

# Escaneado en 3D de las Galerías de las Huellas

## (Ojo Guareña, Merindad de Sotoscueva, Burgos)

Ana Isabel Ortega Martínez <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

Francisco Ruiz García <sup>(1)</sup>

Alfonso Benito Calvo <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

Miguel Ángel Martín Merino <sup>(1)</sup>

Theodoros Karampaglidis <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>

Isidoro Campaña Lozano <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>G.E. Edelweiss

<sup>(2)</sup>Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH)

**E**n 2012 se utilizó un escáner láser 3D en las Galerías de las Huellas para conocer con precisión la morfología y distribución de las centenas de improntas humanas de pies descalzos que se distribuyen en torno a ambas galerías. Cuando se finalicen las tareas de identificación y restitución se podrá conocer con detalle la identificación de las huellas, el número de rastros, el itinerario efectuado, así como las características físicas (altura y complejidad) de los individuos que las realizaron.

### Introducción

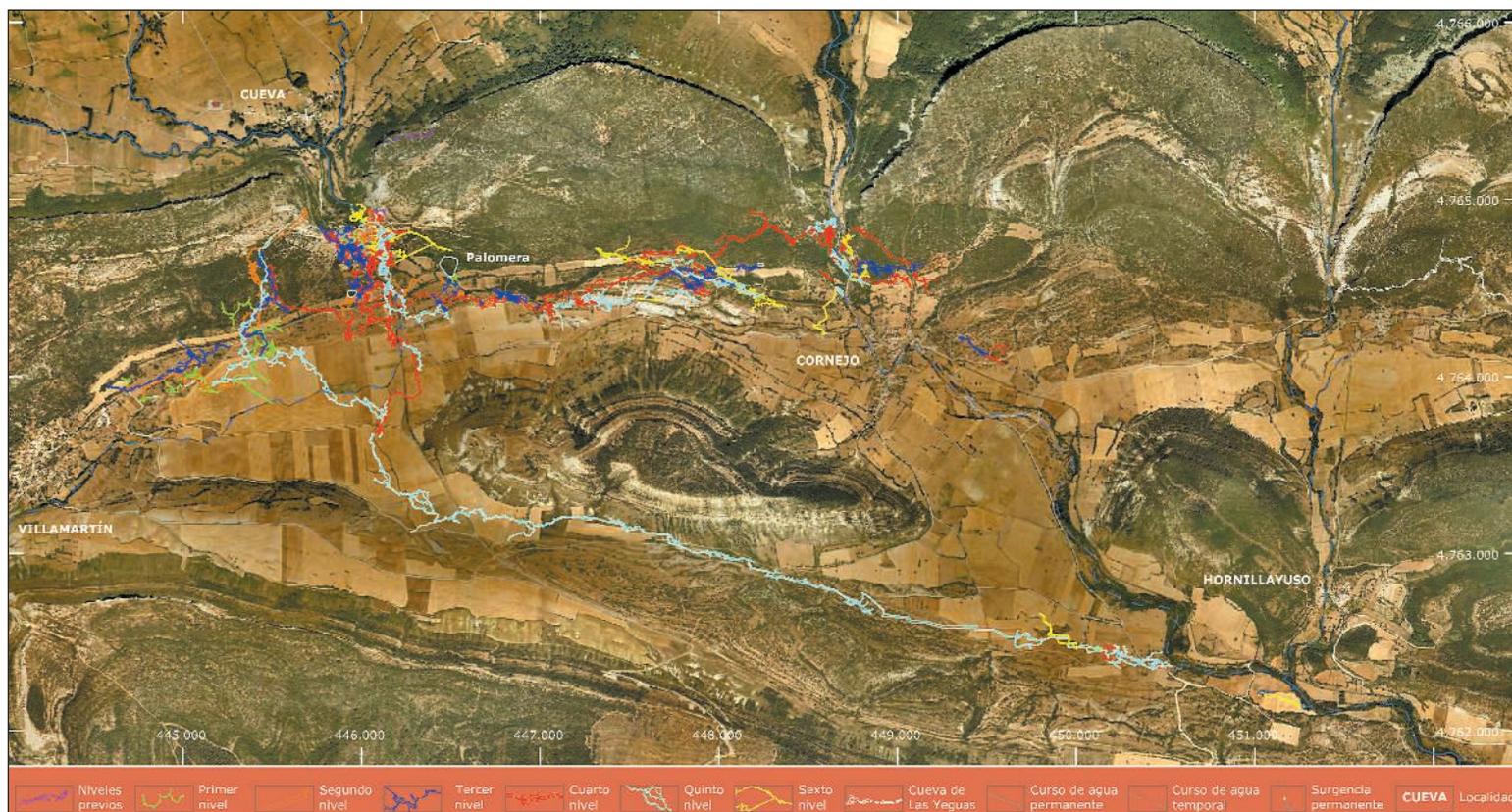
El Complejo Kárstico de Ojo Guareña se localiza al Norte de la provincia de Burgos, en la Comarca de las Merindades, dentro del término municipal de la Merindad de Sotoscueva. Su red principal de cavidades, formada por el enlace de 14 entradas, cuenta con 110 kilómetros de conductos topografiados que se distribuyen en seis niveles superpuestos. En Ojo Guareña se localizan numerosos yacimientos arqueológicos que van desde el Paleolítico medio hasta la Edad Media. Uno de los más significativos, descubierto en 1969 por el Grupo Espeleológico Edelweiss, es el de las Galerías de las Huellas, en cuyo suelo de arenas y limos se conservan centenares de

improntas humanas de pies descalzos de un grupo humano que realizó un recorrido de ida y vuelta por este sector de la cavidad.

### Contexto geológico y geomorfológico

Entre la gran estructura tectónica monoclinial del Norte de Burgos, con buzamiento hacia el Sur, y la otra sinclinal en torno al eje de Villarcayo-Valle de Tobalina, se localiza la zona plegada del río Trema, relacionada con la red de fracturas radiales propiciadas por el Diapiro de Gayangos-Salinas de Rosío. En menos de un kilómetro se suceden el Sinclinal de La Mesa, la Falla de Villamartín y el Anticlinal de Retuerta, cuyos ejes discurren paralelos en dirección ONO-ESE (Eraso, 1965; Del Olmo *et al.*, 1978).

En torno al citado eje sinclinal se ha instalado un acuífero kárstico en las calizas coniacienses en las que se ha desarrollado una extensa red de conductos favorecida por la circulación de las aguas subterráneas. En el flanco norte del sinclinal se localizan la mayoría de los conductos conocidos, así como la zona de alimentación, mientras que la zona de descarga, que parece haber evolucionado con posterioridad, se localiza en el flanco sur. Aparte de la infiltración directa, este acuífero se alimenta preferentemente por todas las aguas precipitadas



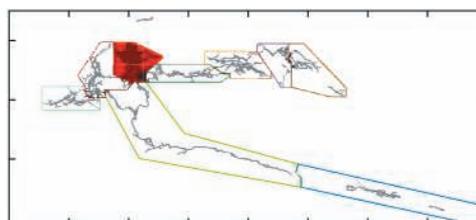
en la vertiente sur de los Montes del Somo que, debido a su naturaleza silíceea, discurren hasta el Valle de Sotoscueva donde se topan con la barrera formada por la cuesta calcárea coniaciense. La solubilidad y fisuración de las calizas ha facilitado que la mayor parte de esas aguas alimente el citado acuífero kárstico y haya generado un enrejado tridimensional en paralelo al encajamiento de la red hidrográfica externa, formada por afluentes tributarios del Ebro (Eraso, 1965; G. E. Edelweiss, 1986; Ortega *et al.*, 2013).

### Geomorfología de las Galerías de las Huellas

Las Galerías de las Huellas se localizan en tercer nivel del Dédalo Oeste, el sector más laberíntico de Ojo Guareña, situado en la prolongación subterránea del valle ciego del Circo de San Bernabé. Para llegar a ellas, en la actualidad hay que acceder desde Cueva Palomera y remontar 1.250m de conductos hacia el Guareña (NO), de los que el último tramo tiene cierta dificultad. Pero el acceso original a las galerías de este nivel se localizaría en el propio Circo de San Bernabé o valle ciego del Guareña, a una cota ligeramente más baja que las

bocas de entrada a la Cueva de San Tirso y de San Bernabé. En su origen estos primitivos accesos actuaron como sumideros del Guareña, puntos de recarga del karst. La incisión del Guareña y el posterior retroceso y colapso de la ladera han propiciado su desaparición. Por ese motivo, todo el borde septentrional de la Sala GEBU, Sala de las Huellas y Galería del Humo se ve afectado por gigantescos colapsos de paredes y bóvedas que enmascaran su topografía original. Desde la Sala de las Huellas parten hacia el Sur dos amplios conductos, las Galerías de las Huellas, que canalizaban las aguas subterráneas hacia el acuífero kárstico.

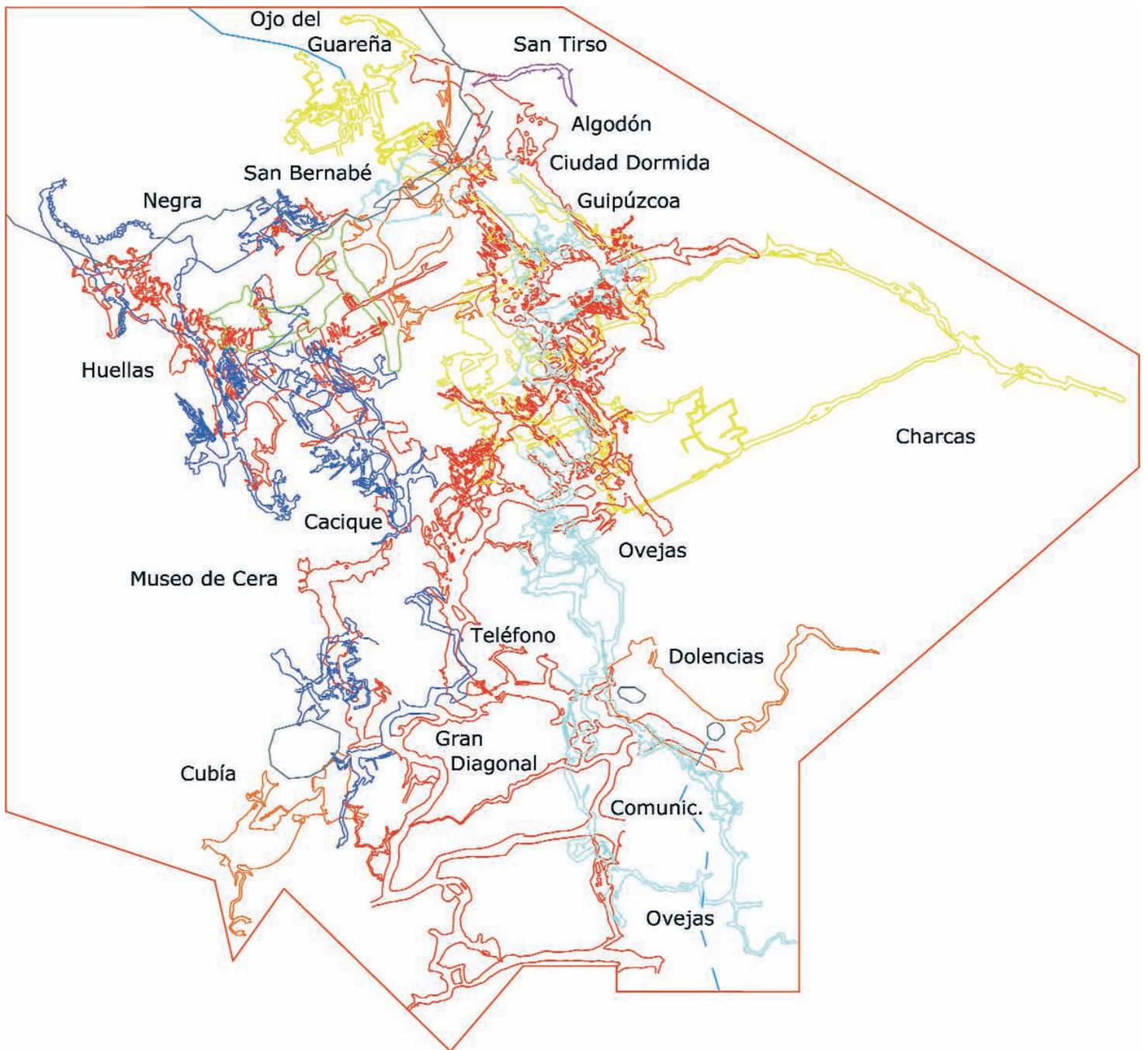
El conducto más oriental de las Galerías de las Huellas finaliza en un colapso, sellado por un tapón estalagmítico, e identificado topográficamente en el final de una de las galerías del nivel intermedio de



### Topografía del Complejo Kárstico de Ojo Guareña superpuesta sobre la ortofoto del PNOA del IGN.

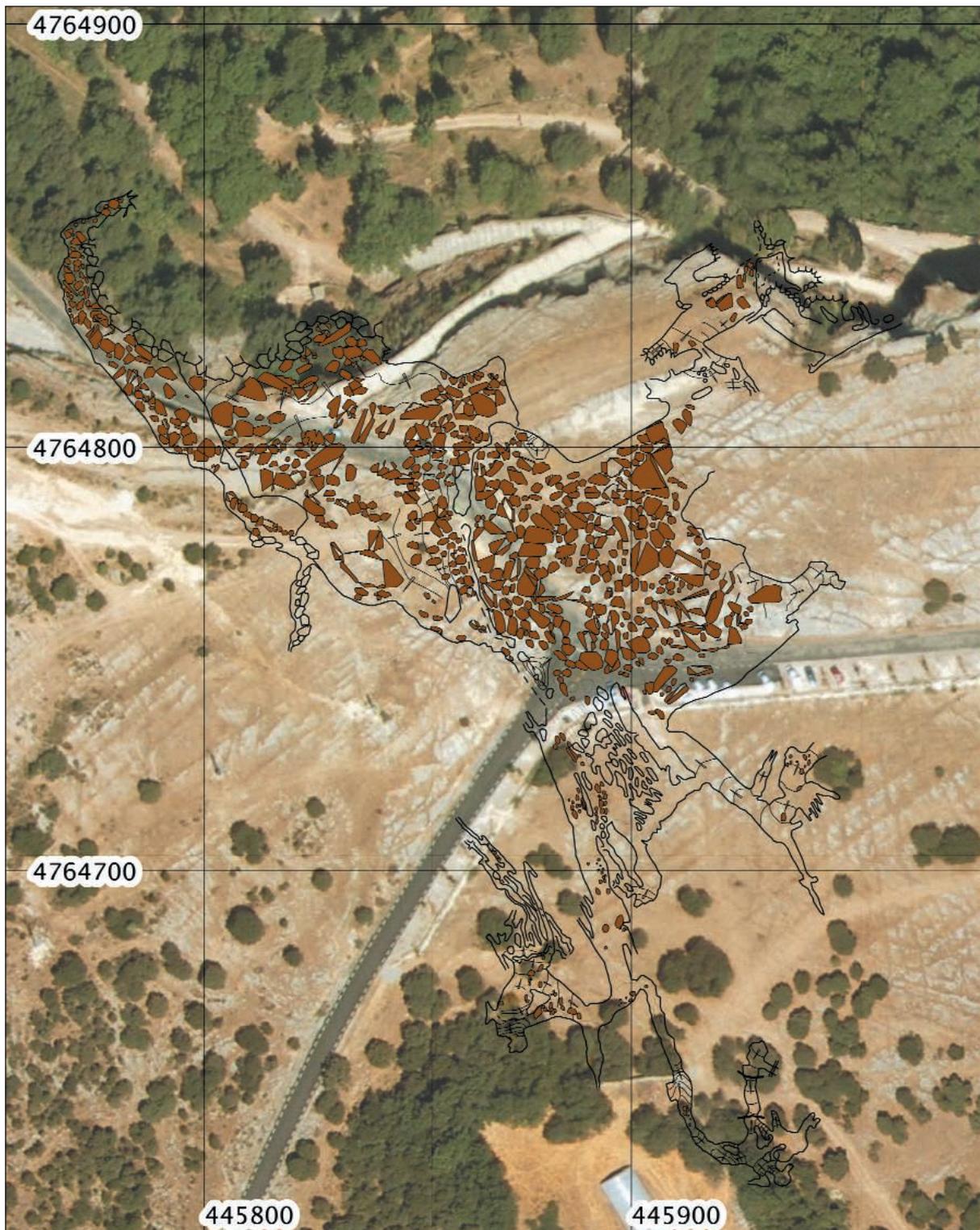
(Topografía G. E. Edelweiss, montaje F. Ruiz y A. I. Ortega)

Ubicación del Dédalo Oeste en el conjunto de Ojo Guareña



**Detalle del Sector Dédalo Oeste de Ojo Guareña. En azul oscuro, entre otros conductos, el tercer nivel con la Sala y Galerías de las Huellas.**

Topografía G. E. Edelweiss,  
Digitalización F. Ruiz y A. I. Ortega

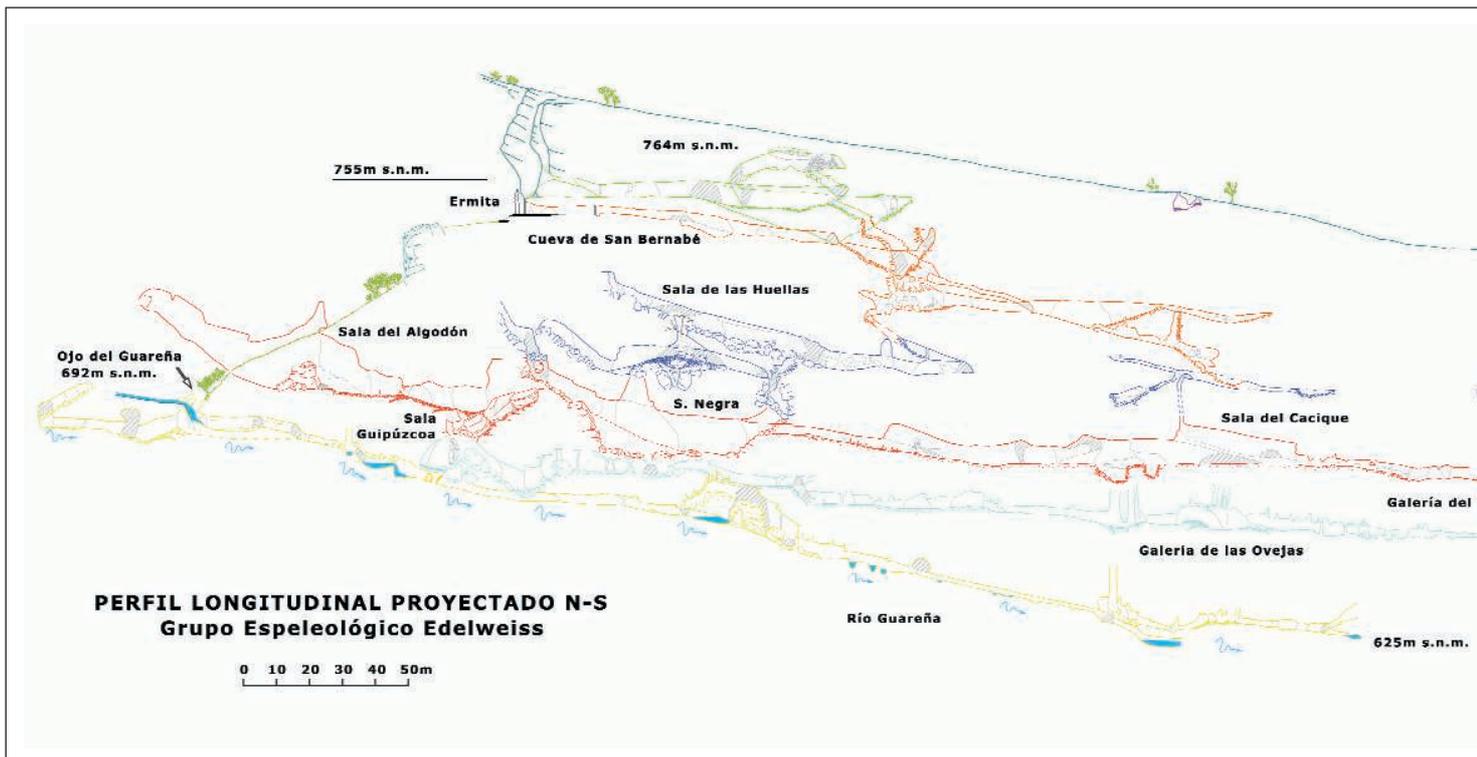


**La Sala G.E.BU., Galería del Humo, Sala y Galerías de las Huellas superpuestas sobre la ortofoto del PNOA del IGN.**

**Desde la Sala de las Huellas parten en paralelo, hacia el Sur, las Galerías de las Huellas**

Topografía G. E. Edelweiss

Montaje F. Ruiz



**Perfil longitudinal proyectado, sobre el eje N-S, de las principales galerías del Dédalo Oeste. Las correspondientes al tercer nivel se han representado en azul oscuro, entre ellas la Sala y Galería de las Huellas I (oriental), en la que se aprecia el tapón que la relaciona con la Cueva de San Bernabé, que inicialmente se creyó que era el acceso utilizado por el hombre prehistórico.**

(Topografía G. E. Edelweiss, 1986, modificado A. I. Ortega y F. Ruiz)

la Cueva de San Bernabé, correspondiente al segundo nivel de Ojo Guareña, confirmando la correspondencia entre ambos lados del colapso mediante la comunicación acústica, nítidamente registrada en 1981 (Ortega y Martín, 1986).

La más occidental de las Galerías de las Huellas finaliza en otro potente espeleotema de aspecto más viejo, que también parece relacionarse altimétricamente con un nivel superior, y tiene continuidad en potentes costras pavimentarias que antiguas reactivaciones hidrológicas dejaron colgadas sobre el piso actual, al reexcavar los sedimentos basales sobre los que se depositaron.

Tras aquellas pretéritas reactivaciones, las aguas siguieron su curso por un nivel inferior, el cuarto y principal de Ojo Guareña, mientras que sólo las grandes avenidas anegarían de nuevo las Galerías de las Huellas depositando sobre su piso arenas, limos y arcillas, un sedimento bastante plástico que mucho tiempo después facilitaría la formación y preservación de las improntas de pies descalzos que un grupo de hombres dejaron durante la exploración de la cavidad. Estos sedimentos presentan textura franca y composición mayoritaria de calcita, cuarzo, feldspatos y, en menor medida, filosilicatos. Se encuentran recubiertos localmente por espeleotemas y, en algunos

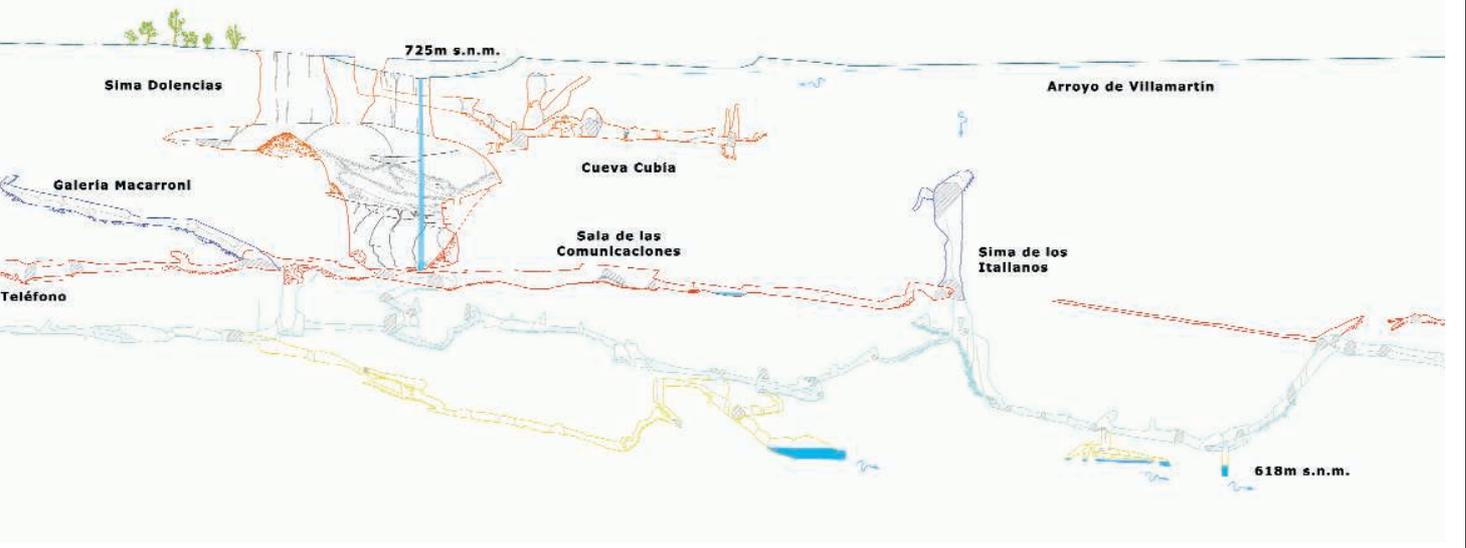
puntos, incididos por pequeños canales originados por la circulación de las aguas de infiltración.

### Las improntas humanas de pies descalzos

Desde el descubrimiento de las improntas en 1969 (Uribarri, 1969; Rubio, 2001) y durante bastantes años pensábamos que el acceso original de estos exploradores había tenido lugar desde la propia Cueva de San Bernabé, a través del conducto colapsado identificado más arriba y de forma previa a su sellado por la colada estalagmítica (Ortega y Martín, 1986). No obstante, la gran antigüedad que deparó su datación por Rainer Grün (175.000 años, Adolfo Eraso *com. pers.*) nos hizo plantear otras posibilidades y constatar, con la ayuda de un teleobjetivo, que las superposiciones de las improntas indicaban que, en ambas galerías, se había entrado y salido desde la Sala de las Huellas, entre cuyos bloques también se habían advertido en 1969 improntas humanas, aunque en bastante peor estado de conservación. Esto se pudo confirmar posteriormente, en 2000, con los pares estereoscópicos y anaglifos realizados por nuestro compañero Juan Sebastián Galaz, así como con el escaneado en 3D que ahora referenciamos.

El hecho es que, en la actualidad, a

## COMPLEJO KÁRSTICO DE OJO GUAREÑA Merindad de Sotoscueva, Burgos



pesar de la minuciosa revisión de la Sala de las Huellas, no hemos podido identificar ningún punto concreto relacionado con la posible boca de acceso. La gran inestabilidad de todos los conductos existentes bajo el talud del Circo de San Bernabé, probablemente haya ocasionado que a lo largo del tiempo se hayan sucedido los colapsos y corrimientos del terreno y, con ellos, las aperturas y cierres de diferentes bocas de entrada a las galerías de este sector que permitieron el acceso de los humanos y animales cuyas improntas se conservan en el piso de las galerías o de los zarpazos de úrsidos existentes en alguna de sus paredes.

En la Sala y Galerías de las Huellas se observan algunos pequeños fragmentos de carbones, presumiblemente correspondientes a las antorchas que utilizaron para alumbrarse, pero estos restos, así como también la presencia de tizonazos en sus paredes y bloques, son mucho más frecuentes en el suelo del nivel inferior, aunque la falta de dataciones no permite determinar la secuencia cronológica del tránsito o uso de este espacio. En diferentes laterales de la Galería del Cacique, pero especialmente en el acceso hacia el Laberinto Otilio los tizonazos y carbones son abundantes. Este nivel también se inicia bajo el talud del Circo de San Bernabé, en la Sala

Negra, que igualmente está sometida a violentos colapsos por el retroceso de ladera (Ortega, 2009; Ortega *et al.*, 2013).

Tras el hallazgo inicial y por indicación del Prof. Almagro, José Luis Uribarri envió un molde de escayola de dos huellas a André Leroi Gourhan, Director del Museo del Hombre de París, así como una muestra del sedimento para que sus especialistas, bajo la dirección de León Pales y Michel Alain García estudiaran su posible consolidación así como la realización de nuevos moldes. Además se le remitieron restos de madera carbonizada recogidos de la galería

**Detalle de las improntas de la Galería de las Huellas II**  
Foto M. A. Martín





**Galería de las Huellas I  
-oriental-**  
Foto M. A. Martín

inferior, bajo la vertical de una de las simas, que fueron interpretados como arrojados o caídos desde la Galería de las Huellas. Estos restos proporcionaron una datación de  $15.600 \pm 230$  BP sin calibrar (Delibrias *et al.*, 1974), aportando una adscripción al Paleolítico superior. Finalmente no pudieron llevar a cabo la fotogrametría prevista, bajo la dirección de Jean Vertut, ni tampoco se realizaron los nuevos moldes inicialmente planteados. En 1999, bajo la dirección de Juan Luis Arsuaga, recogimos otros dos fragmentos de madera carbonizada que proporcionaron una datación, sin calibrar, de  $3820 \pm 50$  BP (Arsuaga, *com. pers.*), implicando que también durante la Prehistoria reciente hubo acceso a estas galerías (Ortega *et al.*, 2013).

Las interpretaciones iniciales de este yacimiento, obtenidas a partir de su análisis

visual y fotográfico, indican que las improntas fueron dejadas por un grupo de entre 6 y 10 individuos, entre los que podría haber jóvenes debido al pequeño tamaño de algunas huellas, y que los rastros muestran un recorrido de ida y vuelta por ambas galerías (Ortega, 2009).

### **Metodología utilizada**

La complejidad y fragilidad de algunos conjuntos arqueológicos, como el yacimiento que nos ocupa, improntas de pies descalzos sobre la arcilla blanda, constituye una dificultad añadida a los trabajos de documentación arqueológica. La incorporación de métodos digitales, entre los que se encuentra la aplicación de la tecnología del Escáner Láser 3D, está siendo una buena solución para la documentación arqueológica. Con el escaneo láser 3D se adquiere un



gran número de puntos precisos del espacio tridimensional que representa la superficie de yacimiento, y constituye una herramienta eficaz de recogida de datos para crear un modelo digital de elevación del terreno (Doneus y Neubauer, 2005).

En 2012 se realizó el levantamiento tridimensional de las Galerías de las Huellas con un escáner láser 3D (ScanStation C10 de Leica). Este escáner presenta una tecnología de tiempo de vuelo, con un alcance máximo de 300m, una precisión de 4mm y resoluciones inferiores al milímetro.

El escáner fue transportado en una mochila reforzada hasta las Galerías de las Huellas, situadas a 1.250m en el interior de la Cueva Palomera. El posicionamiento se realizó sobre un trípode en las zonas laterales al yacimiento, desde donde se realizaron los escaneados a alta resolución (5mm

a los 10m). En total se han realizado 7 escaneados en la Galería I (oriental) y 10 en la Galería II (occidental).

En el postprocesado de los datos, las nubes de puntos obtenidas de los diferentes posicionamientos del escáner fueron unidas en un sistema de referencia común utilizando dianas de referencia. El error medio absoluto del proceso de unión o registro se situó en 1mm. De este modo, las nubes de puntos finales alcanzaron resoluciones medias de 3mm en la Galería I y de 4mm en la Galería II. El conjunto de nubes de puntos puede ser visualizado con Leica Cyclone software.

El siguiente paso fue aislar y exportar los puntos correspondientes a la superficie de las Galerías a formato SIG utilizando el programa System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA v2.0.8). En este siste-

**Improntas humanas de pies descalzos de la Galería de las Huellas II -occidental-**

Foto M. A. Martín



sencia de las huellas y favorecer su diferenciación y cartografía, también se elaboraron modelos derivados (pendientes, orientación, curvatura, sombreado, rugosidad, etc.). Entre ellos, uno de los modelos donde la diferenciación de las improntas se realiza con mayor nitidez corresponde al modelo de rugosidad TRI. Este modelo fue elaborado según la metodología propuesta por Riley *et al.* (1999), donde la rugosidad es calculada mediante la diferencia de altura entre el valor de una celda y el valor medio de las ocho celdas circundantes. Este modelo destaca las irregularidades del terreno (colores blancos), respecto a las zonas más suaves (colores oscuros), permitiendo diferenciar, tanto la depresión de las huellas como su morfología interna (dedos, talones, etc.) en las huellas mejor conservadas (Benito *et al.*, 2013).

Este trabajo, con la aplicación de programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), está permitiendo obtener un soporte cartográfico de gran calidad con el que se podrá estudiar con detalle el recorrido y las características del grupo de humanos que se adentró en el Complejo Kárstico de Ojo Guareña.

### Conclusión

La aplicación de escáneres láser 3D permite realizar réplicas tridimensionales de los hallazgos arqueológicos con gran precisión y detalle, sin necesidad de invasiones agresivas, con un coste económico y temporal adecuado. En nuestro caso la utilización de esta nueva tecnología ha representado una inestimable ayuda al facilitar la documentación de la superficie del yacimiento y de las huellas humanas que, de otra forma, era prácticamente imposible sin poner en peligro su conservación, posibilitando el desarrollo de la investigación.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los miembros del Grupo Espeleológico Edelweiss de la Diputación Provincial de Burgos el descubrimiento, conservación y colaboración en todos los trabajos realizados en las Galerías de las Huellas, así como la autorización y el apoyo del Servicio Territorial de Cultura y del Servicio de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León. A Javier Ruiz Molinero por su colaboración durante los escaneados, limpieza y registro de las nubes de puntos, gracias a una ayuda del Programa Jóvenes Excelentes de la Obra

**Equipo que se encargó del escaneado de las Galerías de las Huellas posicionando el escáner láser en el camino balizado junto a la pared**

Foto M. A. Martín (Superior)

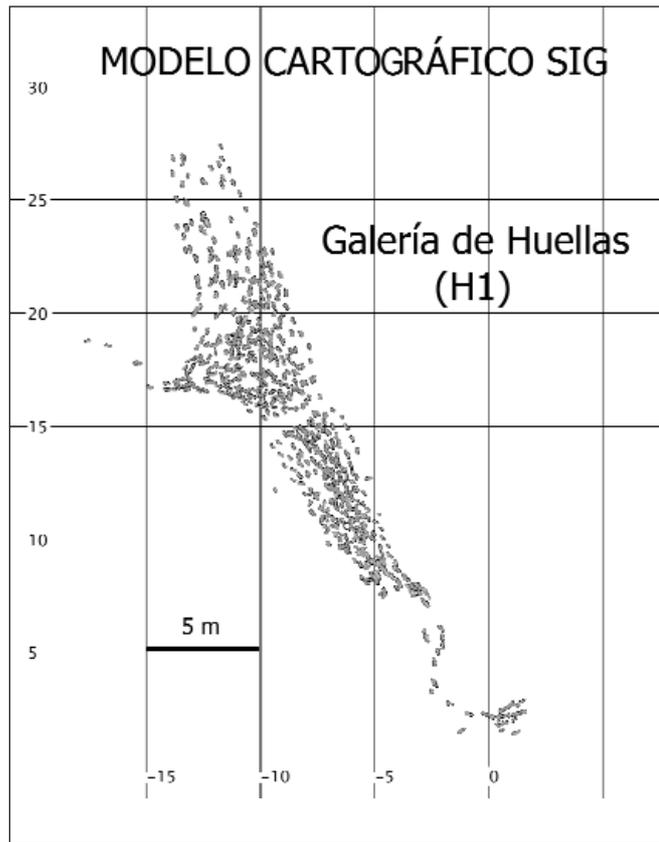
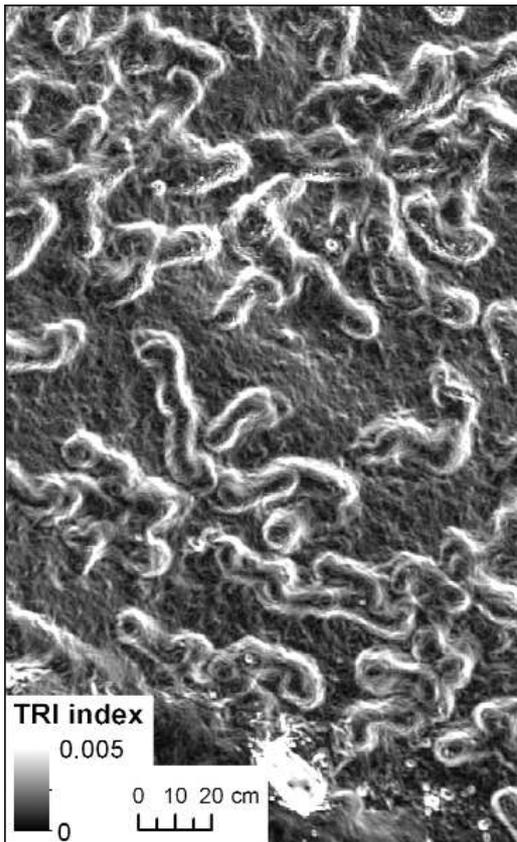
**El escáner en funcionamiento, con las 3 dianas que posibilitan el enlace entre los diferentes posicionamientos.**

Foto F. Ruiz (Inferior)

ma se generaron sendos Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), rellenando los huecos entre puntos mediante un interpolador de tipo *spline* (umbral de tensión 0,5). Los MDE resultantes se generaron con un tamaño de celda de 3mm (Benito *et al.*, 2013). Con este paso se obtiene la capacidad de almacenar, visualizar y analizar la información gráfica en combinación con información descriptiva, representando una herramienta útil para la visualización, individualización y el análisis de los rastros y huellas presentes en las Galerías de la Huellas.

### Resultados previos

Los MDE obtenidos recogen la variabilidad topográfica del suelo de las galerías con la suficiente resolución para realizar análisis detallados de la forma y la distribución de las huellas. Para enfatizar la pre-



Social de Caja de Burgos. A Pablo Merino Alonso, Álvaro Aparicio Blanco, Bruno Santidrián Manzanedo y a su tutor Ignacio Renes, su colaboración en la cartografía preliminar de las improntas a través del programa educativo GAREX-TALENTIA del Colegio Maristas Liceo Castilla de Burgos.

### Bibliografía

Benito, A.; Ortega, A. I.; Ruiz, F.; Karampaglidis, T.; Campaña, I.; Martín, M. A. (2013): Aplicación de escáneres láser 3D y técnicas GIS para la reconstrucción y análisis de yacimientos arqueológicos: las Galerías de las Huellas (Complejo Kárstico de Ojo Guareña, Burgos), *VIII Reunión de Cuaternario Ibérico, La Rinconada-Sevilla*, 219-221.

Del Olmo, P.; Ramírez del Pozo, J.; Aguilar, M. J.; Portero, J. M.; Olivé, A. (1978): *Mapa Geológico de España e. 1:50.000. Hoja 84 (19-06), Espinosa de los Monteros. Serie Magna. I.G.M.E.*

Delibrias, G.; Guillier, M.; Labeyrie, J. (1974): Gif natural radiocarbon measurements VIII, *Radiocarbon*, 16, 15-94.

Doneus, M. y Neubauer, W. (2005): 3D Laser Scanners on Archaeological Excavations, *CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September-01 October 2005, Tori-*

*no. Italy.*

Eraso, A. (1965): Introducción al estudio del karst de Ojo Guareña, *Geo y Bio Karst*, 5-6, 31 pp.

G. E. Edelweiss (1986): Monografía sobre Ojo Guareña, *Kaite*, 4-5, 415 pp. más atlas cartográfico.

Ortega, A. I. (2009): Tras las Huellas de Ojo Guareña, *Pyrenaica*, 235: 364-367.

Ortega, A. I.; Martín, M. A. (1986): La Arqueología del Karst de Ojo Guareña, en G. E. Edelweiss (ed.): Monografía sobre Ojo Guareña, *Kaite*, 4-5, 331-389.

Ortega, A. I.; Martín M. A. y G. E. Edelweiss (2013): *Cuevas de Ojo Guareña. Una visión de la mano del Grupo Espeleológico Edelweiss*, 311 pp.

Riley, S. J. De Gloria, S. D.; Elliot, S. D. (1999): A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity, *International Journal of Science*, 5, 23-27.

Rubio, E. (2001): El descubrimiento de las huellas prehistóricas. Ojo Guareña, *Cubía*, 3, 34-35

Uribarri, J. L. (1969): Las pinturas rupestres en Ojo Guareña. Burgos, *Abhandlungen n° 5*, separata 9, Stuttgart.

**Modelo de rugosidad TRI obtenido tras el escaneado de las Galerías de las Huellas**  
(imagen superior izquierda)

**Modelo cartográfico SIG obtenido tras el escaneado de las Galerías de las Huellas**  
(imagen superior derecha)