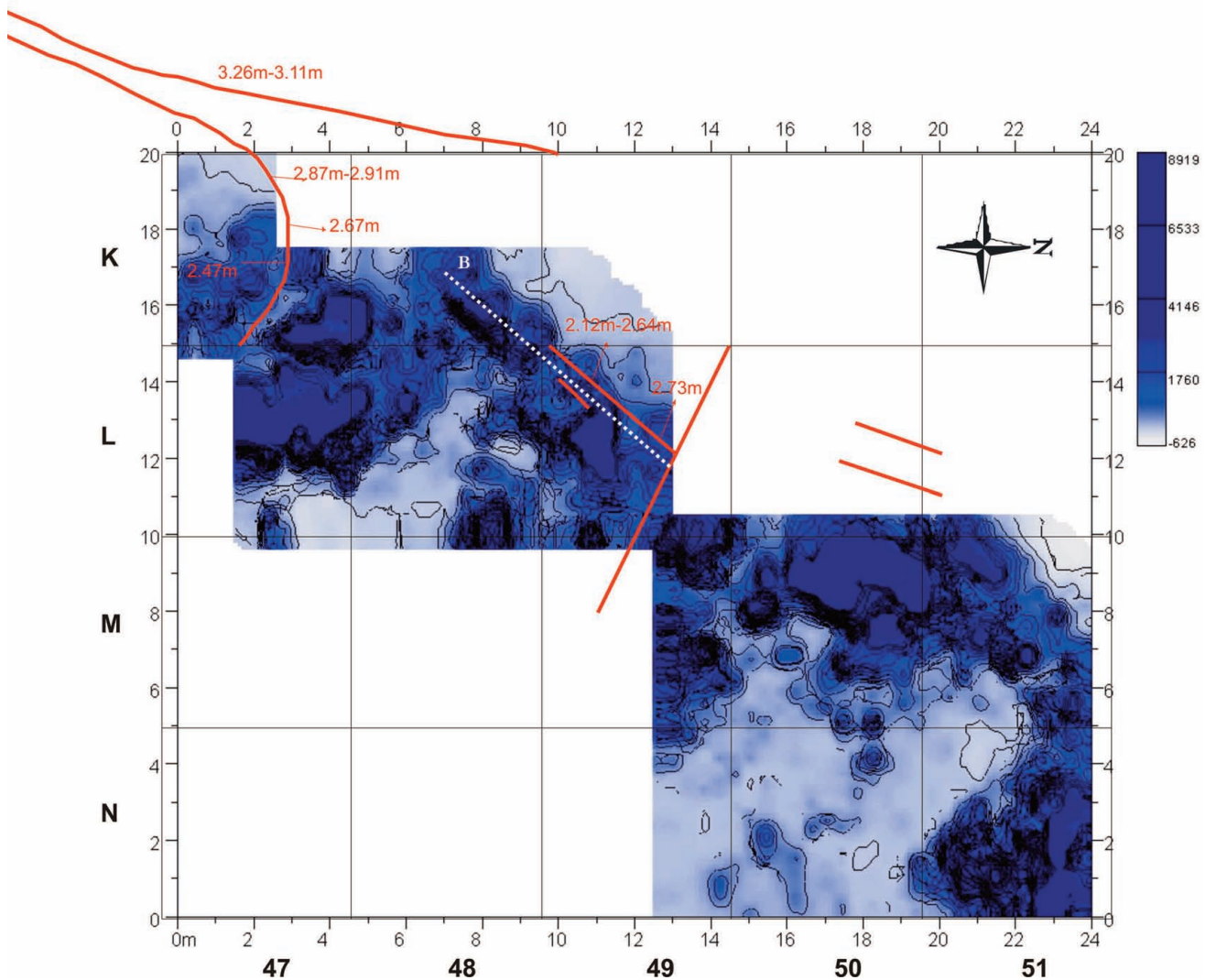


Fig. 9. Ubicación de los muros hallados en la excavación (en rojo) sobre los resultados de georadar situados entre 2.29m-2.91m bajo cota 0, donde se señala la anomalía B (en blanco).

En cambio, la anomalía B detectada bajo el montículo 2 corresponde a unos de los muros hallados en este punto durante la excavación. Aunque en la primera interpretación no fue identificado, el cierre del paramento interior de la muralla que vendría a unirse con el muro de la estructura defensiva también se detecta con el georadar.

De esta forma se observa que la interpretación de los datos de georadar sólo ha sido validada en algunos puntos por los resultados de la excavación. Esta divergencia proviene por una parte del bajo nivel de conservación de las estructuras, ya que incluso durante los trabajos de excavación no resulta sencillo distinguir a simple vista entre los ma-

teriales de derrumbe y los que se encuentran in situ. El hecho que haya diferencias de cota entre diferentes puntos de un mismo muro dificulta también ser identificado en los datos de georadar, ya que se ha utilizado principalmente una visualización en cortes de tiempo para el análisis de resultados.

Por otra parte, en contra de lo que se esperaba, el área de prospección no ha cubierto la extensión de las estructuras, y los muros mejor conservados que se han hallado hasta el momento están fuera del área estudiada.

Finalmente, la anomalía A identificada como una posible estructura y que no ha sido hallada du-

rante la excavación, podría ser un artefacto provocado por el uso de una topografía no suficientemente fina para el proceso de corrección topográfica. En efecto, mientras que la separación entre perfiles de georadar fue de 40 cm se utilizó una separación de 1 m para la malla topográfica. Este aspecto no sería tan determinante si no fuera por el bajo estado de conservación de las estructuras, ya que al haber poco contraste entre las estructuras y el entorno todas las influencias no

deseadas pueden pasar a un primer nivel.

De este trabajo se concluye la importancia de mantener una relación directa entre el equipo de prospección geofísica y la dirección arqueológica del yacimiento explorado. Las comprobaciones arqueológicas de los resultados de prospección permiten enmendar errores en la lectura de los datos y ajustar mejor la interpretación en zonas todavía no excavadas del yacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ALIJUSTES, G.; OLANO, A.; SAN JOSE, S. 1999: "Prospecciones arqueológicas orientadas a la localización de yacimientos de la Edad del Hierro en Gipuzkoa". *Isturitz: Cuadernos de Prehistoria y Arqueología* 10, Donostia: 259-267.
- CONYERS, LB y GOODMAN, D. 1997: *Ground Penetrating Radar. An introduction for archaeologists*. Alta Mira Press: CA.
- GOODMAN, D.; NISHIMURA, Y. y ROGERS, J.D. 1995. "GPR time slices in archaeological prospection". *Archaeological Prospection* 2: 85-89.
- GOODMAN, D. 2004: *GPR-Slice – Ground Penetrating Radar Imaging Software V 4.0. Quick Start Users Manual*. Geophysical Archaeometry Laboratory, CA.
- GOODMAN, D.; NISHIMURA, Y.; HONGO, H. y HIGASHI, N. 2006: "Correcting Topography and the Tilt of Ground-Penetrating Radar Antennae". *Archaeological Prospection* 13: 157-161.
- GOODMAN, D.; HIROMICHI, H.; HIGASHI, N.; NISHIMURA, Y.; TOKUDA, M. y DOK OH, H. 2009: "The application of GPR Overlay analysis in archaeological prospection: Discovery at the Japanese Imperial Family tombs in Miyazaki Prefecture". *ArcheoSciences, revue d'archéométrie*, suppl. 33: 295-297.
- OLAETXEA, C.; PEÑALVER, X.; SAN JOSE, S. e. p.: "Vascones y várdulos, vecinos de los aquitanos: últimas aportaciones arqueológicas". *Jornadas sobre los Aquitanos y sus vecinos, (Toulouse 2005)*.
- PEÑALVER, X. y SAN JOSE, S. 2003: *Burdin Aroko herri harresituak Gipuzkoan*. Bertan 20. Diputación Foral de Gipuzkoa. Donostia.
- SALA, R.; GARCIA, E. y LAFUENTE, M. 2008: "Prospección geofísica para la arqueología: Contra el bulldozer". *Revista de Arqueología*, Año nº 29, Nº 328: 52-63.
- SAN JOSE, S. 1995, 1998, 2000, 2006-2008: "Poblado fortificado de Munaoandi (Azkoitia-Azpeitia)". *Arkeoikuska Investigación arqueológica*. Gobierno Vasco. Gasteiz.
- WITTEN, A.J. 2006: *Handbook of Geophysics and Archaeology*. Equinox Publishing Ltd.