

Prospección geofísica multisistema en el yacimiento arqueológico de Irulegi (Lakidain, Nafarroa)

Multi-system geophysical survey at the archaeological site of Irulegi, Navarre

Ekhine García⁽¹⁾, Roger Sala⁽¹⁾, Robert Tamba⁽¹⁾, Javier Bucés⁽²⁾

⁽¹⁾SOT Prospecció Arqueològica, Emeterio Escudero 76b, 08198, Sant Cugat del vallès, info@sotprospection.com

⁽²⁾Aranzadi Zientzia Elkartea, Zorroaga Gaina z/g, Donostia,

SUMMARY

The archaeological site of Irulegi is located in the mountain range of Aranguren (Lakidain, Navarre). Enjoying a strategic location the summit was occupied at least in pre-roman and medieval periods. The medieval castle is currently in process of excavation and restoration by a team from the Society of Science Aranzadi. Previous surveys conducted by another team of the same Society confirmed the existence of a protohistoric village. The well preserved constructive remains were estimated to be dated of the I and II BC. A geophysical survey was conducted in order to provide information about the location and nature of archaeological remains and to plan future interventions. The methodology was based on a combination of different geophysical systems designed to optimize the available time and resources. An initial survey with a magnetic gradiometer provided in a short time an overview of the entire area of investigation. The results were then used to define areas of main interest that were surveyed using the electrical resistivity system. Cross interpretation allowed to define two areas with similar constructive morphologies but with the presence of combustion in only one of them. Once again, the multisystem strategy proved to be crucial to optimize resources and to complete interpretations with geophysical results archaeologically relevant.

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento arqueológico de Irulegi está situado sobre la cima del mismo nombre en la sierra de Aranguren, en las localidades de Lakidain e Ilundain en el valle de Aranguren, y Lerruz e Idoate en el de Lizoain.

El yacimiento se encuentra a una altura de 893m dominando uno de los pasos naturales a los pirineos desde el sur, y con buena visibilidad hacia la cuenca de Pamplona y otros puntos elevados de la zona (fig. 1). La cima tiene un fuerte escarpe rocoso en su parte norte y laderas pronunciadas en sus otras vertientes lo que facilita la defensa (Sagredo 2006).

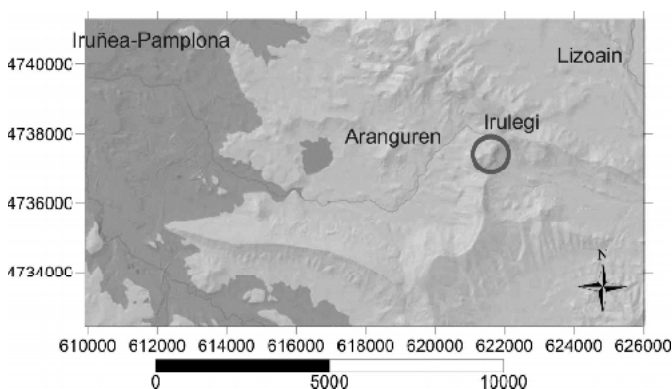


Figura 1 – Ubicación del monte Irulegi sobre el mapa de elevación de la zona. (Location of the Irulegi mountain on a regional elevation map).

Probablemente debido a esta ubicación estratégica en la cima se han establecido por lo menos asentamientos en cronologías de la edad de Hierro y época medieval (Bucés 2009, 2010, 2011).

Las primeras menciones directas al castillo de Irulegi que se conocen datan del S. XIII, aunque probablemente ya existía alguna fortificación desde el siglo X. La fortaleza se mantiene hasta el siglo XV cuando se derriba por orden de los reyes de Navarra en el contexto de las guerras de bandos (Matirena Ruiz 1980).

En el año 2007 se comienza un proceso de excavación y consolidación de la mano de un equipo de la Sociedad de Ciencias Aranzadi y financiado por el Ayuntamiento de Aranguren. Los trabajos se han llevado a cabo con la colaboración de jóvenes voluntarios en un formato de Campos de Trabajo con una duración de dos semanas anuales. Durante los dos primeros años (2007 y 2008), bajo la dirección de Mainer Carrere, los trabajos se centraron

en la delimitación del perímetro exterior del recinto superior del castillo, del que tan sólo se intuía un esquinero de la torre principal. Asimismo se definen tres áreas (figura 3), el área 1 conteniendo los aterrazamientos del recinto estructural, el área 2 correspondiente a los extramuros de la primera línea de muralla, y el área 3 como el territorio circundante al castillo. Además, se llevaron a cabo una serie de sondeos arqueológicos en la ladera de la montaña confirmando la existencia de un poblado protohistórico con restos de estructuras bien conservadas. La datación de los restos se estimó en los siglos I y II AC a partir de las piezas cerámicas recuperadas (Carrere 2007,2008).

A partir del año 2009, bajo la dirección de Javier Bucés, se complementaron actividades de consolidación y excavación en el interior del perímetro del castillo. Estos trabajos han permitido hallar una serie de dependencias de gran interés, tales como el aljibe o la capilla, que destacan por su buen estado de conservación. Asimismo se ha recuperado numeroso material arqueológico relacionado con la ocupación medieval, y algunas piezas de época romana en niveles de relleno (Bucés 2009, 2010, 2011).

En este contexto se plantea la realización de una prospección geofísica que aporte luz sobre el tipo de estructuras arqueológicas que se alojan en la ladera de la cima, en lo que sería el área circundante del castillo. El objetivo de la prospección geofísica es detectar y describir los restos arqueológicos relacionados principalmente con la ocupación de la Edad del Hierro. De esta forma se pretendía obtener información que sirviera para planificar futuras intervenciones arqueológicas en este sector del yacimiento.

2. METODOLOGÍA

Para optimizar recursos se optó por una exploración geofísica multisistema (Sala et al. 2012). La prospección geomagnética de toda el área de investigación (7250m²) proporcionó en poco tiempo una visión global del yacimiento. Sobre el mapa magnético se designaron zonas de mayor interés para aplicar sistemas complementarios que facilitaran la interpretación arqueológica de las anomalías detectadas. La prospección magnética se realizó con un gradiómetro Bartington Grad 601-dual equipado con dos sensores fluxgate de 1m con una densidad de lectura de 0.5m entre líneas y 0.25m en la dirección de lectura. La malla de prospección se generó respetando la dirección de la pendiente para poder realizar los perfiles contra el desnivel, de forma que los dos sensores estuvieran a la misma distancia del suelo (English Heritage 2008).

Como sistema complementario se utilizó en primera instancia un sistema de georadar SIR-3000 equipado con antenas de 270MHz y 400MHz. Las dos zonas estudiadas (2100m² en total) se cubrieron mediante perfiles separados de 40cm con el objetivo de aplicar la técnica de *time-slicing* y así visualizar los resultados en planta (Goodman et al., 1995). Desgraciadamente, el alto grado de humedad del terreno y la existencia de una capa espesa de vegetación cortada en la superficie comprometió la calidad de la señal y los resultados fueron descartados.

Finalmente se realizó una prospección eléctrica en una extensión sobre un área de 1700m² utilizando el sistema Geoscan Research RM-15. Se empleó una geometría polo-polo con una separación entre electrodos móviles de 0.5m y 1m, generando dos mapas del subsuelo (Clark, 1996). La resolución aplicada fue de 0.5mX0.5m y 1mX0.5m respectivamente.

Tabla 1 – Sistemas aplicados (Applied systems)

Prospección Magnética	Prospección Georadar	Prospección Geoeléctrica
7250m ²	2100m ²	1700m ²
Gradiómetro Bartintong G-601	Equipo GSSI SIR-3000	RM15 con multiplexer (Geoscan Research)
2 Sensores Fluxgate de 1m	Frecuencias centrales: 270MHZ y 400MHZ	Configuración Polo-polo con electrodos móviles separados de 0.5m y 1m
Resolución espacial: 0.5mX0.25m	Resolución espacial: 0.025mX0.4m	Resolución espacial: 0.5mX0.5m y 1mX0.5m
Sensibilidad 0.1nT/m	Resolución lectura: 16 bits	Modo lectura: 0.5s por lectura
Rango: 100nT/m (reajuste automático hasta 3000nT/m)	Ventana de tiempo: 70ns y 50ns	Intensidad: 1mA Factor de Ganancia: 1

3. PROCESO DE DATOS

Los datos magnéticos y eléctricos se procesaron mediante el software *Geoplot 3* (Geoscan Research), y se utilizó el software *Surfer 9* (Golden Software) para generar los mapas finales.

La secuencia utilizada para el proceso de los datos magnéticos empezó con una rutina para eliminar picos (*Despike*). De esta forma se reducen los efectos de los picos aislados en las siguientes fases del proceso. A continuación se aplicó la rutina *Zero Mean Line* para homogeneizar el valor medio en cada línea de lectura y reducir el efecto de bandas que aparece en los datos brutos que en este caso no era muy pronunciado. Se realizó la misma operación en las mallas de lectura (*Zero Mean Grid*) para reducir el efecto de mosaico producido por haber tomado los datos en momentos diferentes. A continuación se aplicó un filtro *Low-pass* para eliminar la alta frecuencia a pequeña escala espacial (es decir, para suavizar los datos) y finalmente una interpolación para obtener un píxel cuadrado de 0.25m (Aspinall et al. 2008). Como paso final, los datos tratados fueron importados a *Surfer 9* para producir los mapas que se presentan aquí.

Análogamente la secuencia utilizada para el proceso de los datos de resistividad empezó con la eliminación de picos, en este caso generados principalmente por el mal contacto de los electrodos en

algunos puntos. A continuación se aplicó un filtro *high-pass* para eliminar la tendencia de los datos y obtener un contraste más homogéneo. Finalmente se aplicó una interpolación obteniendo un píxel cuadrado de 0.25m y de 0.5m respectivamente para las separaciones de 0.5m y 1m entre los electrodos móviles. Aunque para el primer caso ya se partía de un píxel cuadrado (de 0.5m) se optó por la interpolación por considerar que un píxel más fino facilitaba la interpretación de estructuras. Una vez más los datos tratados fueron importados en *Surfer 9* para producir los mapas que se presentan aquí.

9. RESULTADOS

En la figura 2 se presenta el mapa de gradiente magnético obtenido tras el proceso de datos. En él se pueden apreciar numerosas anomalías atribuibles a acciones antrópicas y que ocupan prácticamente toda el área estudiada.



Figura 2 – Mapa de gradiente magnético ($\pm 3nT/m$) sobre imagen aérea. (Magnetic gradient map ($\pm 3nT/m$) on aerial photography).

Llama la atención la anomalía perimetral con una mayor traza magnética que el entorno, denominada A1 (figuras 2 y 3). Aunque la señal detectada no es homogénea en toda esta anomalía, la forma proporciona una unidad. Esta anomalía se interpreta con una estructura de división del espacio como podría ser un foso o un aterramiento amortizado. En el sector superior de esta delimitación la señal magnética es menos convulsa y se detectan menos anomalías. Esto podría indicar una ausencia de estructuras pero también una modificación de la topografía original que, o bien haya arrasado las estructuras existentes, o bien se hayan quedado a una mayor profundidad, impidiendo ser detectadas mediante el gradiómetro.

La anomalía A2, presenta también una traza magnética ligeramente superior que el entorno, y atraviesa la zona de exploración desde la zona baja de la ladera hacia la cima. Esta anomalía, que no coincide con el camino actual, se identifica como un posible acceso a la cima. Nótese que se detecta a ambos lados de la anomalía perimetral mencionada anteriormente.

En la figura 3 se representan las dos anomalías mencionadas en relación con las áreas perimetrales del castillo delimitadas durante los trabajos de excavación.

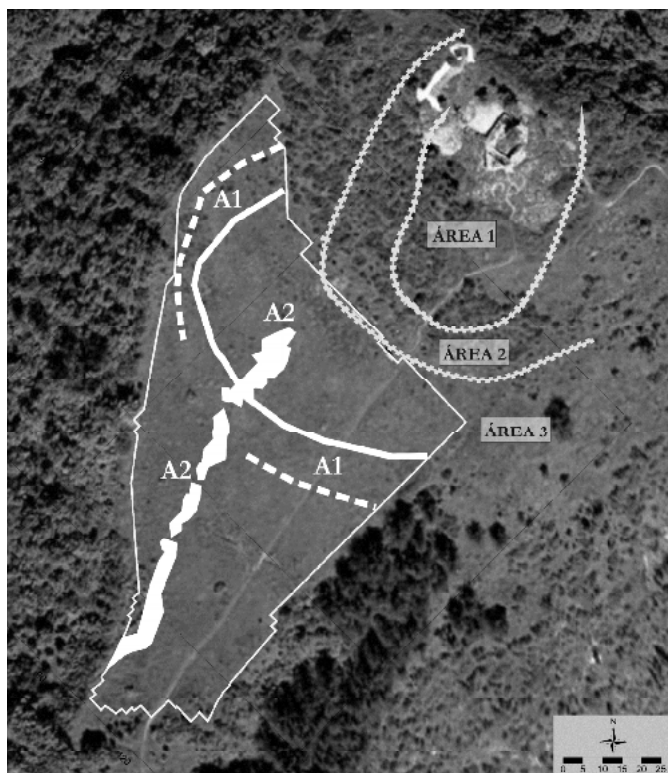


Figura 3 – Esquema interpretativo de las anomalías A1 y A2 sobre imagen aérea del yacimiento, donde se distingue el camino de acceso actual. Se muestra también la delimitación de áreas perimetrales del castillo. (Interpreted magnetic anomalies A1 and A2 over the aerial photography of the site. Perimetral areas of the castle are also shown).

Por otra parte, el mapa de gradiente magnético muestra numerosas anomalías de alta intensidad atribuidas a zonas termoalteradas. Entre ellas destaca el conjunto (A3) detectado en el extremo sur-este de la zona explorada, en la zona más llana, cuyos valores se sitúan entre -14nT/m y 82nT/m . Este conjunto abarca un área aproximada de 220m^2 y presenta varios núcleos atribuidos a procesos de combustión, junto con anomalías lineales de contraste negativo atribuidas a estructuras murarias (figura 4).

Dicho conjunto está adosado a la anomalía A2 identificada como un posible acceso. Asimismo, la orientación coincide también con la retícula detectada en el sector Este (anomalía A5, figuras 2 y 7), aunque en este último no se detectan signos evidentes de combustión. De esta manera este conjunto podría formar parte de una estructura de urbanización más compleja. El hecho de que en el sector Oeste se detecten varios núcleos de combustión y la comparación de la morfología de los mismos con la bibliografía sugieren que podría tratarse de una zona incendiada.

También presenta un contraste elevado la anomalía A4, con valores mínimo y máximo de -14nT/m y 75nT/m respectivamente, que se detecta aislada en la parte alta del área explorada, en contacto con el posible acceso A2. Como se puede observar en la figura 5 presenta una morfología rectangular bien definida de dimensiones aproximadas de $3.5\text{m} \times 1.5\text{m}$, con un posible acceso desde el Sur. La zona termoalterada se encuentra localizada en el extremo Norte de la anomalía como se puede observar mediante las isoclinas de gradiente magnético. La geometría bien definida y la localización de la zona termoalterada sugieren descartar que se trate de un edificio incendiado, y parece más probable que la combustión esté relacionada con un hogar.

Tal y como se ha mencionado anteriormente en el sector Este definido por la anomalía A2 se detecta una retícula generada por anomalías de contraste negativo (A5). Dicha retícula no es regular sino que define espacios de diversos tamaños, con líneas separadas a veces de 2m y otros de hasta 8m . En estas anomalías el valor del contraste magnético es relativamente bajo (alrededor de -2nT/m en

los tramos mejor definidos y de hasta -0.5nT/m en otros), por lo que no se puede descartar la existencia de divisiones internas que no se hayan podido detectar.

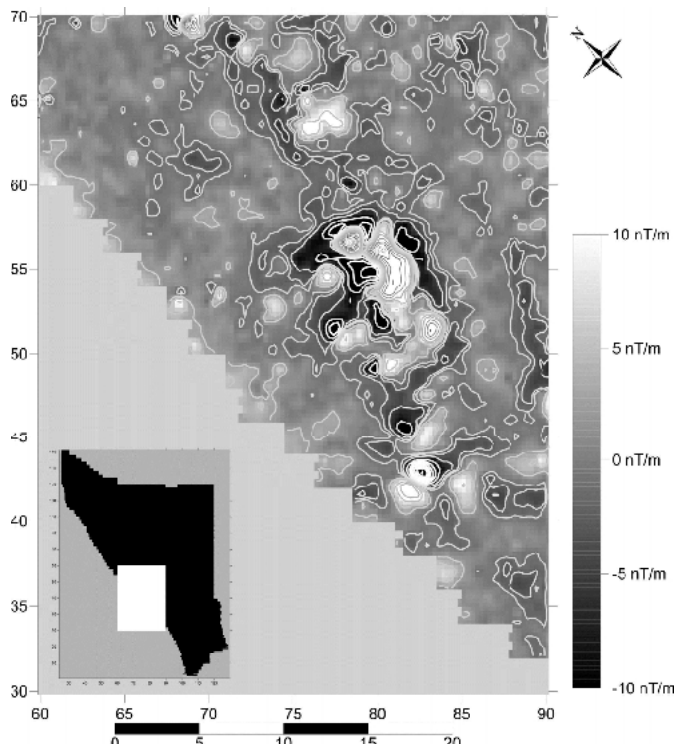


Figura 4 – Detalle del conjunto de anomalías A3 ($\pm 10\text{nT/m}$) con isoclinas. (Detailed view of the group of anomalies A3 ($\pm 10\text{nT/m}$) with contour lines).

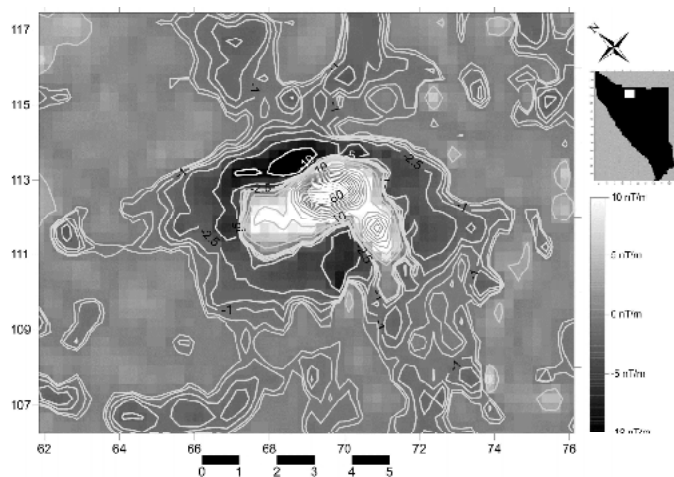


Figura 5 – Detalle de la anomalía A4 ($\pm 10\text{nT/m}$) con isoclinas. El valor de algunas de las isoclinas se muestra en unidades de nT/m . (Detailed view of the anomaly A4 ($\pm 10\text{nT/m}$) with contour lines)

Además de las ya mencionadas se detectan otras anomalías lineales, especialmente en el extremo noroeste de la anomalía perimetral A1. La orientación de éstas es coherente con la de la retícula A5, pero como entre un grupo y otro hay unos 20m de distancia en la que no se detectan estructuras, resulta difícil establecer la relación entre ellas. Una vez más el contraste no es muy pronunciado, sino del orden de -1.5nT/m en el mejor de los casos. Como se puede ver en el detalle de la figura 6, en este grupo se detectan algunas anomalías lineales bien definidas cuyo contraste es positivo (del orden de 4nT/m). Por las dimensiones, con un máximo de 1.2m de ancho, resulta poco probable que se trate de espacios de habitación. Podría tratarse de alguna estructura en negativo rellena con material superficial.

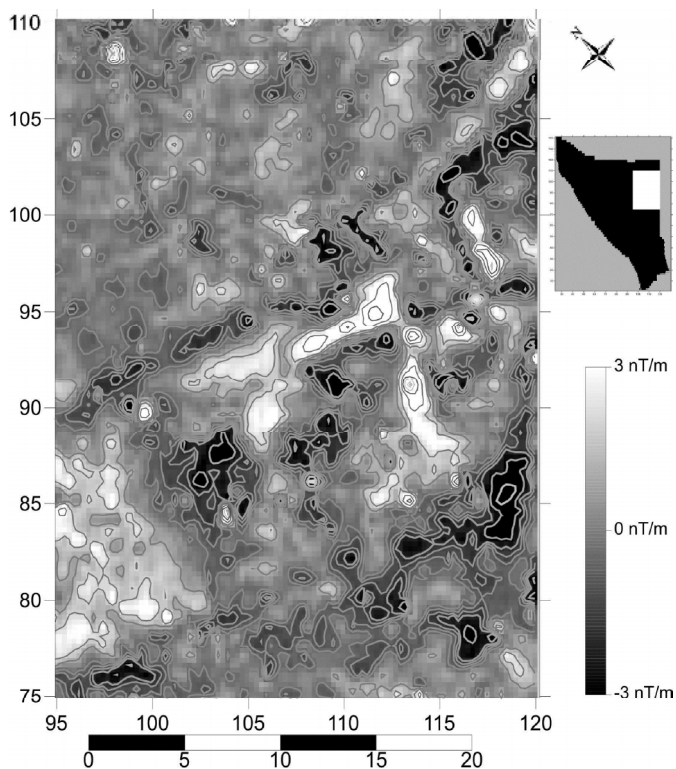


Figura 6 – Detalle del conjunto de anomalías A6 ($\pm 3\text{nT/m}$) con isólinas donde se observan las anomalías lineales de contraste positivo (Detailed view of the group of anomalies A6 ($\pm 3\text{T/m}$) with contour lines)

Como se ha mencionado en el apartado de metodología, con los resultados magnéticos sobre la mesa se seleccionaron las zonas donde aplicar otros sensores geofísicos.

Para la prospección georadar se establecieron dos zonas distintas con el objetivo de esclarecer el origen de algunas de las anomalías detectadas por el gradiómetro. Se estableció una banda en la zona más elevada para intentar obtener una imagen tridimensional de la estructura perimetral A1, e intentar esclarecer si podía ser un foso o un aterrazamiento. La segunda zona se estableció entre el grupo A6 y la retícula A5, cubriendo parte de ambas, para intentar esclarecer si habría alguna estructura en la zona donde la prospección magnética no había detectado ninguna. En ambas zonas la calidad de los datos obtenidos resultó pobre debido principalmente al grado de humedad de suelo y a la existencia de una capa vegetal espesa que dificultaba en correcto contacto de la antena con el suelo. Los resultados tuvieron que ser finalmente descartados.

Para la realización de la prospección eléctrica se seleccionó la zona central de la ladera, coincidiendo con la zona más llana y abarcando el área ocupada por la retícula A5. Gracias a los resultados de la cata realizada en esta zona en el año 2007 se conocía que las estructuras se encontraban a poca profundidad, por lo que se estableció una separación de 0.5m entre electrodos para el nivel principal, y de 1m para obtener información complementaria.

En la figura 8 se muestra el mapa de resistencia para el nivel principal (0.5m de separación). En él se distinguen claramente las anomalías resistivas provocadas por los muros de la retícula ya conocida, aunque en algunos casos las divisiones internas no se definen con claridad. Esto puede deberse a que el material empleado para la construcción es diferente y con una resistividad menos contrastada, o bien a que las paredes son más finas generando una anomalía más tenue.

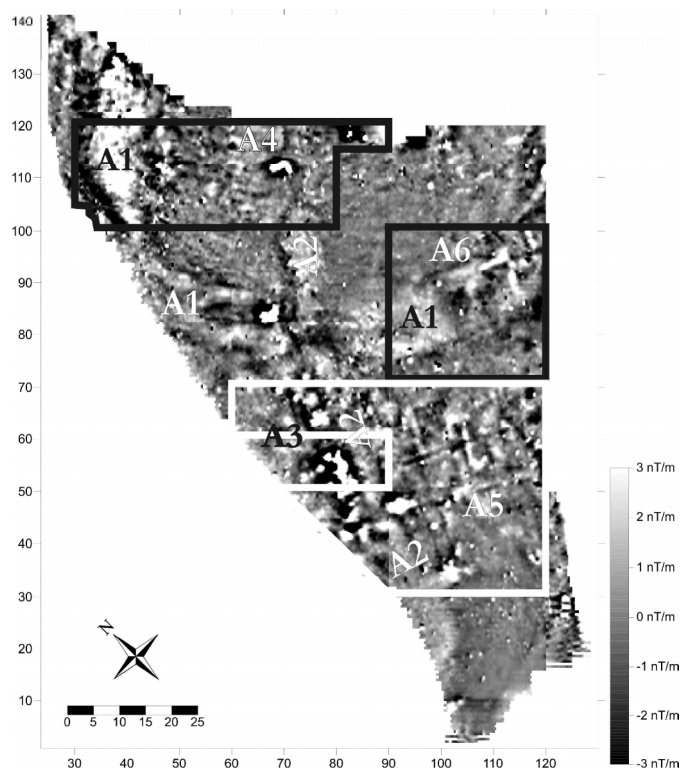


Figura 7 – Ubicación sobre el mapa magnético de las zonas seleccionadas para la prospección georadar (resaltadas en negro) y la prospección eléctrica (resaltadas en blanco) (Location of the selected areas for GPR prospection (black) and for electrical prospection (white) over the magnetic gradient map)

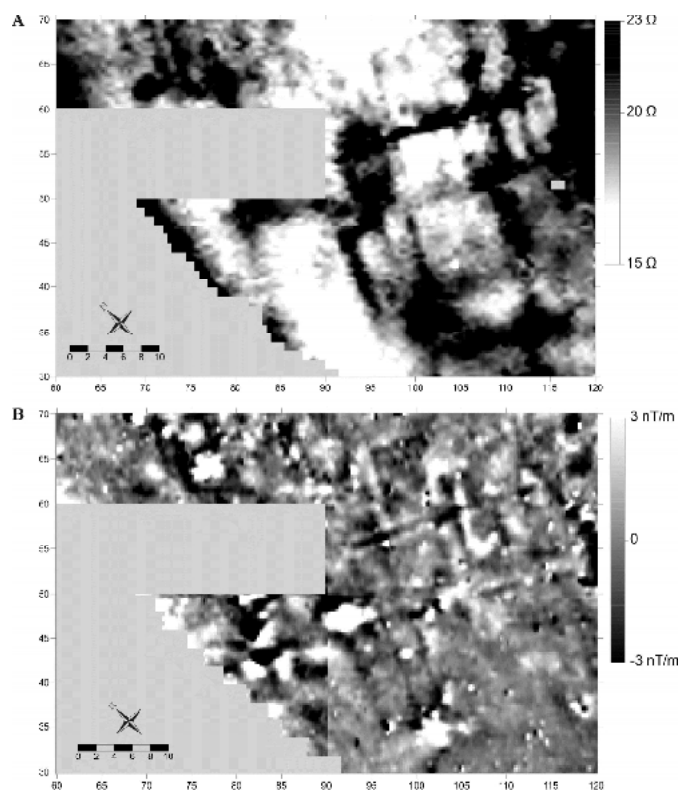


Figura 8 – A, mapa de resistencia (15-23 Ω) obtenido con una geometría polo-polo y una separación de 0.5m entre electrodos móviles. B, detalle del mapa de gradiente magnético ($\pm 3\text{nT/m}$) correspondiente a la misma área. (A, Resistance map (15-23 Ω) obtained with twin mode, with 0.5m of separation. B, detail of the magnetic map ($\pm 3\text{nT/m}$) corresponding to the same area)

Por otra parte se detectan zonas resistivas sin una morfología clara que podrían corresponder a zonas con derrumbes o a zonas de acumulación de cenizas. Comparando con el mapa de gradiente magnético, se puede ver cómo algunas de estas áreas coinciden zonas de combustión y otras con zonas de alteración magnética sin una morfología clara, lo que apunta a una zona con derribo.

El mapa obtenido con una separación entre electrodos móviles de 1m es muy similar y no aporta información sobre nuevas estructuras. Esto sugiere que aunque las estructuras son superficiales la potencia vertical que tienen es importante.

4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista metodológico, como resultado de la aplicación de tres sistemas diferentes de prospección geofísica se ha podido determinar la viabilidad de estos sistemas para aportar información arqueológica en el yacimiento de Irulegi.

Así, la prospección magnética se ha revelado como una herramienta adecuada para obtener una imagen general del área de investigación. Aunque los elementos constructivos presentan un contraste limitado y los resultados son poco definitivos en algunos puntos, en otros la prospección magnética ha sido crucial para detectar procesos de combustión y demarcar zonas probablemente incendiadas.

En cambio, la prospección georadar no ha proporcionado resultados satisfactorios. La capa de vegetación y principalmente el hecho de que hubiera llovido durante la campaña de prospección han intervenido en contra de lo que serían unas condiciones adecuadas para la aplicación de este sistema. De todas formas, un perfil de prueba adquirido sobre el camino actual, libre de vegetación y sensiblemente menos húmedo, ha mostrado una señal con una calidad notablemente superior. De esta forma no se descarta que en condiciones de menor humedad este sistema pueda proporcionar resultados más interesantes. Debido a la pendiente existente sobre todo en la zona más elevada, resulta imprescindible la aplicación de rutinas de proceso que corrijan el efecto de la misma para poder obtener una geometría correcta (Goodman et al. 2006).

La prospección eléctrica ha proporcionado resultados con buena definición en la zona más baja y han permitido describir con mayor precisión las formas de las estructuras constructivas ya detectadas en magnético. De esta forma se revela como el sistema más adecuado para describir el trazado urbano del asentamiento, aunque algunas de las divisiones internas no se han podido detectar con suficiente nitidez.

Desde el punto de vista arqueológico los resultados son muy interesantes ya que aportan luz sobre aspectos desconocidos hasta el momento.

La vista general ha permitido deducir que la ocupación del yacimiento no es homogénea, sino que hay zonas con mayor acumulación de restos y zonas con menor densidad de restos.

Por una parte la anomalía perimetral A1 divide el área de exploración en dos zonas. En la parte alta la densidad de anomalías detectadas es muy inferior al resto del área. Aunque esto podría indicar una menor afectación de esta zona, también puede ser debido a cambios en la topografía original. Las estructuras podrían haber sido arrasadas o bien enterradas a mayor profundidad impidiendo que sean detectadas por el gradiómetro magnético.

En la parte baja de la división se detectan la mayor parte de las anomalías claramente atribuidas a estructuras constructivas. Además encontramos el posible acceso A2 que separa el sector Oeste, con signos evidentes de combustión, del sector Este, donde se detecta una retícula de habitaciones (A5) pero donde no se detectan combustiones. Los muros hallados en la cata realizada en 2007 han sido detectados con ambos sistemas geofísicos, coincidiendo con el extremo nordeste de esta retícula. De esta forma y a falta de verificación arqueológica, la hipótesis es que toda esta retícula forma parte de un conjunto de habitaciones del asentamiento de la edad de Hierro. Resulta especialmente interesante la concentración de zonas termoalteradas en el sector Oeste, que podrían estar vinculados a incendios o bien a algún tipo de actividades relacionadas con fuego (García et al., 2010).

5. REFERENCIAS

- Aspinall, A., C. Gaffney, A. Schmidt (2008). "Magnetometry for Archaeologists". Lanham. AltaMira Press.
- Buces, J. (2009). "Memoria de la intervención arqueológica realizada en el castillo de Irulegi". Campaña 2009. Inédita
- Buces, J. (2010). "Memoria de la intervención arqueológica realizada en el castillo de Irulegi". Campaña 2010. Inédita
- Buces, J. (2011). "Memoria de la intervención arqueológica realizada en el castillo de Irulegi". Campaña 2011. Inédita
- Carrere, M (2007). "Memoria de la intervención arqueológica realizada en el castillo de Irulegi". Campaña 2007. Inédita
- Carrere, M (2008). "Memoria de la intervención arqueológica realizada en el castillo de Irulegi". Campaña 2008. Inédita
- Clark A. (2006). "Seeing Beneath the Soil. Prospecting methods in archaeology" 2nd edn. reprinted". Routledge.
- English Heritage (2008). "Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation. 2nd Edition". English Heritage
- García, E., C- Padrós, A. Pujol, R. Sala and R. Tamba (2010). "Resultats preliminars de la primera campanya d'excavació al jaciment de puig ciutat (Oristà, Osona)". AUSA XXIV 166 pp. 685-714. Patronat d'Estudis Osonencs.
- Goodman D, Y. Nishimura and J.D. Rogers (1995). "GPR time slices in archaeological prospection". *Archaeological Prospection* 2, 85-89.
- Goodman D, Y. Nishimura, H. Hongo and N. Higashi. (2006). "Correcting Topography and the Tilt of Ground-Penetrating Radar Antennae". *Archaeological Prospection* 13, 157-161.
- Martínez Ruiz, J. J. (1980). "Navarra, castillos y palacios". Salvat Ediciones.
- Sagredo, I. (2006). "El castillo de Irulegi". Ayuntamiento del Valle de Aranguren.
- Sala, R. E. García and R. Tamba (2012). Archaeological Geophysics - From Basics to New Perspectives. En OLLICH-CASTANYER I. (Ed), *Archaeology., New Approaches in Theory and Techniques*, InTech, Available from. <http://goo.gl/UOUe1>