

Analizando el paisaje urbano de *Contributa Iulia* (Los Cercos, Medina de las Torres, Badajoz), a partir de fotografía aérea de baja altitud

*Pedro Ortiz**, *Victorino Mayoral**, *Pedro Mateos**, *José Ángel Martínez**, *Antonio Pizzo**,
*Raquel Licerás** y *Pau de Soto**

Resumen:

En esta contribución se describe el proceso de captura y análisis de fotografías aéreas tomadas a baja altitud en el entorno de *Contributa Iulia*. El trabajo de campo ha permitido la obtención de un importante caudal de datos (*crop-marks*) acerca de la forma y distribución del entramado urbano de la ciudad y su entorno. Esto plantea la oportunidad de optimizar la explotación de dicha información, en dos frentes de trabajo estrechamente relacionados. En primer lugar, se han producido modelos digitales de superficie y ortoimágenes, que han servido para generar una cartografía de los principales indicios arqueológicos visibles. En segundo lugar se han expandido las posibilidades de identificación de estructuras enterradas. Se muestra la integración de todos estos resultados en un entorno de trabajo SIG que facilitará el desarrollo de ulteriores tareas como la prospección superficial y geofísica. Finalmente se ofrecen unas valoraciones sobre el potencial científico de este tipo de información.

Abstract:

In this paper we describe the process of capture and analysis of low altitude aerial images of the site of *Contributa Iulia*. Specific conditions when these images were taken has led to obtaining a significant amount of data (mainly *crop-marks*) on the shape and internal structure of the layout of the Roman city and its surroundings. We will explain our strategy to optimize the exploitation of these data in two main lines. First, we have produced several digital surface models and orthoimages that will allow mapping of the visible archaeological marks. Second, we have expanded the possibilities of identifying buried remains. We will show how these results are integrated in a GIS environment, providing selective criteria for the development of geophysical and surface survey. Finally we will raise some questions about the scientific potential of aerial images in our study area.

* Instituto de Arqueología de Mérida



INTRODUCCIÓN

Los trabajos arqueológicos llevados a cabo por el Instituto de Arqueología de Mérida en el yacimiento de *Contributa Iulia Ugultunia* se iniciaron en 2007 con el desarrollo de las primeras prospecciones geofísicas en el solar conocido como “Los Cercos”, adquirido por el Ayuntamiento de Medina de las Torres (Badajoz) para su documentación e investigación. El interés por este yacimiento se remonta al s. XIX, momento en el que J.A. Barrientos dirige los primeros trabajos arqueológicos realizados en el lugar para determinar la funcionalidad de los restos existentes y su posible vinculación con la antigua ciudad romana. Las excavaciones no lograron definir de manera evidente el carácter de los restos, pero supusieron la aparición de numerosas estructuras, togados y columnas que aumentaron el interés por el yacimiento.

Los primeros trabajos de prospección citados definieron la gran potencialidad arqueológica del solar de Los Cercos, marcando el inicio de un proyecto interdisciplinar de documentación, análisis e investigación por parte del Instituto de Arqueología que a lo largo de los últimos años ha desarrollado una gran actividad vinculada al yacimiento. Los datos obtenidos en las excavaciones arqueológicas desarrolladas en el interior del perímetro urbano han hecho posible definir dos áreas importantes de la ciudad. En primer lugar, el área pública forense, localizada en la cima del cerro, en la que se han documentado los principales edificios que componían el foro de la ciudad y sus diferentes etapas históricas; por otro, la puerta de acceso a la ciudad en el sector occidental del perímetro, y que ha permitido conocer las características y recorrido de un

gran tramo de la cerca muraria, una manzana en la que se construyó un edificio con un probable uso comercial, y un decumanus que, partiendo de la puerta de acceso une ambas zonas desde la muralla al propio área forense.

La aplicación de diversas metodologías de prospección basadas, por ejemplo, en el uso de fotografías aéreas y la sucesiva interpretación de marcas en la vegetación mediante el análisis de fotografías ortorrectificadas ligadas a un plan global de prospecciones superficiales intensivas y otras prospecciones geofísicas (georradar, magnetometría, conductividad eléctrica aparente y resistividad), han hecho posible definir una primera hipótesis de estructuración urbanística y evolución histórica del territorio circundante (Fig. 1).

Todas estas experiencias han puesto de manifiesto que como caso de estudio, esta zona arqueológica se ha mostrado idónea para evaluar el potencial de la aplicación de técnicas no destructivas en Arqueología, y de la fotografía aérea en particular. Varios factores contribuyen a ello. En primer lugar, se trata de un enclave que no ha sido ocupado tras el abandono de la ciudad romana, lo que supone que ninguna construcción posterior interfiere en la lectura de los vestigios. En segundo lugar, el terreno ha permanecido muy estable, con un aprovechamiento de dehesa, hasta el siglo XIX, de manera que no se han producido grandes alteraciones en la topografía original del solar urbano. Finalmente, la dedicación actual de los terrenos al cultivo de cereal ha asegurado la exposición superficial de los vestigios enterrados, creando además unas condiciones óptimas para la generación de indicios visibles desde el aire. En el presente trabajo se expone el proceso de documentación y análisis de estos últimos.

Esta labor se integra en la actividad “Revalorización de zonas arqueológicas mediante el empleo de técnicas no destructivas”, la cual forma parte del proyecto Red de Investigación Transfronteriza de Extremadura, Centro y Alentejo (Fase II) financiado por la Unión Europea. El objetivo general de esta iniciativa es potenciar el uso de métodos de registro no invasivos para obtener información

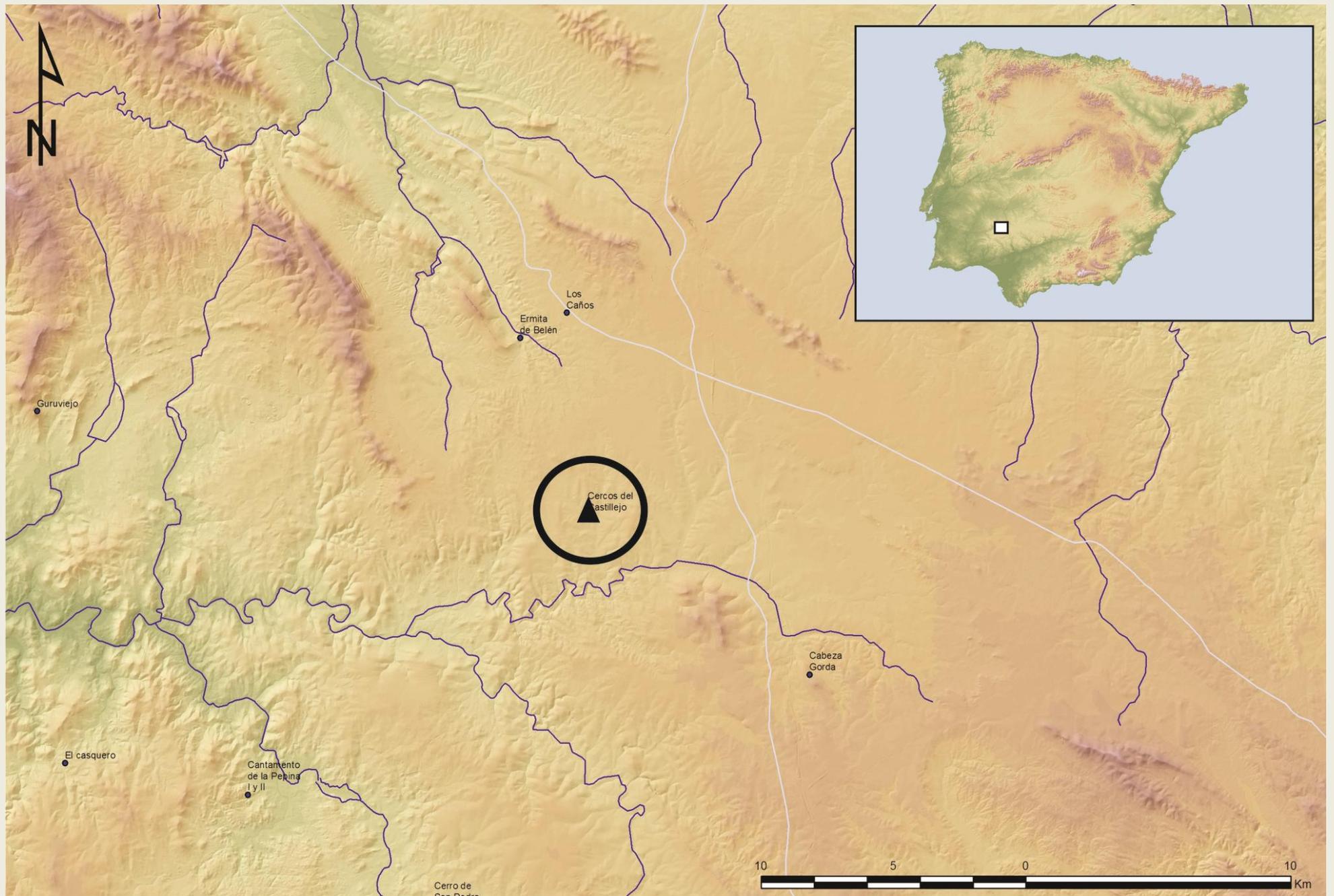


Fig. 1.— Localización de la zona arqueológica de Los Cercos (Medina de las Torres, Badajoz).

amplia y de la mayor calidad posible sobre la organización interna de los sitios arqueológicos, de manera que dicho conocimiento permita apoyar no sólo la investigación sino también la difusión y presentación al público.

1. METODOLOGÍA

1.1. Fundamentos

La arqueología aérea ha acuñado el concepto de “*crop-mark*” como uno de los medios más habituales por el que los elementos arqueológicos del subsuelo pueden hacerse visibles en superficie. Este fenómeno está descrito en obras de referencia de la arqueología aérea (Wilson 2000) así como en estudios más específicos (Edis *et al.* 1989; Riley 1979; 1983; Jones y Evans 1975). Más recientemente la detección de este tipo de indicios se ha expandido con el uso de sensores multiespectrales, tanto desde plataformas satelitales (Lasaponara y Massini 2007) como desde plataformas aéreas no tripuladas (Verhoeven 2012). Como es sabido, estas marcas se producen debido al crecimiento diferencial de la vegetación. Cuando esta brota sobre los restos arqueológicos, sufre un estrés hídrico provocado por la menor disponibilidad de suelo y humedad. Cuando, al contrario, en el terreno existen depósitos más ricos en materia orgánica o suelos más profundos, lógicamente la planta se desarrolla mejor. Esta respuesta diferencial de las plantas se traduce en variaciones de altura y color, que habitualmente sólo son perceptibles con claridad desde el aire. Los cultivos cerealísticos son especialmente adecuados para producir esta clase de marcas, siendo el período del año óptimo para su registro el final de la primavera, cuando las plantas están completando su proceso de maduración y se aprecia un mayor contraste entre los diferentes grados de desarrollo (Fig. 2).

Centrándonos en el caso que aquí nos ocupa, hay dos factores que convertían *a priori* a la zona arqueológica de Los Cercos en un lugar de alto potencial para la detección de *crop-marks*. Por un lado se ha de considerar la escasa profundidad

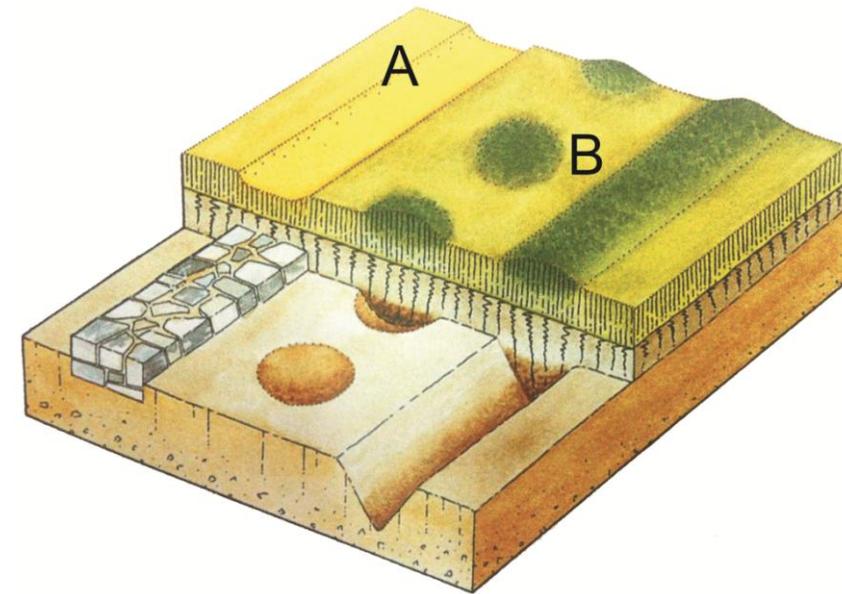


Fig. 2.— Principales tipos de *crop-marks* y fenómenos que las producen (s. Musson 2005)

a la que afloran la gran mayoría de las estructuras de la ciudad, debida al intenso proceso de desmonte generado por la puesta en cultivo de los terrenos (Fig 3). De este modo, es frecuente que allí por donde discurren los muros y otras estructuras, el cereal apenas encuentra suelo sobre el que crecer. Esto acentúa aún más el contraste en la altura de las plantas. En segundo lugar, como ya hemos indicado, la totalidad de la zona arqueológica está actualmente cubierta de campos dedicados al cultivo del cereal, de manera que presenta una superficie continua y homogénea, en la que es fácil identificar con claridad cualquier anomalía atribuible a la existencia de estructuras enterradas.

1.2. La captura de las imágenes

Buscando las condiciones óptimas para la identificación de *crop-marks*, se planteó la realización de una campaña de fotografía aérea desde paramotor a finales de la primavera de 2012 (8 de mayo). Se eligieron además las primeras horas de luz del día, para aprovechar al máximo el realce de las diferencias de crecimiento con una iluminación oblicua. Las imágenes fueron tomadas con una cámara réflex digital (*Nikon D90*) a máxima resolución y en formato *RAW*, combinando tomas oblicuas y cenitales y procurando la mayor cobertura posible desde todos los ángulos.

Como puede apreciarse en las figuras 4 y 5, el resultado fue sumamente positivo, constatándose la abundancia y diversidad de marcas a través de toda la zona arqueológica. Las imágenes han revelado una enorme riqueza de datos cuya existencia se ignoraba previamente. Nos van a proporcionar un valioso material para un detallado análisis del paisaje urbano de *Contributa* y su entorno inmediato, aunque ello requerirá de un pausado proceso de interpretación y la valoración de otras fuentes de información. En cualquier caso las tomas oblicuas, pese a su calidad y nitidez, lógicamente contienen deformaciones y carecen de referencias espaciales, lo cual dificulta la apreciación de las dimensiones reales de las posibles estructuras, así como su posición exacta. Por este motivo se



Fig. 3.— En muchos puntos de la ciudad romana las estructuras se encuentran muy cerca de la superficie



Fig. 4. — Vista aérea del área urbana de Contributa Iulia desde el Este. Las crop marks permiten apreciar la muralla, los ejes viarios y algunas edificaciones



Fig. 5. — Imagen aérea oblicua de la zona arqueológica de los Cercos. Se aprecian crop-marks del entramado urbano, la muralla y algunas construcciones extramuros.

planteó la necesidad de un procesamiento digital de las fotografías, orientado a extraer la mayor cantidad de información que fuera posible para entender este sitio arqueológico.

1.3. La restitución fotogramétrica

Como es bien sabido, la fotogrametría trata de obtener información de carácter métrico y radiométrico a partir de las imágenes. En los últimos años esta técnica ha evolucionado de forma exponencial gracias, de forma muy especial, al desarrollo de los descriptores y detectores de puntos homólogos de forma automática, así como a la evolución en la resolución de los sensores, además de otros factores computacionales. Estos avances han facilitado y automatizado procesos dentro del esquema principal de la técnica. La fotogrametría que nos ocupa se puede describir como aérea de baja altura con asistencia de cámaras comerciales Reflex o análogas.

Los avances principales que el Instituto de Arqueología de Mérida ha integrado dentro de su proceso fotogramétrico se pueden definir en 4 puntos (Ortiz 2010):

- 1) La calibración se ha automatizado gracias a la utilización de puntos de control de forma automática entre las distintas imágenes. El proceso para la consecución de los parámetros internos de la cámara es iterativo y parte de valores extraídos de los metadatos de la imagen.
- 2) La orientación externa se ha automatizado de la misma forma que se realiza el proceso de calibración, esto es, a partir de la identificación automática de puntos homólogos y el ajuste de haces de forma iterativa, junto con la calibración, hasta que el error se minimice por debajo de la tolerancia estimada.
- 3) Cada nube de puntos extraída contiene un color de una imagen denominada principal, que aventaja a otros métodos en la ausencia de mezcla en la textura, salvo que el usuario así lo prefiera, interrelacionando nube de puntos.

4) La resolución de dicha nube de puntos alcanza, con una cámara *Nikon D90*, los 9 millones de puntos con cuatro imágenes y la precisión se ha calculado en 0,94 mm x 10 m en condiciones óptimas.

La toma de imágenes, una vez expuesto el punto anterior, puede ser libre, siendo los ejes ópticos de la toma convergentes, paralelos o divergentes. Los principales condicionantes previos a la toma sería el mantenimiento de la focal en todas las imágenes así como un recubrimiento longitudinal de un 70-80% y de un transversal, en el caso de realizarse con un plan de vuelo, de un 10-15%. La distancia base, esto es, la distancia entre las cámaras en el momento de la toma, puede no respetarse en lo determinado tradicionalmente a cambio de comprometer la precisión.

El proceso fotogramétrico está basado en las fases tradicionales (Triggs 2000; Ortiz 2010) con la salvedad del uso de los descriptores y algunas modificaciones menores que permiten un proceso enteramente automático y cuya interacción humana, hasta la obtención de la nube de puntos, es mínima (Fig. 6).

El resultado obtenido a partir de todo este proceso fue un total de siete modelos digitales de superficie que cubrían zonas distintas, a fin de aprovechar las áreas con un error estimado más bajo en cada serie de tomas fotográficas. Cada modelo tiene entre 4 y 6 millones de puntos con color. El GSD (*Ground Sample Distance*) medio estimado es de 1,5 cm y la precisión estimada en fotogrametría con la algoritmia aplicada es de 1/3 de pixel, lo que se traduce en una precisión promedio de 5 milímetros en las zonas más cercanas al sensor. Un segundo resultado de la restitución fue una única ortofotografía (Fig. 7), fruto de la integración de los distintos modelos a distintas distancias. Para homogeneizar la ortofotografía fue necesario eliminar y editar determinadas zonas. Por este motivo el error de la misma no es cuantificable de forma normalizada y es muy variable.



Fig. 6.— Proceso de restitución fotogramétrica a partir de las fotografías aéreas

1.4. Hándicaps y dificultades encontradas en el proceso

Pese a la potencia y fiabilidad de la técnica descrita, existen en nuestro caso concreto algunos factores que han limitado por el momento el potencial de explotación de las fotografías para la realización de una restitución foto-

gramétrica. La obtención de la nube de puntos a través de imágenes requiere el mantenimiento de la focal, además de un recubrimiento notable entre tomas manteniendo una amplia libertad respecto la dirección de los ejes ópticos. Aunque la toma de imágenes se realizó cumpliendo estos requerimientos, la orientación de una parte importante de las mismas no era la óptima para este tipo de trabajo, ya que la captura debía tener cierta altura y convergencia u oblicuidad respecto a la horizontal con el objetivo de abarcar las diversas *crop-marks* y el entorno. Dado que no existía ninguna noción previa sobre la extensión y distribución de las posibles marcas que podrían documentarse, las tomas se realizaron con una dirección muy concreta y sin un plan de vuelo determinado, a veces describiendo trayectorias curvas en torno a una marca y, otras veces, trayectorias rectas y tomas paralelas entre sí pero oblicuas respecto al suelo.

La dificultad que esto nos planteó no estriba tanto en la consecución de la nube de puntos como en la heterogeneidad en el error del modelo dada la oblicuidad excesiva en algunas tomas. Ello se debe a que las zonas más cercanas a la cámara tienen un error menor que las lejanas. Como es sabido en fotogrametría el error aumenta con la distancia al objeto y, en algunos casos, el objeto no era puntual, sino que describía un terreno que se alejaba, dada la oblicuidad de la escena. La corrección del problema consistió en la eliminación directa de dichas zonas más lejanas y, por tanto, con más error, tratando de homogeneizar este último en todas las tomas para la construcción de la ortofotografía general. Dicho proceso también fue difícil dada la diferencia de perspectiva de las tomas muy oblicuas a su ortorectificación sobre un plano horizontal. Esta transformación proyectiva modificaba en grado sumo la imagen rectificadora apareciendo errores o zonas de vacío que trataron de solucionarse cubriéndolas con rectificaciones menos oblicuas de la misma zona.

Como resultado de todos estos factores, amplias zonas de los modelos y ortoimágenes generadas contienen errores geométricos que limitan su utilidad para utilizarlas como base en la toma de mediciones. Debemos pues entender

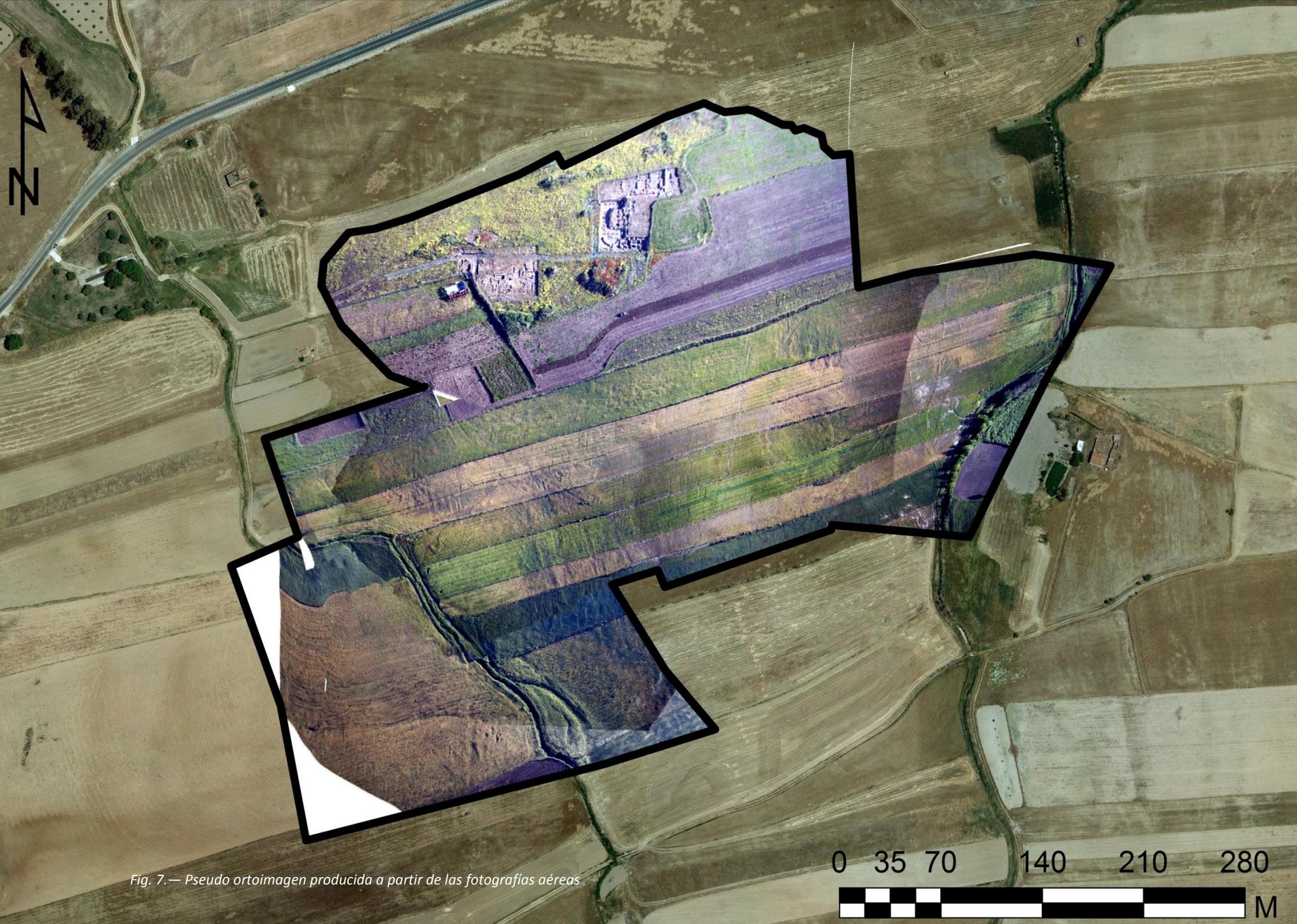


Fig. 7.— Pseudo ortoimagen producida a partir de las fotografías aéreas



que los resultados tienen un carácter preliminar, y que requieren de la realización de nuevas campañas para garantizar un mayor rigor en el proceso de restitución.

1.5. Análisis de los resultados. El tratamiento y explotación de los modelos digitales de superficie

De manera general, el modelo tridimensional producido a partir de las fotografías representa la superficie de los elementos representados en ellas, lo cual es netamente distinto a un modelo en el que se registran los valores altimétricos del terreno y en el que se ha filtrado todo el “ruido” provocado por la vegetación, construcciones, tendidos eléctricos etc. Sin embargo en el caso que nos ocupa, un registro detallado de dicho ruido es precisamente lo que centra nuestro interés. Como ya se ha visto, el principal factor para la identificación de las *crop-marks* es el crecimiento diferencial de las plantas. Así pues, más allá de la identificación visual a través de la iluminación y el color, la obtención de un modelo digital de la superficie del cereal planteó la posibilidad analizar tridimensionalmente sus variaciones de altura y volumen. Con la resolución adecuada, dichos cambios podrían utilizarse para extraer aún más información detectando elementos que no son claramente perceptibles en las imágenes. En ese sentido, la capacidad más directa que proporciona este modelo es la de replicar analíticamente el sombreado que se deriva de las formas diferenciadas en la superficie. De este modo se puede plantear la producción de *crop-marks* “artificiales” jugando con el ángulo y orientación de la fuente de luz. Pero podríamos avanzar aún más en esta exploración de la forma, recurriendo a técnicas de análisis geométrico. Como con cualquier otro modelo, es posible generar a partir del mismo capas derivadas que representen la pendiente, la orientación o la curvatura de la superficie.

1.6. La integración de las *crop-marks* en un sistema de información

La pseudo ortoimagen geo-referenciada fruto de la combinación de los diversos modelos creados, ha sido integrada como una capa más en un entorno de trabajo SIG. Esta servirá como base para generar una capa vectorial con la interpretación de las *crop-marks*, de manera que podremos obtener un plano detallado de todas las estructuras visibles. Al mismo tiempo será así posible cruzar esta información con el resto de datos referentes al estudio de *Contributa* y su entorno. Como se indicó en la introducción, uno de los frutos de la actividad de RITECA es la confluencia sobre un mismo espacio de la aplicación de una batería de métodos de registro que tienen en su carácter no invasivo su denominador común. La misma zona cubierta por la fotografía aérea ha sido objeto de prospecciones de diversa índole.

En primer lugar se ha recurrido a la aplicación de tres métodos geofísicos. Se ha realizado una cartografía global de la zona con un sensor de conductividad eléctrica aparente proporcionado por la Finca Experimental La Orden (centro tecnológico dependiente de la Junta de Extremadura). Este equipo, adaptado a la maquinaria agrícola, ha permitido cubrir una gran extensión de terreno en poco tiempo, aportando mediciones con un intervalo temporal de un segundo y una precisión centimétrica. Por otra parte se han realizado diversas campañas con un sensor de resistividad perteneciente al Instituto Catalán de Arqueología Clásica. Estas se han orientado hacia la contrastación directa de indicios concretos revelados por la fotografía aérea. Por último, se ha empleado un geo-radar operado por personal del Instituto Tecnológico de las Rocas y Materiales de Construcción, igualmente con un enfoque selectivo. Como el anterior, se trata de equipos que no pueden cubrir grandes superficies, pero que ofrecen en contrapartida una mayor resolución espacial de los cambios de densidad del terreno.

Por otro lado, toda la zona arqueológica ha sido dividida con una rejilla de cuadros de 25 metros de lado para una prospección sistemática e intensiva de la superficie. En este caso se ha registrado el número y peso de artefactos en sus diferentes categorías dentro de cada cuadro, de manera que una vez analizado el material podremos buscar relaciones significativas entre la evidencia superficial y el tipo de marcas que se aprecian en la foto aérea.

2. RESULTADOS

2.1. Más allá de trazar líneas sobre una fotografía: una evidencia de compleja interpretación

La extracción de una comprensión en términos arqueológicos de los elementos representados en la fotografía aérea puede considerarse como el culmen del proceso de análisis de nuestras imágenes. Este proceso se ha apoyado tanto en la ortoimagen como en las imágenes originales, ya que éstas contenían una gran cantidad de matices y detalles que se han ido desvirtuando en el proceso de tratamiento digital. Ha sido además un proceso participativo, contrastándose la lectura de diversas imágenes por parte de los miembros del equipo.

Autores como Palmer (2010: 283) han llamado la atención sobre la subjetividad inherente a esta etapa del trabajo. Esta se ve condicionada por numerosos factores, entre los que cabe destacar la experiencia previa del observador y el conocimiento directo de las condiciones del terreno analizado. De manera directa, las imágenes captadas han ofrecido una densidad tan elevada de indicios, que estimamos que permitirán incrementar notablemente nuestro conocimiento sobre la organización interna de *Contributa* y su entorno inmediato. Sin embargo de manera global se ha de recalcar que la documentación requerirá de un examen minucioso. Este ha de ser matizado por la consideración de los numerosos factores que pueden afectar a la respuesta de la

vegetación. De este modo, el tipo y forma de las *crop-marks* aporta información mucho más allá de la simple identificación de una estructura. Nos habla de la conservación y estructuración de los depósitos arqueológicos. Así por ejemplo puede apreciarse cómo en algunas de las marcas más claras de edificaciones (Fig. 8) no se aprecian discontinuidades en los trazos rectilíneos que pudieran indicar la existencia de vanos.

Esto puede deberse a que lo que reflejan dichas marcas son estructuras que estarían arrasadas hasta el nivel de cimentación, algo constatado en las excavaciones y vinculado a la historia del uso del suelo en estos terrenos. Después del abandono de la ciudad en época tardo-romana, el sitio permanece muy estable, con un uso ganadero seguramente hasta mediados del siglo XIX. La puesta en cultivo inició una nueva etapa de agresión sobre los restos. El arado ha alterado durante más de 200 años los depósitos más superficiales, exponiendo el suelo a una creciente actividad erosiva. El terreno fue dividido en parcelas largas y estrechas, delimitadas originariamente por cercados de piedra. El laboreo independiente de cada franja inició un proceso de creación de lo que en la terminología británica de los estudios sobre el paisaje se denomina *lynchets*, por el cual en cada parcela se ha tendido a rebajar la cota de la parte más alta de la ladera. Por el contrario, en los linderos inferiores se ha ido formando una acumulación artificial de sedimento sobre los niveles originales, potenciada además por los citados muros. Un mapa de pendientes y las curvas de nivel derivados ambos del levantamiento topográfico a escala micro del sitio, ilustran de manera elocuente este pronunciado aterrazamiento (Fig. 9).

Otro ejemplo de cómo condiciona nuestra lectura la naturaleza del registro es la posible evidencia del trazado de las calles. A través de la excavación sabemos que éstas no han permanecido inalteradas a lo largo de la vida de la ciudad. En una primera fase tuvieron una anchura mayor y estaban flanqueadas por pórticos. Posteriormente estos se cierran y la calle se estrecha. Existe en definitiva una superposición, una lectura vertical, de la cual las *crop-marks*



Fig. 8.— Crop-marks de cimentaciones

ofrecen una imagen bidimensional. Pensamos que esto puede haber sido determinante en la nitidez y legibilidad de los límites de estas estructuras. Lejos de proyectar un esquema hipodámico ideal a partir de una interpretación de las zonas excavadas, la tarea que nos queda por delante es evaluar los indicios que existen para reconstruir el diseño urbanístico real, cotejando la información de las *crop-marks* con la aportada por los demás sensores aplicados, y de manera especialmente importante, con la configuración topográfica del emplazamiento de la ciudad.

2.2. Mas allá de *Contributa*: otros resultados de la prospección aérea

Junto con las imágenes tomadas en Los Cercos, el proyecto RITECA ha permitido realizar campañas de documentación de muchos otros sitios arqueológicos, tanto en Medina de las Torres como en otras áreas como La Serena. Los resultados, desiguales, reflejan la compleja combinación de factores que intervienen en la generación de indicios superficiales: edafología, topografía, usos del suelo... En el caso del entorno de la ciudad de *Contributa* los resultados pueden calificarse como muy positivos, ya que los sitios que habían sido previamente localizados por prospección superficial y que fueron documentados ofrecieron *crop-marks* muy claras y expresivas.

Podemos destacar en concreto los sitios conocidos como Las Cañadas y Los Villares¹. El primero de ellos es un extenso asentamiento de cronología romana, del que se tenía noticia a partir del hallazgo de un mosaico polícromo. Por fortuna para nosotros, en el momento de realizar la campaña de fotografía aérea una parte del sitio estaba cubierto de cereal, y como puede apreciarse en la Figura 10 B, la presencia de estructuras se hizo patente. Llama la atención en concreto la presencia de dos marcas negativas de trazo curvilíneo y con orientaciones contrapuestas, conectadas con otras serie de trazos rectilíneos. Junto con la presencia del citado mosaico y el material superficial, estas marcas

1. Agradecemos a Francisco Delgado Álvarez, alcalde de Medina de las Torres la gentileza de mostrarnos estos sitios arqueológicos. Ambos han sido recogidos por Pedro Delgado en su tesis de máster sobre el poblamiento romano en el entorno de *Contributa Iulia*.

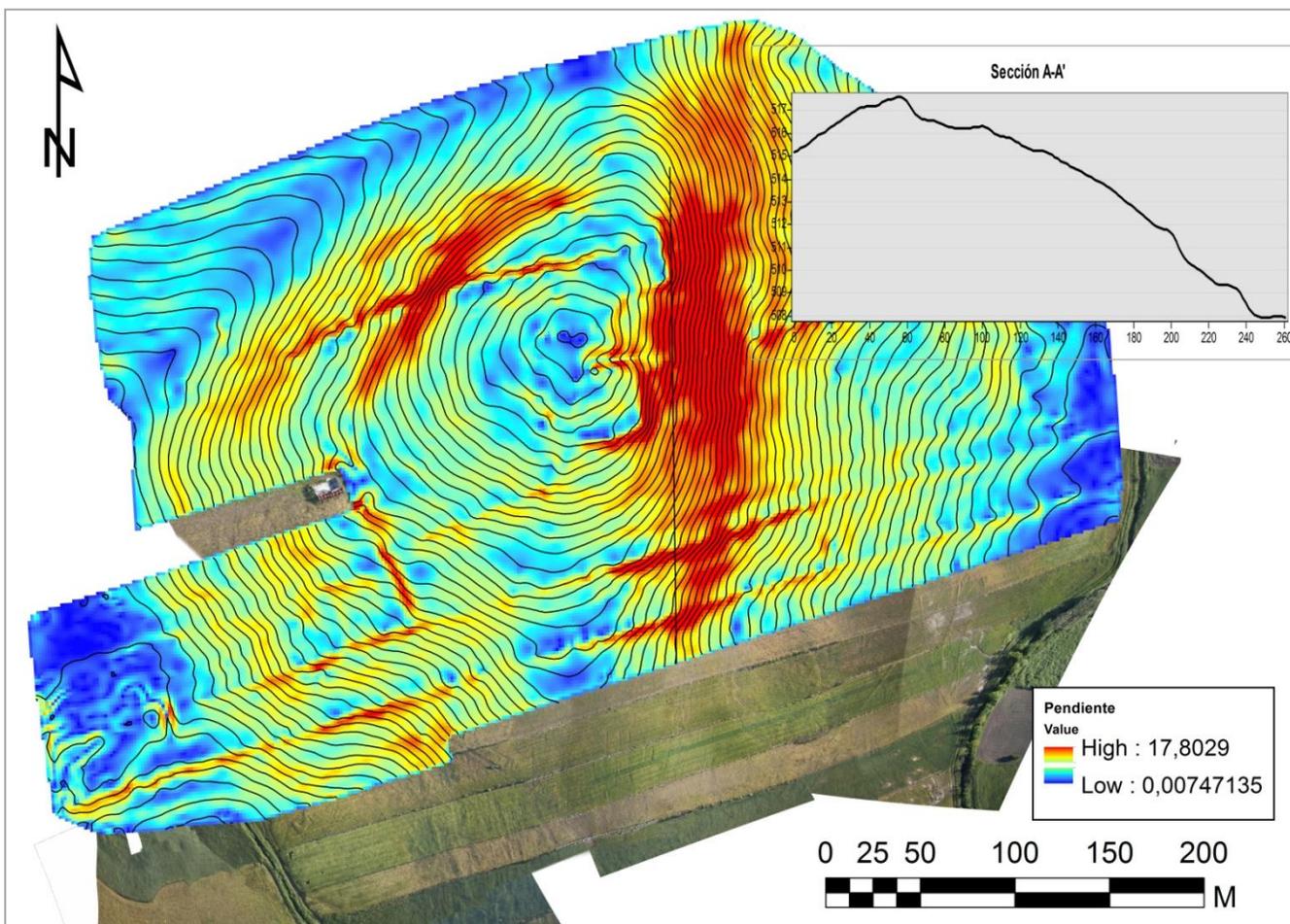


Fig. 9.— MDT en el que se aprecia bien el escalonamiento de sitio

permiten plantear la posibilidad de identificar la planta de la zona residencial de un asentamiento rural. En cuanto a Los Villares (Fig. 10 A), de nuevo el crecimiento diferencial nos proporcionó indicios de un entramado regular de marcas negativas con una orientación SO-NE que parecen corresponder con un conjunto de edificaciones. Toda la zona está cubierta en superficie por abundante material de cronología romana.

3. BALANCE Y PERSPECTIVAS. EL POTENCIAL DE LA ARQUEOLOGÍA AÉREA EN LOS PAISAJES DEL SUROESTE PENINSULAR

La zona arqueológica de Los Cercos-*Contributa Iulia* y su entorno se nos revela como un lugar enormemente fértil para la detección de estructuras arqueológicas desde el aire. El trabajo hasta aquí realizado ha permitido identificar y analizar una buena parte de ellas. La labor de fotointerpretación y tratamiento digital de las imágenes está resultado muy fructífera, y esperamos que enriquecerá la imagen que se tenía de la ordenación espacial de la ciudad y su entorno. No obstante, los condicionantes y fuentes de error ya expuestas, hacen que aún no se haya extraído todo el potencial de estas técnicas en el sitio. En cualquier caso, el carácter cíclico del fenómeno de las *crop-marks* nos garantiza la posibilidad de realizar nuevos trabajos de documentación, en los que además corresponderá explorar parcelas de la ciudad que estaban en barbecho el año en que fueron tomadas las fotografías. A decir verdad, la realización reiterada de campañas valorando el efecto de diferentes condiciones del terreno, usos del suelo o efectos de iluminación, es clave para extraer el máximo potencial de estas técnicas, y casi siempre se demuestra fructífero, ofreciendo una visión ligeramente diferente o complementaria en cada ocasión. Por otra parte, las posibilidades de este programa de investigación se van a expandir notablemente gracias a la toma de imágenes con cámaras multiespectral y térmica, capaces de captar el infrarrojo cercano y térmico respectivamente. Al escribir estas líneas se cuenta ya con algunos resultados sumamente prometedores y que serán objeto de publicación en el futuro cercano.

Otro resultado tangible del camino recorrido es la facultad que hemos adquirido de localizar con precisión objetivos para la aplicación de nuevas técnicas en el sitio. Esto nos dota de una herramienta para la planificación del trabajo futuro. De hecho, la capacidad de integración de los datos aportados por diversos sensores y técnicas de registro es uno de los aspectos clave de la actividad desarrollada en el marco del proyecto RITECA. Este *modus operandi* nos lleva a

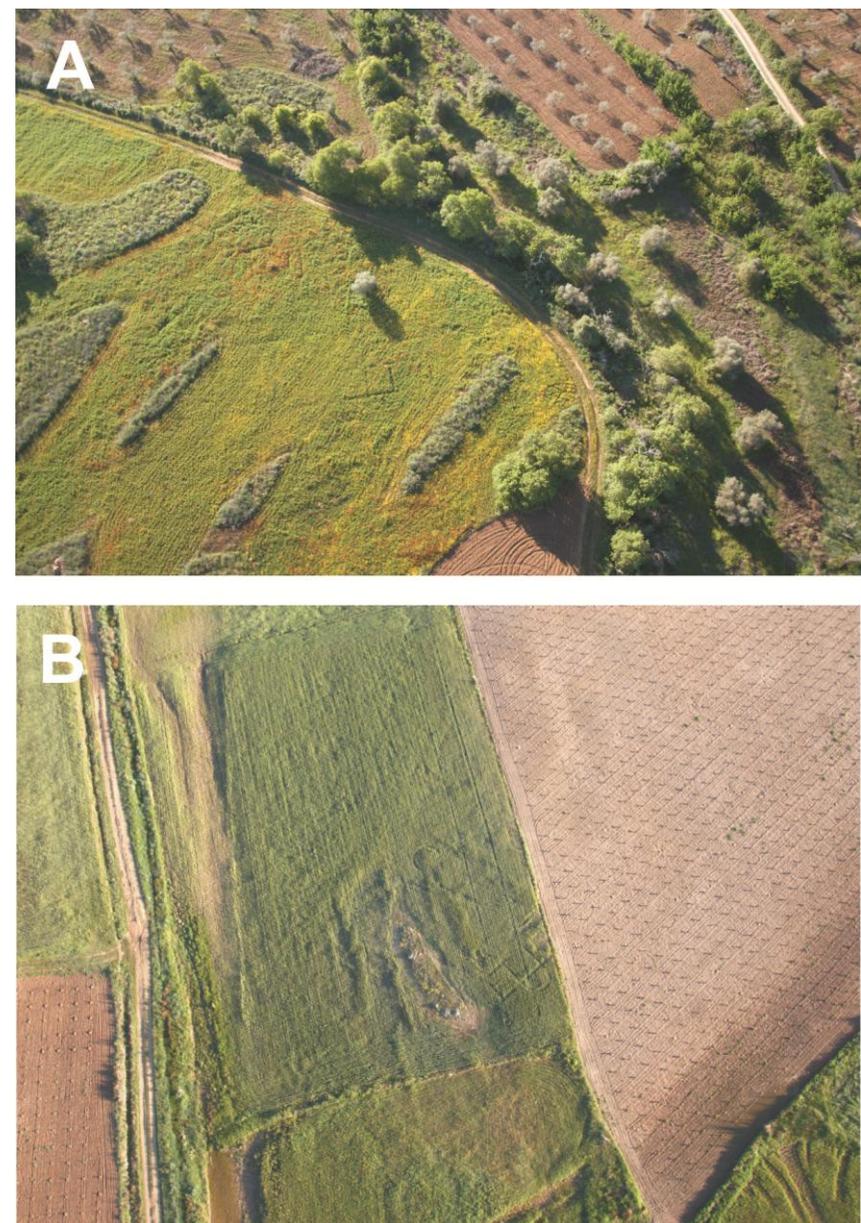


Fig. 10.— Otros resultados de identificación positiva de *crop-marks* en el entorno de Contributa. A. Las Cañadas. B. Los Villares

conocer mejor las posibilidades de cada técnica, así como su grado de complementariedad en el proceso de contrastación de las hipótesis planteadas sobre el significado arqueológico de la información que vamos obteniendo.

En términos más generales, esta experiencia puede tomarse como llamada de atención sobre el enorme potencial que encierra la arqueología aérea en nuestro entorno. A diferencia de lo que ha ocurrido en otras regiones peninsulares como Castilla y León (Olmo 1993), la experiencia desarrollada en el Suroeste peninsular es aún muy limitada. La escasez de resultados es únicamente atribuible a las pocas campañas realizadas, dada la existencia como acabamos de ver, de zonas con óptimas condiciones.

Agradecimientos: queremos expresar nuestro agradecimiento en primer lugar a Francisco Delgado, alcalde de Medina del las Torres, por todo el apoyo e interés mostrado para facilitar el desarrollo de los trabajos arqueológicos en *Contributa* y su entorno. Igualmente gracias a Pedro Delgado por la información sobre los asentamientos romanos a los que se hace alusión en el texto. Gracias también a Frank Vermeulen, Wlodek Rączkowski, Dave Cowley y Rog Palmer por sus valiosas apreciaciones para la interpretación de las imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

- EDIS, J., MACLEOD, D. y BEWLEY, R.H. (1989): "An archaeologist's guide to classification of crop marks and soilmarks". *Antiquity* 63: 112-126.
- JONES, R., y EVANS, R. (1975): "Soil and crop marks in the recognition of archaeological sites by air photography". *Aerial reconnaissance for archaeology. CBA Research Report* 12. York: 1-11.
- LASAPONARA, R. y MASINI, N. (2007): "Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery". *Journal of Archaeological Science* 34: 214-221.
- MASINI, N., y LASAPONARA, R. (2007): "Investigating the spectral capability of QuickBird data to detect archaeological remains buried under vegetated and not vegetated areas". *Journal of Cultural Heritage* 8: 53-60.
- MATEOS, P. PIZZO, A. y DELGADO, P. (2009): "¿Contributa Iulia Ugultunia? intervenciones arqueológicas en el yacimiento arqueológico de «Los Cercos», en Medina de las Torres, (Badajoz)". *Romula* 8: 7-31.
- MUSSON, C., PALMER, R. y CAMPANA S. (2005): *In volo nel passato: aerofotografia e cartografia archeologica*. Siena.
- OLMO, J. del (1993): "La fotografía aérea como apoyo a la prospección arqueológica en Castilla y León". *Inventarios y cartas arqueológicas. homenaje a Blas Taracena: 50 aniversario de la primera Carta arqueológica de España, 1941-1991*. Soria: 235-238.
- ORTIZ-CODER, P. (2012): "Documentación del patrimonio arqueológico utilizando fotogrametría automática". *Arqueologica* 2.0.
- PALMER, R. y COWLEY, D. (2010): "Interpreting Aerial Images: best practices". En M. Forte. S. Campana y C. Liuzza (eds): *Space, Time, Place: Third International Conference on Remote Sensing in Archaeology*. BAR International Series 2118. Oxford: 129-135.
- RILEY, D.N. (1979): "Factors in the development of crop marks". *Aerial Archaeology* 4: 28-32.
- RILEY, D.N. (1983): "The frequency of occurrence of crop marks in relation to soil. *The impact of aerial reconnaissance on archaeology. CBA Research Report* 49. York: 59-73.

- TRIGGS, B., MCLAUCHLAN, P., HARTLEY, R. y FITZGIBBON, A. (2000): "Bundle adjustment, a modern synthesis". En B. Triggs, A. Zisserman, y R. Szeliski (eds.): *Vision Algorithms: Theory and Practice. Lecture Notes in Computer Science* 1883. Berlín: 298–372.
- VERHOEVEN, G.J. (2012): "Near-Infrared Aerial Crop Mark Archaeology: From its Historical Use to Current Digital Implementations". *Journal of Archaeological Method and Theory* 19: 132-160.
- WILSON, D.R. (2000): *Air photo interpretation for archaeologists*. Londres.