

## TELEDETECCIÓN PASIVA Y ACTIVA EN ARQUEOLOGÍA. CASO DE ESTUDIO DE LA CIUDAD CELTÍBERA DE SEGEDA

J. G. Rejas<sup>(\*)</sup>, F. Burillo<sup>(\*\*)</sup>, R. López<sup>(\*\*)</sup>, M. A. Cano<sup>(\*\*)</sup>, M. E. Sáiz<sup>(\*\*)</sup>, M. Farjas<sup>(\*\*\*)</sup>, T. Mostaza<sup>(\*\*\*\*)</sup>  
y J. J. Zancajo<sup>(\*\*\*\*)</sup>.

<sup>(\*)</sup>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), rejasaj@inta.es

<sup>(\*\*)</sup>Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales (Teruel), Universidad de Zaragoza (UZ).

<sup>(\*\*\*)</sup>E.T.S.I. Topografía, Geodesia y Cartografía, Universidad Politécnica de Madrid (UPM).

<sup>(\*\*\*\*)</sup>Escuela Politécnica Superior de Avila, Universidad de Salamanca (USAM).

### RESUMEN

La zona arqueológica de Segeda, situada en los términos municipales de Mara-Belmonte de Gracián (Zaragoza), se corresponde con una de las principales ciudades estado celtíberas en el siglo II a. C. Su extensión, la peculiaridad y heterogeneidad de las cubiertas presentes, unido a un incipiente estado de excavación, ha posibilitado la utilización de tecnologías activas y pasivas encaminadas a facilitar la detección y registro de estructuras arqueológicas enterradas o aparecidas en las excavaciones.

En el presente artículo se realiza una revisión sobre la aproximación que se viene realizando desde 2005 en la investigación en técnicas y metodologías de teledetección aplicadas al estudio y registro arqueológico del yacimiento de Segeda. Se muestran los resultados obtenidos a partir de datos hiperespectrales y multispectrales térmicos para la detección de alineamientos y estructuras enterradas, así como el estudio sobre las capacidades de datos SAR para el cálculo de subsidencias como evidencias de cavidades, restos o patologías en el yacimiento y su entorno. Los resultados multifuente se han integrado para posibilitar el análisis geoespacial de amplias regiones del territorio y la interconexión entre sus distintos procesos, naturales e históricos.

### ABSTRACT

The archaeological site of Segeda located in Mara-Belmonte de Gracián (Zaragoza), corresponds to one of the major Celtiberian state cities at 2<sup>nd</sup> Century b.C. The extent, specificity and heterogeneity of the landcovers in Segeda, coupled with a state of excavation, have enabled the implementation of active and passive technologies to facilitate the detection and recording of archaeological structures buried or appeared in the excavations.

This paper describes the approach, since 2005 research has been made applied to the study of the archaeological site of Segeda. We have studied the capabilities of SAR differential interferometry for the calculation of subsidence as evidence of cavities or pathologies remains at the site and its surroundings. We expose the results obtained from hyperspectral and multispectral thermal data to detect buried structures and alignments, and data integration allowing the geospatial analysis for large areas of the territory and the interconnection between natural and historical processes.

**Palabras clave:** térmico, hiperespectral, SAR, anomalías espectrales, restos arqueológicos.

### INTRODUCCIÓN

Los sensores pasivos y activos se vienen posicionando en los últimos años como instrumentación no intrusiva de gran potencial de aplicación en prospección arqueológica, tal y como reflejan las correspondientes publicaciones y eventos científicos (Belvedere *et al.*, 2001; Emmolo *et al.*, 2004; Weller, 2006).

El desarrollo en las últimas décadas de nuevos sensores de observación de la Tierra, así como su creciente utilización en arqueología, amplía las posibilidades en la representación y estudio de

las características y rasgos particularizados en lugares con presencia de patrimonio arqueológico.

A este nivel de estudio, en el que se pretende encontrar indicios de estructuras enterradas y formaciones creadas por el hombre, la respuesta de las superficies en longitudes de onda adecuadas del espectro reflectivo (VIS-SWIR) y emisivo (TIR) puede aportar información relevante que sirva de apoyo en prospección arqueológica.

Siguiendo este planteamiento, se ha venido realizando desde 2005 una aproximación investigadora con el objetivo de aplicar técnicas de

teledetección activas y pasivas en Segeda. El estudio llevado a cabo se ha focalizado en las bandas térmicas, por ser aquí donde en principio y en base a experiencias previas (Belvedere *et al.*, 2001; Farjas *et al.*, 2003) se pueden discriminar fenómenos que afecten a estructuras arqueológicas enterradas.

El trabajo que se presenta supone una revisión sobre las distintas aproximaciones llevadas a cabo mediante teledetección para completar un estudio geoespacial de la ciudad celtibérica de Segeda y dar soporte a nuevos procesos de excavación arqueológica.

## CASO DE ESTUDIO

Como antecedentes históricos de la ciudad celtibérica de Segeda (Zaragoza), puede calificarse de trascendental el enfrentamiento que en el siglo II a. C. mantuvo la ciudad celtibérica de Segeda contra la todopoderosa Roma, pues como consecuencia directa de aquel conflicto el calendario romano fue modificado para que el inicio oficial del año fuese el 1 de enero, en lugar del 15 de marzo, como ocurría hasta entonces, quedando así fijado hasta nuestros días.

La zona arqueológica de Segeda (Burillo, 2006) está integrada por dos fases no superpuestas. Especial relevancia arqueológica tiene la ciudad celtibérica (Segeda I), mientras que la fase celtibero-romana se desplazó a una nueva ubicación (Segeda II). Se trata de un área experimental de especial interés para el desarrollo de metodologías de teledetección, debido fundamentalmente a su accesibilidad y a los procesos estacionales de excavación que se llevan a cabo.

## DATOS Y PREPROCESO

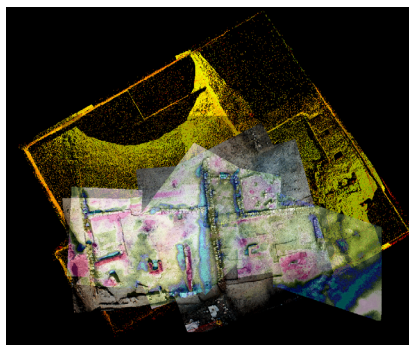
Se ha seguido una estrategia de trabajo multiescala, micro, media y macro escala, afectando a los hallazgos y artefactos, al yacimiento y a la región, respectivamente. Los datos con los que se ha trabajado responden a este planteamiento. De esta manera, se ha dispuesto de un conjunto de imágenes de distintos sensores, adquiridas desde distintas plataformas que se relacionan (Tabla 1).

Ha sido necesario transformar los parámetros de las imágenes a una escala absoluta, tanto espacial como espectral, de tal manera que podamos referir las medidas extraídas a otras procedentes de los distintos sensores o tomadas en distintas fechas. El objetivo es preparar el conjunto de los datos para posteriores análisis que permitan correlacionar espacialmente los elementos de interés

arqueológico (muros, superficies, estructuras, restos de origen orgánico etc) con la temperatura superficial a la que han sido registrados y otros parámetros clásicos extraídos mediante técnicas de tratamiento de imagen.

**Tabla 1.-** Datos utilizados en la investigación. (\* no procesado actualmente).

Dato	Sensor	Plataforma	Año
Multiespectral	ETM+	Landsat 7	2002
Hiperspectral	AHS	Aérea	2005
SAR	ASAR	ENVISAT	2004 2006
SAR	Prototipo-INTA	Aérea (*)	2006
Térmico	Thermacam	Terrestre	2006
Láser 3D	Trimble GX 3D	Trípode	2007
Fotografía	Nikkon D70	Terrestre	2007
Fotografía	Cámara digital	UAV (*)	2008



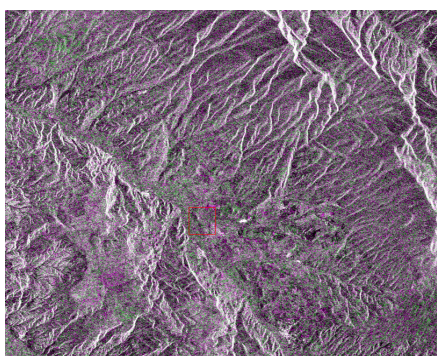
**Figura 1.-** Ejemplo de fichero multifuente para el Área 4 de excavación.

En las imágenes hiperspectrales se ha aplicado un algoritmo MNF (*Minimum Noise Fraction*) que permitió reducir el ruido, convirtiendo posteriormente los valores de radiancia en el sensor (hasta los 2.5  $\mu\text{m}$ ) a valores de reflectividad en el terreno, empleando un método empírico en el que se han utilizado las medidas radiométricas realizadas en campo y las tomadas en el laboratorio. Para las bandas térmicas, se han desechado los canales 55 a 64 y canal 70 por presentar una relación señal/ruido elevada en este caso, y se ha aplicado una interpolación lineal utilizando el nivel digital registrado y la temperatura asignada a los cuerpos negros de referencia (10 y 50  $^{\circ}\text{C}$ ) del AHS.

Las imágenes hiperspectrales han sido georreferenciadas directamente a partir de datos de posición y orientación medidos por un sistema

inercial GPS/IMU en el momento de adquisición. Una vez calculada la trayectoria de vuelo se han procesado con PARGE, utilizando un MDE de 10 m de paso de malla remuestreado a 3 m, obteniendo un error absoluto de 2 píxeles en X e Y. Un último paso ha sido su fusión con fotografía aérea mediante Imgfuse (Geomática). Se ha generado una nueva subescena a 0.5 m de resolución espacial, manteniendo la información espectral original.

Se han adquirido dos pases ascendentes ASAR (ENVISAT), correspondientes a las fechas del 31-08-2004 y 05-09-2006. Las escenas abarcan un área de 100 x 100 km, centradas aproximadamente en la ciudad de Calatayud. Se han procesado con el programa RAT (<http://srv-43-200.bv.tu-berlin.de/rat/>), transformándolas a formato Simple Look Complex y posteriormente a imágenes de amplitud. Se ha georeferenciado la escena de 2004 por método polinómico a partir de 55 GCP's, coregistrando a su resultado la correspondiente al año 2006.



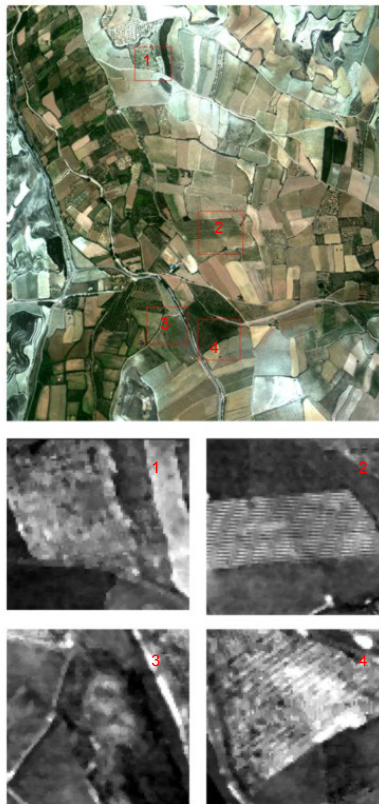
**Figura 2.-** Imagen ASAR multitemporal 2004-2006 de Segeda.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se han seguido dos técnicas distintas en el análisis. En primer lugar se han calculado anomalías aplicando una convolución mediante un filtro de mediana, para posteriormente establecer un índice térmico (Rejas *et al.*, 2006) basado en la separabilidad de clases que presentan los canales 76 y 80 del AHS. El resultado es una imagen en la que se resaltan los píxeles detectados como posibles anomalías.

Se ha observado como una de ellas presenta un disposición circular concéntrica, pudiéndose tratar de algún tipo de estructura enterrada. En 2008 se confirmó por prospección arqueológica su correspondencia con un yacimiento de cronología

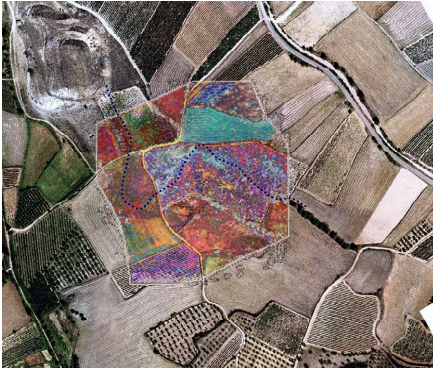
romano alto-imperial, tratándose de una villa con restos de área de alta producción cerámica.



**Figura 3.-** Zonas caracterizadas por anomalías calculadas a partir de los canales térmicos del AHS.

Así mismo, se ha realizado un análisis de componentes principales (PCA) focalizado para los canales térmicos del AHS fusionados con fotografía aérea.

Experiencias previas (Traviglia, 2006) han mostrado resultados satisfactorios de PCA en datos hiperespectrales para arqueología. En nuestro caso, los cuatro primeros PC han permitido detectar y extraer una alineación que presenta en un punto de inflexión del terreno un giro brusco en dirección SW, pudiéndose corresponder con algún tipo de estructura enterrada, muro de fortificación u otra.



**Figura 4.-** Combinación de color rgb PC4,PC3 y PC2 superpuesta a ortofoto aérea.

Se ha generado un par interferométrico a partir de las imágenes ASAR de 2004 y 2006, obteniéndose una baja coherencia. En la actualidad los datos SAR están siendo analizados e integrados en un SIG, junto con el resto de capas de información generadas, con el objetivo de explorar las capacidades para su interconexión con posibles caminos en la ruta entre las ciudades celtibéricas de Segeda y Numancia.

## CONCLUSIONES

El trabajo presentado supone una revisión de las sucesivas aproximaciones en la aplicación de técnicas y metodologías de teledetección activa y pasiva que se vienen realizando en el yacimiento arqueológico de la ciudad celtibera de Segeda. Se ha iniciado el análisis focalizado en el estudio de la correlación espacial-térmica entre las superficies y materiales que han aflorado en las distintas fases de excavación. Para ello se ha generado ficheros multifuente, resultando crítico para el análisis posterior de los datos el corrección espacial preciso entre las distintas capas de información.

El análisis de componentes principales realizado ha permitido corroborar alineamientos y anomalías indicativos de posibles restos arqueológicos enterrados. La integración de estos resultados ha permitido establecer relaciones entre puntos de inflexión del terreno y variabilidad térmica.

## BIBLIOGRAFÍA

Belvedere, O., Burgio, A., Ciraolo, G., La Loggia G., Maltese, 2001. Hyperspectral MIVIS data analyses for archaeological applications. *Fifth*

*International Airborne Remote Sensing conference and Exhibition*, San Francisco, 17-20 Sept. 2001.

Burillo Mozota, F., 2006, "Segeda and Rome. The historical development of a Celtiberian city-state", en L. Abad; S. Ramallo & S. Keay (eds.), *Early Roman Town in Hispania Tarraconensis. Journal of Roman Archaeology. Supplementary Sereis Number 62*, Portsmouth Rhode Island, pp. 159-170.

Emmolo, D., Franco, V., Lo Brutto, M., Orlando P. and Villa, B., 2004. Hyperspectral Techniques and GIS for Archaeological Investigation. *Geo-Imagery Bridging Continents XXth ISPRS Congress*, 12-23 July 2004 Istanbul, Turkey Commission 7.

Farjas M., Rejas J.G., Gómez J. A., De Miguel E., Fernández-Renau A., 2003. "Airborne Multispectral Remote Sensing Application In Archaeological Areas". *CAA 2003, The E-way into the four Dimensions of Cultural Heritage*, Viena, Austria.

Rejas Ayuga, J. G., Burillo Mozota, F., López, R. y Farjas Abadía, M., 2006. "Hyperspectral remote sensing application in the celtiberian city of Segeda". *From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Rome (Italy) 4-7 December 2006, BAR S1568 2006.

Traviglia, Arianna, 2006. MIVIS Hyperspectral Sensor for Detection of Subsoil Archaeological Sites and Interpretation Support GIS: an Italian Case Study. *CAA 2006, Fargo, ND-USA*.

Weller, Errin T., 2006. Satellites, survey and settlement: the Late Classic Maya Utilization of Bajos (Seasonal Swamps) at Tikal and Yaxha, Guatemala. *From Space to Place, 2nd International Conference on Remote Sensing Archaeology*, Rome (Italy) 4-7 December 2006, BAR S1568 2006.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Área de Teledetección del INTA por facilitar los datos térmicos e hiperespectrales necesarios para realizar este trabajo.

Este trabajo se desarrolla dentro del proyecto I+D: HAR2008-04118/HIST ("Segeda y Celtiberia Septentrional: investigación científica, desarrollo rural sostenible y nuevas tecnologías"), financiado por el MEC y los fondos FEDER.