

# “La prospección arqueológica de superficie y los SIG”

Leonardo García Sanjuán  
Departamento de Prehistoria y Arqueología. Universidad de Sevilla  
María de Padilla s/n. 41004. Sevilla  
Correo-e: lgarcia@us.es

---

**Resumen.** Se realiza un repaso de los aspectos de la prospección arqueológica de superficie en los que la introducción de los SIG ha tenido mayor relevancia. Se tratan cuestiones tales como el diseño y planificación de la prospección, la georreferenciación de las entidades arqueológicas (corrección de errores, incremento de la precisión y homogenización de sistemas), su representación cartográfica (con especial énfasis en la inteligibilidad de los mapas resultantes de las prospecciones y en las micro-topografías de yacimientos individuales) y la integración de los resultados de la prospección con datos procedentes de otras fuentes (fotografía aérea, prospección geofísica, etc.).

**Palabras clave:** prospección de superficie, SIG, GPS, georreferenciación, cartografía, micro-topografía, MDT, fotografía aérea.

**Abstract.** This paper presents a review of those aspects of the archaeological survey in which the impact of GIS has been most relevant. Those aspects include the design and planning of surveys, the geo-referencing of archaeological entities (error correction, increase of precision and homogenisation of projections), their cartographic representation (with especial emphasis in map intelligibility and micro-topography of individual sites), as well as the integration of survey data with information collated from other sources (geophysical prospection, air photography, etc.)

**Keywords:** archaeological survey, GIS, GPS, geo-referencing, cartography, micro-topography, DTM, air photography.

## 1.- Introducción.

Durante el siglo XIX y la primera mitad del XX, el principal instrumento de obtención de las observaciones empíricas pertinentes para el estudio arqueológico del Pasado fue la excavación. La propia noción de *trabajo de campo* giró principalmente (o exclusivamente) en torno a la noción de excavación, quedando el reconocimiento arqueológico del territorio supeditado a la tarea de identificación de los yacimientos más significativos y adecuados para la excavación.

A partir de la década de los 1960, la prospección de superficie experimenta un potente impulso como vehículo de producción de evidencias fundamentales para la comprensión de las pautas de comportamiento humano en el Pasado. Este impulso procede, por una parte, del elevado estatuto epistemológico que la *arqueología procesual* otorga al análisis de la territorialidad de las sociedades pasadas, lo cual, en buena parte, es a su vez producto de la influencia de la teoría ecológico-cultural, que en aquellos años comenzaba a renovar el pensamiento arqueológico. Por otra, obedece a la necesidad práctica de localizar, identificar y gestionar las evidencias arqueológicas en países donde la creciente expansión urbanística amenaza constantemente la integridad del Patrimonio Arqueológico. Impulso epistemológico o necesidad práctica, la prospección arqueológica de superficie comienza a ser objeto, sobre todo en los Es-

tados Unidos y el Reino Unido, de un enriquecedor debate que sirve para fijar los principios de su incorporación al cuerpo metodológico principal de la disciplina arqueológica. Al trabajo seminal de R. J. Ruppe (1966) sigue una importante serie de trabajos de orden teórico y metodológico que en apenas diez años fijan de hecho los principios de la prospección arqueológica de superficie contemporánea (Redman y Watson, 1970; Rogge y Fuller, 1977; Plog, 1978; Plog *et alii*, 1978; Schiffer *et alii*, 1978; etc.). En España, las primeras lecturas y aplicaciones de estas propuestas tienen lugar algo más tarde, a partir de los años 1980 (Ruiz Zapatero, 1983; 1988; Fernández Martínez, 1985; Fernández Martínez y Lorrío Alvarado, 1986; Ruiz Zapatero y Burillo Mozota, 1988; etc.), pero el efecto y consecuencia general ha sido el mismo.

Además, el despegue disciplinar de la prospección de superficie se va a relacionar estrechamente con el desarrollo de nuevas metodologías de reconocimiento del territorio que han contribuido a re-dimensionar definitivamente el papel de la excavación dentro de la disciplina, ampliando y enriqueciendo considerablemente el alcance del trabajo arqueológico de campo. Entre ellas destacan, naturalmente, la teledetección y la prospección geofísica, que en los últimos 30 años se han unido a la fotografía aérea (que venía experimentando un gran desarrollo ya desde la década de los 1920) y al citado impulso y sistematización de la prospección de superficie, para dar lugar a una forma completamente nueva de entender la naturaleza y propósito del trabajo arqueológico de campo. Desde la perspectiva actual es posible decir que uno de los temas metodológicos más destacados de la Arqueología de la última parte del siglo XX ha sido el definitivo desarrollo de los principios, procedimientos, métodos y técnicas de reconocimiento del territorio con carácter previo o independiente de la excavación.

En un lúcido análisis de este proceso, G. Ruiz Zapatero señalaba hace ya varios años al *proceso de informatización*, como uno de los vectores de más rápida renovación metodológica de la prospección de superficie (Ruiz Zapatero, 1988:39). Efectivamente, quizás uno de los aspectos más destacados del rápido proceso de formalización y sistematización de la prospección arqueológica en los últimos diez años haya sido la incorporación de la informática, y muy especialmente de los Sistemas de Información Geográfica. Este es precisamente el tema de este trabajo.

Afortunadamente, los SIG necesitan ya poca introducción para los/las practicantes de la disciplina arqueológica, sobre todo para quienes han tenido un especial interés en temas como la propia prospección de superficie, el análisis espacial y territorial o la gestión de inventarios de yacimientos. Desde la aparición de sus primeras aplicaciones a comienzos de los 1990, su extensión ha sido imparable, de forma que en la actualidad aparecen como una plataforma de trabajo tan común como imprescindible en el tratamiento, gestión y análisis de la dimensión espacial de los datos arqueológicos. Esta extensión es apreciable en la literatura generada dentro de la disciplina en torno a este tema, lo que incluye diversas monografías y obras generales (Allen y otros, 1990; Lock y Stancic, 1995; Aldenderfer y Maschner, 1996; Maschner, 1996; Baena Preysler y otros, 1997; Gillings y Wise, 1998; Lock, 2000; Wheatley y Gillings, 2002; etc.), diversas actas de congresos y reuniones especializadas (por ejemplo Johnson y North, 1995; Sande Lemos y otros, 2000; García Sanjuán y Wheatley,

2002), además de las diversas sesiones publicadas en las actas de las conocidas *Computer Applications in Archaeology*, así como una miríada de artículos, tratando casos de estudio específicos e investigaciones empíricas, que conforman una bibliografía cada vez más inabarcable – aunque véase Petrie y otros (1995) para un ensayo de compilación.

El impacto de los SIG en la disciplina arqueológica ha ido ciertamente más allá de la gestión de datos, habiéndose planteado un importante debate con respecto a las consecuencias que su aplicación ha podido tener en un orden más interpretativo y teórico, por ejemplo con respecto a la concepción del propio registro arqueológico, el resurgimiento (o reforzamiento) de las explicaciones de carácter determinista-medioambiental de las estrategias de implantación humana en el territorio, su relevancia en el análisis de *paisajes cognitivos* dentro de las propuesta postprocesualistas inspiradas en la hermenéutica, y un largo etc. (cf. Castleford, 1991; Wheatley, 1993; Claxton, 1995; Gaffney y otros 1995; Voorrips, 1996; Goodchild, 1996; Bampton, 1997; Barceló y Pallarés, 1996; 1998; etc.). Por razones de limitación de espacio, el presente trabajo deja en parte de lado este interesante debate teórico para centrarse en la discusión y comentario de una serie de aspectos concretos del proceso de formalización y sistematización de la prospección arqueológica a través de la utilización de los SIG. Vista la discusión introductoria precedente, por tanto, se partirá de dos premisas principales. En primer lugar, la prospección de superficie es, en conjunción con otros procedimientos de reconocimiento del territorio, un instrumento irremplazable e imprescindible para el análisis arqueológico de la territorialidad de las sociedades humanas pasadas, así como para la gestión del legado material de las mismas. En segundo lugar, los SIG (o más genéricamente, las *nuevas tecnologías espaciales*) constituyen el marco de gestión y tratamiento de la información de las prospecciones de superficie, así como de los otros procedimientos de reconocimiento arqueológico del territorio.

¿De qué forma han afectado los SIG al diseño y práctica de la prospección de superficie? De una forma muy sintética, podría decirse que, si por un lado, han aportado una serie de procedimientos enteramente nuevos, anteriormente inexistentes, por otro lado han hecho más eficaz y sencilla la ejecución de procedimientos ya previamente existentes, reduciendo el tiempo y/o el esfuerzo de trabajo requerido y haciéndolos más rigurosos (por ejemplo mediante un necesario incremento del grado de consistencia y estandarización en la recogida y tratamiento de los datos). Como resultado de su articulación en un SIG, la prospección arqueológica se hace más eficiente, fiable y productiva. Ello tiene ciertamente su reflejo en los cuatro temas abordados en este trabajo, que son (i) la *planificación* de la prospección (estrategia, alcance, objetivos), (ii) la *georreferenciación* de los eventos arqueológicos (ubicación dentro de sistemas de coordenadas universales), (iii) la *representación* y visualización de sus propiedades espaciales (forma, tamaño, elementos y relaciones topológicas), y (iv) la *integración* con datos obtenidos mediante otros procedimientos de reconocimiento del territorio.

La reflexión planteada a continuación en relación con estos temas, así como los ejemplos y casos prácticos que la ilustran, se basa en una serie de experiencias investigadoras desarrolladas en los últimos años desde el Departamento de Prehistoria y

Arqueología de la Universidad de Sevilla. Estas experiencias se pueden agrupar básicamente en dos: (i) una línea de investigación relativa al poblamiento de Sierra Morena occidental durante la Prehistoria Reciente que comienza a finales de los 1980 y continúa en la actualidad y (ii) diversos proyectos realizados entre 1996 y 1999 en relación con la gestión SIG de inventarios arqueológicos.

## 2.- Planificación.

Un primer aspecto de la prospección arqueológica de superficie en el que los SIG tienen un gran potencial a explorar es el de la planificación y diseño del trabajo de campo. Posiblemente sea el modelado predictivo de la distribución de yacimientos el ámbito en el que la contribución de los SIG a la planificación de la prospección de superficie se ha expresado de forma más elaborada. En el modelado predictivo se tienen en cuenta múltiples variables relativas tanto a las características geográficas así como a las propiedades de los yacimientos arqueológicos de un territorio que haya sido objeto de un reconocimiento arqueológico intensivo, para así establecer de forma estadística las probables pautas de localización de estos últimos en territorios donde todavía no se ha prospectado o se ha prospectado con menor intensidad. Los resultados de estos análisis han sido luego utilizados para *guiar* y *dirigir* las prospecciones de superficie hacia aquellas zonas donde existen mayores probabilidades estadísticas de identificar determinados yacimientos o pautas de asentamiento. La utilidad y alcance del modelado predictivo para la prospección, análisis espacial y gestión territorial en Arqueología ha sido objeto de un amplio debate disciplinar que ha servido para fijar el alcance y los límites que puede tener en la investigación y gestión arqueológicas (Carmichel, 1990; Warren, 1990; Brandt y otros, 1992; Wheatley, 1996; Deeben y otros 1997; etc.).

En realidad los SIG aportan numerosas herramientas que, sin llegar a la complejidad del modelado predictivo, pueden ser de gran utilidad en la planificación de la prospección. Cualquier proyecto o trabajo de prospección comienza por el planteamiento de preguntas básicas relativas al área a prospectar. ¿Qué superficie implica? ¿Cuáles son las condiciones topográficas imperantes en términos de pendiente media, cursos de agua o elevaciones? ¿Cuál es la cobertura vegetal predominante? ¿Cuáles son los precedentes arqueológicos de la zona? ¿En qué zona es más probable encontrar una determinada categoría de yacimientos? De la respuesta dada a estas preguntas depende en buena medida la configuración de la estrategia de trabajo y por tanto los resultados que se obtendrán más tarde. Las consultas de carácter espacial, cálculos de superficies, distancias o pendientes como parte de la preparación del trabajo de campo, cálculos que con anterioridad a la aparición de los SIG constituían una tarea manual bastante lenta y tediosa (Estébanez y Puyol, 1976:34), se convierten en simple rutina dentro de un SIG.

Un ejemplo muy sencillo de cómo las utilidades más básicas de recuento y cálculo de superficies o distancias de los SIG pueden incrementar la eficacia de las prospecciones de superficie en el estadio de planificación, es la estimación de densidades de yacimientos. Estas estimaciones pueden servir como referente durante el desarrollo del trabajo de campo, indicando la eficacia o rendimiento de la prospección y actuando como un sencillo pero contundente *control de calidad* de las mismas. La pre-

gunta a responder es ¿qué cantidad o densidad de yacimientos es probable detectar en una zona a prospectar dadas una serie de condiciones ambientales, geográficas, históricas, etc.?

La Figura 1 muestra un mapa de los términos municipales de Sierra Morena occidental donde se constata que la densidad de yacimientos/Km<sup>2</sup> queda muy por debajo de los parámetros identificados en otras regiones y países europeos con mayor tradición en el campo del reconocimiento arqueológico del territorio (Wheatley y García Sanjuán, 2002:158). Incluso en aquellos municipios en los que se han realizado *cartas arqueológicas* o exploraciones más o menos asistemáticas (aquellos que en la Figura 1 coinciden con los polígonos en trazo más grueso), los niveles se mantienen por debajo de 0,2 yacimientos/Km<sup>2</sup>. Ello ha sido tenido en cuenta al evaluar *a posteriori* los resultados obtenidos en prospecciones realizadas por la Universidad de Sevilla en el curso alto de la Rivera de Huelva, en Sierra Morena occidental (Hurtado Pérez y otros, 1993; Hurtado Pérez y García Sanjuán, 1995), así como para decidir *a priori* la estrategia en varias prospecciones llevadas a cabo en Almadén de la Plata (Sevilla) entre 2000 y 2002 (García Sanjuán y Vargas Durán, 2002; García Sanjuán y otros, 2003). La Tabla 1 muestra los resultados comparativos de tales prospecciones, con densidades de yacimientos mucho más altas gracias a la aplicación de la adecuada estrategia intensiva.

AMBITO	EXTENSION	NUMERO YACIMIENTOS	DENSIDAD MEDIA
TM Almadén de la Plata. Zona prospección intensiva	16,77 Km <sup>2</sup>	26	1,540
Pantano de Los Melonares Zona prospección intensiva	34,8 Km <sup>2</sup>	39	1,120
TM Almadén de la Plata	255,65 Km <sup>2</sup>	102	0,398
Campaña de Sevilla	3.723 Km <sup>2</sup>	1455	0,390
Andalucía	87.268 Km <sup>2</sup>	c. 12.000	0,137
Sierra Morena Occidental	5.038 Km <sup>2</sup>	544	0,107
Sierra Norte de Sevilla	3.771 Km <sup>2</sup>	160	0,041
Tabla 1			
Densidades de yacimientos arqueológicos en diversas regiones y sectores de Andalucía occidental			

Este empleo de las utilidades de los SIG para calcular densidades de yacimientos (o cualesquiera otros parámetros relativos a su dispersión o concentración) tiene evidentes implicaciones a nivel más general, en cuanto a diseño de políticas de protección patrimonial. Cuando en 1996 se obtuvo la primera cartografía digital del inventario de yacimientos arqueológicos de Andalucía, una de las revelaciones más incuestionables fue la de la extrema irregularidad de su distribución territorial (Amores y otros, 1997:131). Un ejemplo particularmente drástico de ello se muestra en la Figura 2, donde se puede comprobar el agudo contraste de densidades de yacimientos dentro de los límites de distintas hojas del Mapa Topográfico Nacional en la campaña de la provincia de Sevilla, dado que dichas hojas (y no cualesquiera unidades de paisaje) fueron utilizadas como límite y referente para la realización de *cartas arqueológicas* en los años 1980. La visualización en un SIG de una información de carácter eminen-

temente espacial, que hasta aquella fecha había sido gestionada de forma exclusiva en papel, sugirió una amplia serie de prioridades y estrategias a tener en cuenta en futuras actuaciones de reconocimiento arqueológico del territorio andaluz.

Un segundo caso típico de utilización de los SIG de cara a la planificación de la prospección es la selección de áreas preferentes para la actuación en función de las prioridades epistemológicas o prácticas del proyecto. En las Figuras 3, 4 y 5 se ilustra el caso de un proyecto de análisis de paisajes megalíticos en Sierra Morena occidental, donde se pretende establecer si las vías pecuarias pueden servir de indicador *proxy* de la distribución de los monumentos megalíticos. Como es sabido, una de las interpretaciones formuladas con respecto a los monumentos megalíticos europeos es que servían de hitos o señales visibles en zonas de paso, lo que ha llevado a que se cite en ocasiones a las vías pecuarias como ejemplo de vías de comunicación y paso *tradicionales* o *arcaicas*. Ciertamente la correlación entre el trazado de las vías pecuarias actualmente conocidas y las rutas o vías de comunicación de la Prehistoria Reciente está lejos de haber sido demostrada empíricamente, aunque se trata de una hipótesis sugerente. De ser cierta dicha hipótesis sería correcto esperar una cierta tendencia de los monumentos megalíticos a agruparse en torno al trazado de las vías pecuarias donde serían más visibles para una mayor cantidad de gente, cumpliendo así mejor su función *señalizadora*. Asumiendo estas consideraciones, en la Figura 3 se ha cartografiado conjuntamente los monumentos megalíticos y las vías pecuarias de Sierra Morena occidental, añadiendo en torno al trazado de las vías pecuarias un *buffer* de 1000 metros. Gracias a las utilidades de cálculo de distancias y áreas de un SIG se puede comprobar con gran rapidez que, a nivel de todo el territorio de Sierra Morena occidental no existe diferencia alguna entre la densidad general de megalitos (0,017 megalitos/Km<sup>2</sup>) y la densidad particular observada a un lado y otro de las vías pecuarias (0,016 megalitos/Km<sup>2</sup>). En cambio, si se centra el recuento en Almadén de la Plata (Figura 4), un municipio que ha sido objeto de prospecciones previas, se comprueba que la densidad de monumentos megalíticos en torno a aquellas vías pecuarias que han sido prospectadas intensivamente (es decir mediante un barrido sistemático del terreno) se incrementa notablemente hasta alcanzar una densidad seis veces superior, de 0,10 monumentos por Km<sup>2</sup>. Ello es especialmente perceptible en un sector del municipio de Almadén de la Plata llamado Dehesa de Palacio, donde varios monumentos megalíticos se agrupan en torno al trazado de la vía pecuaria conocida como “*Cordel de El Pedroso*” (Figura 5).

En definitiva, los SIG pueden ser utilizados de múltiples formas en la fase de preparación de una prospección arqueológica de superficie. La simple visualización de las condiciones del terreno es una de ellas: los SIG son el marco idóneo para gestionar fotografías aéreas e imágenes satélite (que muestran con un alto grado de actualización las cambiantes condiciones de uso del suelo y cobertura vegetal) en combinación con cartografía. La selección de zonas de actuación preferente en base a cualesquiera postulados epistemológicos, teóricos o prácticos, según se ha mostrado en los ejemplos anteriores, es otra de ellas. En ambos casos los SIG puede actuar no solo como extraordinarias herramientas con la que incrementar la eficacia del tratamiento y gestión de datos sino como verdadero estímulo para *pensar* la prospección de una forma más creativa sobre la base de hipótesis originales.

### 3.- Georreferenciación.

Un segundo aspecto crucial de la prospección arqueológica de superficie que se ha beneficiado considerablemente de la introducción de los SIG es la georreferenciación (Wheatley y Gillings, 2002:27). La georreferenciación supone la correcta inserción de las entidades arqueológicas (yacimientos, monumentos funerarios individuales, hallazgos aislados, territorios de captación, etc.) dentro de sistemas de coordenadas estandarizados que permitan su visualización y ulterior representación cartográfica cruzada con otros elementos y temas geográficos (topografía, hidrología, cobertura vegetal, geología, etc.). Se trata de un aspecto vital para la prospección de superficie, ya que una correcta georreferenciación constituye una exigencia fundamental de calidad en los resultados obtenidos y una garantía para la ulterior explotación de los datos en términos de análisis espacial y territorial.

Tres aspectos de la utilización de los SIG en este ámbito son especialmente destacables: (a) la detección y corrección de errores, (b) el incremento de la precisión mediante la utilización combinada de los SIG con la tecnología GPS, y (c) la racionalización en el uso de los sistemas de proyección y designación de coordenadas.

a) Hasta hace pocos años el tratamiento dado a la precisión georreferencial de la prospección arqueológica era, en un número elevado de casos, menos que satisfactorio. Algunos ejemplos de prospecciones llevadas a cabo Andalucía occidental muestran significativas deficiencias en materia de georreferenciación. Así, en el caso de una carta arqueológica de la provincia de Huelva, la localización geográfica de algunos yacimientos varía considerablemente en mapas de distribución publicados con algunos años de intervalo. Donde un yacimiento es originalmente situado en la margen izquierda de un río, una subsiguiente publicación lo muestra en su margen derecha; donde un yacimiento aparece en la cima de un cerro, un mapa posterior lo muestra en su ladera.

Tales errores, que por supuesto comprometen seriamente la posibilidad de interpretar los (trabajosamente obtenidos) datos de la prospección en términos de análisis espacial o de gestión patrimonial, son en parte achacables a la falta de formación básica en materia de cartografía que hemos padecido (y desafortunadamente seguimos padeciendo) arqueólogos y arqueólogas, así como también a la limitación de los medios técnicos con los que se ha abordado la tarea hasta hace unos años.

En el caso de Andalucía (como en la mayor parte de España), la cartografía que se había venido utilizando hasta comienzos de los años 1990 para ubicar los yacimientos arqueológicos (y así obtener sus coordenadas), era el Mapa Topográfico Nacional (MTN) a escala 1:50.000 confeccionado por el Instituto Geográfico Nacional (con la colaboración del Servicio Geográfico del Ejército), entre 1875 y 1968 (Estébanez y Puyol, 1976:4). Sobre esa escala, las magnitudes de algunas decenas de metros en que (normalmente) se desenvuelven los yacimientos arqueológicos, solo podían ser reflejadas con una aproximación de decenas (a veces incluso centenas) de metro: un milímetro sobre un mapa a escala 1:50.000 supone 50 metros de terreno, y el ojo humano está mal preparado para distinguir magnitudes inferiores a un milímetro. Por ello, *a posteriori*, se generaba una alta imprecisión e incertidumbre respecto a la lo-

calización exacta de los eventos arqueológicos, por no hablar de su forma o extensión, que no era físicamente representable sobre tales mapas. No es extraño, pues, que cuando en 1996 se abordó por primera vez la migración a un entorno SIG del inventario de yacimientos arqueológicos de Andalucía (que hasta entonces se había alimentado fundamentalmente de los datos obtenidos de cartas arqueológicas dependientes de la cartografía 1:50.000), uno de los problemas más serios detectados fueron los errores de georreferenciación (Amores Carredano y otros, 1997; 1999; 2000). Es más, solo mediante su transferencia y visualización en un SIG se hizo posible la detección de errores de georreferenciación de numerosos yacimientos arqueológicos que habían pasado inadvertidos durante años (debido a las limitaciones inherentes a la gestión manual de los datos), dando así paso al establecimiento de las oportunas medidas de corrección. Otros inventarios regionales y nacionales de yacimientos arqueológicos han experimentado problemas semejantes al utilizar coordenadas incorrectamente obtenidas o designadas en el curso de prospecciones de superficie (García Sanjuán y Wheatley, 1999:210-211).

Naturalmente, la gradual disponibilidad de cartografía topográfica y temática a mayor escala (1:25.000, 1:10.000) ha contribuido de manera notable a mejorar la calidad de la georreferenciación manual en la prospección arqueológica de superficie. La aparición a comienzos de los 1990 de la serie topográfica 1:10.000 de la Consejería de Obras Públicas y Transportes (COPT) de la Junta de Andalucía vino a mejorar mucho la calidad de la georreferenciación de los yacimientos arqueológicos andaluces, permitiendo que la cantidad e importancia de los errores disminuyera en las prospecciones realizadas a partir de entonces y permitiendo asimismo la representación de la forma y extensión de los eventos arqueológicos sobre una plataforma SIG (Fernández Cacho, 2002a; 2002c).

b) Sin embargo, el avance que ha permitido dar el paso definitivo hacia la cualificación de la georreferenciación arqueológica ha sido la extensión definitiva de una tecnología intrínsecamente ligada a los SIG: el *Sistema de Posicionamiento Global* o, en sus siglas inglesas, *GPS (Global Positioning System)*. Dada su creciente accesibilidad económica, su precisión y su carácter portátil, la incorporación de la tecnología GPS en el trabajo arqueológico de campo, y muy especialmente a la prospección de superficie, ha sido fulgurante, aportando una solución definitiva al viejo problema de la calidad de la georreferenciación arqueológica (Amado Reino, 1997; Estrada, 1997; Colosi *et alii*, 2001a; 2001b; Gabrielli, 2001).

En lo que se refiere a su agilidad, la utilización de receptores GPS en la prospección de superficie permite generar listas de cientos de pares de coordenadas (por ejemplo de los nodos de los polígonos que delimitan cada yacimiento) en ficheros de texto simple que pueden luego ser automáticamente leídos desde un SIG. De hecho, una de las formas más comunes de generar una cobertura de yacimientos en un SIG es mediante la lectura de ficheros ASCII que contienen las coordenadas de los puntos, líneas o polígonos utilizados para representar los eventos arqueológicos identificados en el campo (Wheatley y Gillings, 2002:71). Ello, naturalmente, simplifica y agiliza enormemente procedimientos que hasta hace no muchos años se hacía de forma enteramente manual.

En lo que respecta a su precisión, como es sabido, el Sistema de Posicionamiento Global incluía hasta hace muy poco tiempo un error deliberado introducido por el gobierno de los EEUU, error que ha quedado recientemente eliminado, por lo que incluso los aparatos más económicos y sencillos pueden alcanzar muy elevadas precisiones, con márgenes de error de escasos metros por lo general aceptables para la prospección arqueológica de superficie. Pero incluso si tales márgenes de error no son aceptables por cualesquiera razones, la utilización de GPS diferenciales permite actualmente obtener precisiones centimétricas y subcentimétricas en la ubicación de los eventos arqueológicos sobre el terreno, lo que ha dado paso a la utilización de los mismos, no ya para la ubicación de yacimientos, sino para la ubicación de estructuras y artefactos a nivel semi-micro o dentro de una excavación (tarea que hasta ahora venían realizando las estaciones totales), así como para la elaboración de microtopografías de alta precisión de yacimientos individuales (este tema es discutido de forma más monográfica en la siguiente sección de este trabajo).

c) Un último efecto claramente beneficioso que ha tenido la aplicación de los SIG en cuanto a la georreferenciación de yacimientos arqueológicos es la tendencia a la unificación de sistemas de proyección y a la racionalización y normalización de la designación de coordenadas. Un problema general de la cartografía arqueológica ha sido durante muchos años la ausencia de uniformidad en cuanto a los sistemas de coordenadas empleados para ubicar los yacimientos prospectados - durante los cuatro últimos siglos se han desarrollado más de doscientas proyecciones cartográficas distintas (Raisz, 1978:73; Joly, 1979:48).

En el caso andaluz, las prospecciones de superficie de las que se ha alimentado el inventario regional de yacimientos arqueológicos habían, efectivamente, hecho uso de distintas proyecciones cartográficas (geográficas, Lambert, UTM) con sus respectivos sistemas de notación, lo que requirió un intensivo tratamiento previo de la información para su migración a un SIG (Amores y otros, 1996:155). Concretamente, se hicieron necesarias tres transformaciones. Primero fue preciso proceder a una uniformización de todas las coordenadas a la proyección UTM (*Universal Transversa Mercator*), la más aceptada internacionalmente en Arqueología desde hace años (Arroyo Bishop y Lantada Zarzosa, 1992:137). En segundo lugar, fue necesario tratar aquellas coordenadas que, habiendo sido obtenidas dentro de la proyección UTM, presentaban en su designación referencias a la cuadrícula militar CUTM, que incluye en la notación caracteres y dígitos, y no solo dígitos (Rossignoli Just, 1976:151-152), lo que la hace inadecuada para su tratamiento en un SIG. Finalmente fue preciso trasladar al huso 30 las coordenadas de los yacimientos situados en el huso 20, ya que esa es la norma seguida por las instituciones generadoras de cartografía de la Comunidad Autónoma Andaluza.

Aunque las distintas operaciones realizadas en el caso citado varían en cuanto a su dificultad o costo en tiempo y recursos (algunas, como por ejemplo la conversión de husos, son en la actualidad extremadamente sencillas actualmente gracias a las utilidades informáticas), la utilización de los SIG ha impuesto por sí misma una sistematización y racionalización en el tratamiento de las coordenadas cartográficas que permiten ubicar los eventos arqueológicos en el paisaje. El sistema actual de gestión del inventario andaluz de yacimientos tiene rutinas de detección automática de erro-

res en las coordenadas de los nuevos yacimientos que, procedentes de prospecciones de campo, son dados de alta en la base de datos (Fernández Cacho, 2002b). Esta tendencia a la normalización puede ser considerada bastante beneficiosa, ya que impone la toma de una serie de decisiones conscientes, argumentadas y explícitas que agilizan y hacen más efectivo el tratamiento y transferencia de la información arqueológica.

#### 4.- Representación.

El tercer ámbito en el que la introducción de los SIG ha tenido un efecto positivo en la calidad de la prospección de superficie es el de la *representación cartográfica arqueológica*. El resultado tangible más inmediato de cualquier prospección es un mapa de la distribución de yacimientos en el territorio prospectado (Price y otros, 1995:159). A este respecto cabe destacar dos temas principales: (a) la inteligibilidad de los mapas arqueológicos y (b) la realización de microtopografías como alternativa a la representación geométrica simple de los eventos arqueológicos.

a) Como disciplina responsable de la producción de mapas, la cartografía ha desarrollado a lo largo del tiempo criterios y procedimientos altamente formalizados y contrastados por la experiencia para la representación bidimensional de la información (Raisz, 1978:117-139; Joly, 1979:69-119). La elaboración de mapas supone un ejercicio reflexivo y técnicamente cualificado de utilización de elementos gráficos significativos para el ojo humano, al objeto de hacer inteligible el mensaje propuesto. Esta *semiótica cartográfica* requiere un uso informado y pautado de los símbolos, tanto en cuanto a sus elementos (forma, tamaño, color, tono, grano, orientación) como en cuanto a sus tipos (pictogramas, ideogramas, tramas).

La cartografía arqueológica no es en este sentido distinta de cualquier otra cartografía, teniendo como finalidad básica comunicar de forma efectiva una información mediante un impacto visual inmediato, destacando lo que es necesario destacar y simplificando, sin distorsionarla, la información a transmitir (Priestley, 1992:98). En el caso de las prospecciones de superficie (o, por extensión, el reconocimiento arqueológico del territorio), esa información a transmitir se presenta, generalmente, en forma de distribuciones de yacimientos y eventos arqueológicos, así como en forma de planos de yacimientos individuales de especial importancia.

Para valorar la significación que los SIG han tenido en relación con este aspecto de la prospección de superficie resulta práctico hacer referencia a la situación anterior a su aparición y extensión. Tomando de nuevo como referente el caso de la Arqueología andaluza, una revisión *ad hoc* y asistemática (es decir, sin voluntad de establecer conclusiones estadísticas) de los *Anuarios Arqueológicos* (entendiendo que pueden ser considerados una muestra tan representativa como cualquier otra de la práctica arqueológica realizada dentro esta comunidad autónoma) resulta bastante ilustrativa. De acuerdo con esta revisión, en los *Anuarios* publicados en la segunda mitad de los 1980 y primera mitad de los 1990 la calidad de los mapas arqueológicos es por lo general limitada o baja. Tanto así, que más que de verdaderos mapas, cabe hablar de *croquis* arqueológicos, escasos en precisión y en detalles y, con cierta frecuencia, escasamente inteligibles. La ausencia de escalas, leyendas y orientación es muy fre-

cuenta, como lo es la utilización de trazos someros hechos a mano para indicar la distribución de los yacimientos arqueológicos sobre la porción correspondiente del MTN o de la cartografía topográfica de la COPT de la Junta de Andalucía. La calidad de la reproducción gráfica de muchos de los *Anuarios* de esos años no ayuda a realzar la inteligibilidad de la cartografía en ellos publicada.

En los *Anuarios* correspondientes a la segunda mitad de los 1990, mejora bastante la calidad general de la cartografía arqueológica. Se hace evidente la extensión de la utilización de programas informáticos, sobre todo de CAD (para planos y plantas de excavaciones) y de análisis topográfico, con representaciones tridimensionales del terreno que se aproximan bastante al concepto de modelo digital del terreno, aunque no se trate de coberturas topográficas propiamente dichas (es decir, gestionadas dentro de un SIG). Los primeros mapas claramente elaborados en un SIG aparecen en los *Anuarios* correspondientes a 1993 (publicado en 1997) y 1994 (publicado en 1999), es decir, en fechas más bien tardías. El primero de ellos corresponde a un mapa, elaborado en Arc Info, de distribución de yacimientos de la Edad del Bronce de Sierra Morena occidental sobre una cobertura de altimetría (García Sanjuán, 1997) que es parte de una investigación más amplia sobre el poblamiento prehistórico de esa región que hizo un uso extensivo de los SIG (García Sanjuán, 1999). El segundo corresponde a una serie de mapas, elaborados en Arc View, que muestran la distribución de yacimientos de época ibérica a moderna en el municipio de Écija (Sevilla), utilizando una serie de coberturas tanto geográficas generales (tipos de suelo, red fluvial, altimetría) como específicamente arqueológicas (por ejemplo vías romanas) (Sáenz Fernández y otros, 1999) y que son parte de un amplio proyecto de análisis de la evolución del poblamiento de la zona (Sáenz Fernández y otros, 2000).

Las ventajas derivadas de la utilización de los SIG para la inteligibilidad de la cartografía arqueológica son más que aparentes y no deberían requerir demasiada discusión, dado que el diseño y producción de mapas es una de las funcionalidades básicas para las que dichos sistemas informáticos están concebidos. En todo caso baste mencionar aspectos básicos del tratamiento de los elementos gráficos del mapa tales como la proporcionalidad y escala en la distribución, la combinación de múltiples elementos (colores, tramas, grosores, tamaños y formas de los símbolos), la selección de los elementos más relevantes, la claridad y la nitidez en el trazado, etc. Este punto queda bastante bien ilustrado en las Figuras 6 y 7, que muestran la distribución de yacimientos en torno al embalse de Aracena, en Sierra Morena occidental. En la Figura 6, una versión raster y georreferenciada del MTN a escala 1:50.000 es utilizada como base para visualizar la distribución de yacimientos (representados como puntos) de forma semejante a como se ha hecho durante muchos años en las publicaciones de los *Anuarios*. Este mapa es escasamente inteligible, ya que la información arqueológica se sobrepone de forma directa a un mapa ya de por sí cargado con bastante información. En la Figura 7, en cambio, se ha hecho una *selección* de elementos cartográficos: las curvas de nivel del MTN han sido digitalizadas separadamente como elemento de especial interés arqueológico y se ha combinado con la cobertura de hidrología y embalses del mapa digital de Andalucía. Cuando los puntos que representan los yacimientos arqueológicos son mostrados con esta selección de temas cartográficos, la inteligibilidad del mapa (y por tanto su calidad) aumenta considerablemente.

Si hace 10 años los elevados costos económicos del *software* y *hardware* y la dificultad de manejo de los programas (por la escasa *amistosidad* de los interfaces de usuario) hacían del uso de los SIG en proyectos y trabajos arqueológicos una pequeña aventura, en la actualidad, y por las razones exactamente opuestas (es decir, por el enorme abaratamiento de costes que se ha producido y por la aparición de una generación de programas de manejo más sencillo) resulta difícilmente aceptable que la cartografía arqueológica se publique con bajos niveles de calidad. Un buen mapa de la distribución de un fenómeno en el espacio invita al ojo humano a buscar pautas e incita al cerebro a hacerse preguntas: en este sentido, una visualización cualificada como que la que aportan los SIG constituye siempre un primer paso en la dirección correcta, es decir, hacia una buena interpretación de los datos (Goodchild, 1996:242; Kvamme, 1999:160). Pero además, los SIG pueden y deben ser utilizados para algo más que para re-elaborar de forma más profesional la tradicional cartografía arqueológica “de puntos sobre un mapa” (Quesada Sanz y Baena Preysler, 1997:94), ya que posibilitan la generación de mapas analíticos y temáticos que contribuyan a la interpretación arqueológica, utilizando plenamente las técnicas de análisis y manipulación de la información espacial de que disponen (interpolación, cálculo de visibilidad, distancia, topografía, etc.).

b) El segundo de los temas relativos a la *representación cartográfica arqueológica* en el que los SIG están teniendo un impacto importante es el de los formatos de representación de los propios eventos arqueológicos. La representación cartográfica del registro arqueológico en un SIG se ha resuelto hasta ahora asumiendo grados variables de simplificación (recordemos que toda representación cartográfica de la realidad implica por definición un cierto grado de abstracción) según los cuales, conjuntos *continuos* de evidencias materiales identificadas en superficie con límites imprecisos, son transformados en entidades geométricas más o menos simples tales como puntos, líneas y polígonos.

Idealmente, la representación espacial de las entidades arqueológicas identificadas en la prospección de superficie podría basarse en datos precisos de esas evidencias materiales localizadas en superficie (artefactos, restos de muros, terrazas, etc.), o, de existir, en *cartografía del subsuelo* derivada de prospecciones geofísicas. Naturalmente, los límites a este respecto los imponen los recursos financieros disponibles para cada prospección. La inmensa mayoría de los inventarios de yacimientos arqueológicos europeos carecen de tales representaciones detalladas excepto para los yacimientos considerados más excepcionales y de mayor importancia, recurriéndose en cambio a la utilización de formas geométricas tales como puntos y polígonos para representar cartográficamente los yacimientos (Wheatley y García Sanjuán, 2002:157).

En el caso del inventario de yacimientos arqueológicos de Andalucía, la mayoría de los yacimientos arqueológicos son representados espacialmente como un punto, es decir, con un único par de coordenadas, lo cual es consecuencia directa de la imprecisión georreferencial en que (según se ha discutido antes) se desarrollaron la mayor parte de las prospecciones arqueológicas que sirvieron para alimentar dicho inventario. Tales puntos no pueden dar cuenta de propiedades fundamentales de los

yacimientos arqueológicos tales como la topografía, forma o extensión. Las representaciones poligonales, más costosas, puesto que requieren observaciones de campo más detalladas, permiten en cambio mejorar sensiblemente la calidad de la representación de los eventos arqueológicos.

Sin embargo, la creciente disponibilidad de la tecnología GPS y su versátil integración con los SIG está posibilitando nuevas y más satisfactorias formas de representación de las entidades arqueológicas, abriendo el camino a la futura superación de las limitaciones inherentes a las formas geométricas simples. Los GPS diferenciales trabajan con dos receptores, uno en movimiento y otro fijo como estación base, de forma que los datos relativos a las diferencias entre las posiciones registradas y reales de cada satélite pueden ser procesados por la estación base para calcular las correcciones correspondientes a la posición del receptor móvil (Wheatley y Gillings, 2002:73). Si es programado en modo lectura continua automática, el GPS diferencial puede registrar las coordenadas y la altitud de la localización del operador que porta el receptor móvil a cada cierto tiempo o a cada cierta distancia de desplazamiento.

En el curso de las prospecciones de superficie realizadas en la zona de afección del embalse de Los Melonares (Sevilla) entre 2001 y 2002 (García Sanjuán y otros, 2003), se han realizado micro-topografías de alta resolución de una serie de yacimientos identificados al objeto de lograr, primero, su precisa georreferenciación, y segundo una representación de su forma, tamaño y topografía lo más exacta posible. Para ello se utilizó un GPS diferencial de alta resolución modelo Leica SR530 configurado para reconocimiento RTK (*Real Time Kinematics*) que incluye dos receptores conectados vía radiomodem. La pauta de reconocimiento microtopográfico se adaptó a las peculiaridades de cada yacimiento, pero de forma general puede decirse que se utilizó como referencia para la captura de datos de longitud, latitud y altitud una malla de puntos con una separación media de entre 25 y 50 cms. Para cada yacimiento reconocido se capturaron varios miles de puntos con una precisión media de entre 2 y 3 cm. horizontalmente (latitud y longitud en coordenadas UTM) y de entre 4-8 cm. verticalmente (altitud).

Tomando como ejemplo la micro-topografía realizada para el yacimiento Dolmen de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla), en una hora y 45 minutos de trabajo con el GPS diferencial se obtuvieron 4397 puntos en un área de 4605 m<sup>2</sup>, lo cual supone casi una lectura por metro cuadrado (exactamente 0.95 cotas/ m<sup>2</sup>) para un área de poco más de 7 metros de desnivel (altitud máxima sobre el nivel del mar 238,9 metros, altitud mínima 231,6) (Figuras 8 y 9). La información obtenida fue exportada en forma de un fichero ASCII muy sencillo con cuatro columnas (identificador, longitud, latitud y altitud) al SIG Arc View 3.2., en el que se realizó una interpolación de las cotas al objeto de obtener un mapa de curvas de nivel de la micro-topografía del yacimiento (Figura 10). Este mapa tiene un intervalo de 1 cm de altitud entre cada curva de nivel y ha sido utilizado para crear un modelo digital de elevación de alta resolución del monumento megalítico (Figuras 11 y 12). El registro realizado sobre el terreno incluyó la georreferenciación de la cuadrícula que se había trazado sobre el yacimiento para su posterior excavación, así como de diversos ortostatos que se encontraban desplazados, rodados por las laderas del túmulo dolménico. El tiempo

aproximado de procesamiento de los datos obtenidos sobre el terreno para generar dicha representación microtopográfica del yacimiento fue de una hora.

El mapa de curvas de nivel obtenido puede ser comparado con el levantamiento topográfico realizado de este mismo yacimiento en 1996 con medios convencionales (Figura 13). Este mapa del yacimiento fue elaborado tras una mañana completa de trabajo de campo y otra mañana de trabajo de delineación, y fue elaborado a mano y entregado en soporte papel (por lo que su manipulación o transformación en un SIG hubiera requerido un importante trabajo de digitalización) mostrando curvas de nivel con un intervalo de 25 centímetros (es decir 25 veces más que la microtopografía GPS).

En la experiencia acumulada en el transcurso de las citadas prospecciones, una jornada bien aprovechada de trabajo permitía la prospección micro-topográfica intensiva de tres yacimientos que no se encontrasen demasiado distantes entre sí. Ello supone que la realización de mapas y topografías a escala semi-micro de yacimientos y sus estructuras individuales se está haciendo rápidamente accesible. Los GPS diferenciales todavía requieren costos de inversión inicial considerables (o al menos considerables para lo que son los presupuestos arqueológicos habituales en Andalucía). Pero estos costos pueden ser amortizados en términos de eficacia en la gestión y en la protección si el uso de la tecnología GPS-SIG se aplica a la representación de yacimientos arqueológicos de singular importancia. Al fin y al cabo, si para estimar la extensión y forma de un yacimiento sobre el terreno y así representarlo como un polígono en un SIG es necesario recorrerlo a pie, igual da hacer dicho recorrido cargando con los escasos tres kilos del equipo portátil de un GPS diferencial, con lo cual, sin apenas trabajo adicional, se está obteniendo automáticamente una representación de alta resolución de la topografía del mismo.

Cuando, como en el caso de Dolmen de Palacio III, existen topografías antiguas (elaboradas con medios pre-SIG) de un yacimiento dado, pueden plantearse alternativas a la captura directa de datos para la realización de modelos digitales del terreno. Siempre y cuando la topografía original presente el suficiente nivel de detalle, es posible transferir dicha cartografía a un entorno SIG para obtener resultados parecidos a los alcanzados con un GPS de alta resolución. Un ejemplo de este tipo de procesamiento de la información de la prospección de superficie es el trabajo realizado con el asentamiento de la Edad del Bronce de El Trastejón (Zufre, Huelva), excavado por el profesor V. Hurtado Pérez. De este yacimiento se disponía de un levantamiento topográfico en papel realizado manualmente en 1988 a escala 1:2000. Para obtener un MDT se procedió primero a una rasterización de esa imagen fuente; la imagen raster resultante fue manipulada para acentuar el contraste de blancos (fondo neutro de la imagen) y negros (curvas de nivel), creándose así una base digital binaria en formato TIFF. Esta imagen raster fue a continuación vectorizada de modo automático mediante un *software* específico (Figura 14), generándose un fichero DXF que fue entonces georreferenciado e importado en un SIG, donde ha sido posible obtener un modelo digital del terreno del yacimiento, que como permiten apreciar la Figura 15, es de gran precisión.

Con un desnivel real de 87 metros (cota máxima de 427 y mínima de 340), el MDT de El Trastejón tiene curvas de nivel a intervalos de 1 metro de altitud, lo cual representa una precisión exactamente 100 veces inferior a la obtenida en el Dolmen de Palacio III. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el tamaño del área cubierta por la topografía es de 218.237 m<sup>2</sup> (21,8 hectáreas), esto es, casi 50 veces más grande que la del Dolmen de Palacio III.

Con independencia de las condiciones de precisión aplicables, la utilización de los SIG permite actualmente representar las entidades arqueológicas, incluso a nivel de reconocimiento superficial, con un alto grado de detalle. Ello supone una alternativa verosímil (y cada vez más asumible en términos de costes) para superar las limitaciones de la dualidad punto-polígono en la representación cartográfica de los yacimientos.

## 5.- Integración.

El cuarto y último aspecto de la prospección arqueológica en el que la utilización de los SIG ha supuesto un potente progreso de eficacia y fiabilidad es el de la *integración* de datos. Si hay una característica que defina la singularidad de los SIG como sistemas de información, esa es probablemente su capacidad para integrar datos procedentes de múltiples fuentes, en múltiples formatos y su capacidad para representarlos de forma integrada de múltiples maneras diferentes (pantallas, salidas gráficas cartográficas, tablas numéricas, gráficos estadísticos, etc.). Una de las operaciones más simples a realizar en un SIG es la conexión de los elementos espacialmente referenciados con los atributos almacenados en una base de datos alfanumérica mediante los códigos de identificación únicos de los registros. Otra operación, no menos simple y habitual en el manejo de cualquier SIG, es la superposición y combinación de elementos espacialmente referenciados procedentes de diversas fuentes que, en el caso de la prospección arqueológica, pueden ser imágenes de la superficie terrestre obtenidas desde el aire o desde el espacio, imágenes del subsuelo obtenidas mediante prospección geofísica, mapas digitales modernos, mapas antiguos e históricos, etc. (Kvamme, 1999:167-168; Wheatley y Gillings, 2002:74-81; etc.)

La utilización de fotografías aéreas como base para el reconocimiento arqueológico del territorio tiene ya casi un siglo de antigüedad. A partir de ciertos indicios de tipo edáfico, fitográfico o micro-topográfico, desde cierta altura es posible ver anomalías de la superficie terrestre que se corresponden con evidencias de tipo arqueológico y que pasan desapercibidas a ras de suelo. La interpretación de esos indicios es más factible mediante el oportuno reconocimiento directo del sitio, lo hace que la integración de los datos de observación directa (por ejemplo micro-topografías como las descritas anteriormente) con fotografías aéreas, sea de gran utilidad para la interpretación de la prospección de superficie. No obstante, conviene recordar que en algunos inventarios nacionales y regionales de yacimientos de Europa existen registros dados de alta como *posibles* yacimientos o entidades arqueológicas a partir de anomalías observadas en fotografías aéreas y que nunca han sido visitados o prospectados directamente (Murray, 2002).

Las fotografías aéreas más aptas para su representación combinada con otros elementos cartográficos son las verticales (de hecho la fotografía aérea vertical es utilizada desde hace tiempo para elaborar mapas mediante la fotogrametría), aunque estas tienen sin embargo una capacidad más limitada para revelar anomalías arqueológicas. Las fotografías aéreas que más resultados proporcionan en cuanto a detección de sitios arqueológicos nuevos son las oblicuas, aunque estas a su vez son más difíciles de utilizar en combinación con otros mapas por las distorsiones que se producen en el proceso de rectificación (Wheatley y Gillings, 2002:75). A pesar de estos inconvenientes, las fotografías aéreas tanto verticales como oblicuas pueden ser utilizadas en un SIG en combinación con otros mapas e imágenes. La utilización de las fotografías aéreas dentro de un SIG no incrementa necesariamente la probabilidad de detección de yacimientos arqueológicos nuevos, aunque la posibilidad de visualizarlas de forma interactiva con otros temas geográficos y mapas sí aumenta su potencial interpretativo y explicativo.

La revisión no sistemática de los *Anuarios Arqueológicos* a la que se hizo referencia anteriormente sugiere que la fotografía aérea ha jugado un papel bastante marginal (si no anecdótico) en la metodología de prospección de superficie aplicada en la Comunidad Autónoma Andaluza. La discusión de las posibles razones que expliquen este fenómeno excede el ámbito de interés de este artículo, pero en todo caso, cabe razonablemente esperar que la extensión de los SIG estimule su utilización a lo largo de los próximos años, dadas las facilidades que estos sistemas ofrecen para su visualización dinámica con otras variables espaciales, según se ha comentado antes. Algunos ejemplos puede servir para ilustrar este punto.

La Figura 16 muestra un mosaico de ortofotos a escala 1:10.000 del curso alto de la Rivera de Huelva, un sector de en Sierra Morena occidental al que se hizo referencia anteriormente. Los cuadros corresponden a la malla de hojas de la serie topográfica a escala 1:10.000 de la COPT, mientras que los puntos representan a los yacimientos arqueológicos de la Prehistoria Reciente de la zona. En la Figura 17 se ha hecho una ampliación a una zona concreta del curso alto de la Rivera de Huelva, concretamente el entorno del embalse de Aracena, donde existe una concentración importante de sitios prehistóricos. Una nueva ampliación de esa serie de ortofotos permite visualizar un yacimiento individual, en el caso de la Figura 18 el asentamiento de la Edad del Bronce de La Papúa y las diferentes localizaciones funerarias a las que se asocia. Dado el carácter vertical de la fotografía es difícil individualizar elementos o estructuras arqueológicas, aunque sí es posible percibir sin dificultades claras diferencias en el tipo de cobertura del suelo (zonas de vegetación arbustiva frente a zonas peladas), lo cual es de gran relevancia para la planificación y preparación de la prospección (la visibilidad del registro arqueológico en superficie es una función de, entre otros factores, el tipo de cobertura vegetal predominante).

Mediante su manipulación dentro de un SIG, las fotografías aéreas pueden ser utilizadas en combinación con un modelo de elevación del terreno para proporcionar una representación muy realista del paisaje, de forma que es posible visualizar tridimensionalmente una fotografía aérea desde cualquier perspectiva (ángulo o altura) (Ojeda Zújar, 2002:118). Esto es lo que se ha hecho precisamente en la Figura 20, donde a un MDT previamente generado a partir de la digitalización del mapa topográfico

1:10.000 de la COPT (Figura 19), se han superpuesto el mosaico de ortofotos ya señalado anteriormente.

Otro buen ejemplo de modelización de las condiciones del paisaje mediante un SIG se obtiene de las prospecciones llevadas a cabo de la zona de afección del embalse de Los Melonares (Sevilla) ya anteriormente citadas (García Sanjuán y otros, 2003). Aquí, de nuevo sobre un MDT generado a partir de la cartografía 1:10.000 de la COPT (Figura 21), se muestra la distribución de los yacimientos localizados en la zona de inundación del pantano. En la Figura 22 se ha simulado una situación de inundación máxima del pantano (cota de 82 metros), comprobándose de forma efectiva los yacimientos que desaparecen bajo el agua.

## 6.- Recapitulando.

En resumen, la introducción de los SIG ha contribuido de de diversas formas a la sistematización, racionalización y cualificación de la prospección arqueológica de superficie.

(i) Dando un mayor abanico de posibilidades para la planificación y diseño de la prospección mediante el análisis de las condiciones geográficas y arqueológicas imperantes en una zona.

(ii) Permitiendo identificar problemas y errores presentes en la georreferenciación de yacimientos descubiertos mediante prospecciones de superficie anteriores y luego publicados o registrados en diversos medios (cartas arqueológicas, inventarios oficiales, etc.) y que habían pasado desapercibidos durante años.

(iii) Incrementando la precisión en cuanto a la georreferenciación de los yacimientos y entidades arqueológicas descubiertos *ex novo*.

(iv) Posibilitando la elaboración de una cartografía arqueológica más inteligible, es decir capaz de transmitir con mayor eficacia los resultados obtenidos.

(v) Posibilitando una elaboración económica de cartografía topográfica de alta resolución de yacimientos individuales.

(vi) Incrementando la eficacia de la integración de mapas y representaciones diversas del paisaje, notablemente fotografías aéreas y mapas del subsuelo obtenidos mediante prospección geofísica.

## 7.- Referencias.

- Aldenderfer, M. y Maschner, H. (Ed.) (1996): *The Anthropology of Human Behaviour through Geographic Information and Analysis*. London. Oxford University Press
- Allen, K. M. - Green, S. - Zubrow, E. (Eds.) (1990): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. London. Taylor and Francis
- Amado Reino, X. (1997): "La aplicación del GPS a la Arqueología." *Trabajos de Prehistoria* 54 (1), 155-165. Madrid. CSIC
- Amores Carredano, F. - García Sanjuán, L. - Hurtado Pérez, V. - Márquez Rosales, H. - Rodríguez, M. C. (1996): "Una experiencia piloto de transferencia a soporte SIG del inventario de yacimientos arqueológicos de Andalucía." *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* 15, 153-162. Sevilla. Junta de Andalucía.
- Amores Carredano, F. - Hurtado Pérez, V. - Márquez Rosales, H. - Rodríguez, M. C. - García Sanjuán, L. - Ladrón De Guevara, M. C. - Fernández Cacho, S. (1997): "Planteamientos y primeros resultados de la transferencia a soporte SIG del Inventario de Yacimientos Arqueológicos de Andalucía." *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico* 17, 124-133. Sevilla. Junta de Andalucía
- Amores Carredano, F. - García Sanjuán, L. - Hurtado Pérez, V. - Rodríguez, M. C. (1999): "Geographic Information Systems and Archaeological Resource Management in Andalusia (Spain)." En Barceló, J. A. - Briz, I. - Vila, A. (Eds.): *New Techniques for Old Times. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1998*. BAR International Series 757, 351-358. Oxford. Archaeopress
- Amores Carredano, F. - García Sanjuán, L. - Hurtado Pérez, V. - Márquez Rosales, H. - Rodríguez, M. C. (2000): "An exploratory GIS approach to the Andalusian archaeological Heritage records." En Lockyear, K. Sly, T. - Mihailescu-Birliba, V. (Eds.): *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology Conference 1996*. British Archaeological Reports International Series 845, 101-115. Oxford. Archaeopress
- Arroyo Bishop, D. y Lantada Zarzosa, M. T. (1992): "The ArchéoDATA System: a method for structuring an European Archaeological Information System." En Larsen, C. V. (Ed.): *Sites and Monuments. National Archaeological Records*, 133-153. Copenhagen. National Museum of Denmark
- Baena Preysler, J. - Blasco Bosqued, C. - Quesada Sanz, F. (Eds.) (1997): *Los SIG y el Análisis Espacial en Arqueología*. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid
- Bampton, M. (1997): "Archaeology and GIS: the view from outside." *Archeologia e Calcolatori* 8, 9-26. Firenze
- Barceló, J. A. - Pallarés, M. (1996): "A critique of GIS in archaeology. From visual seduction to spatial analysis." En Moscati, P. (Ed.): *III International Symposium on Computing and Archaeology*. *Archeologia e Calcolatori* 7, 313-326. Firenze
- Barceló, J.A. - Pallarés, M. (1998): "Beyond GIS: The archaeology of social spaces." *Archeologia e Calcolatori* 9. *Methodological Trends and Future Perspectives in the Application of GIS in Archaeology*. Firenze
- Brandt, R. - Groenewoudt, B. J. - Kvamme, K. L (1992): "An experiment in archaeological site location: modeling in the Netherlands using GIS techniques." *World Archaeology* 24, 268-282. London

- Castleford, J. (1991): "Archaeology, GIS and the time dimension: an overview." En Lock, G. y Moffet, J. (Eds.): *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 1991*. BAR International Series S577. Oxford
- Carmichel, D. L. (1990): "GIS predictive modelling of prehistoric site distributions in central Montana" En Allen, K. M. - Green, S. - Zubrow, E. (Eds.): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, 216-225. London. Taylor and Francis
- Claxton, J. B. (1995): "Future enhancements to GIS: implications for archaeological theory." En Lock, G. y Stancic, Z. (Eds.): *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, 335-348. London. Taylor and Francis
- Colosi, F. - Gabrielli, R. - Rose, D. (2001a): "Integrated use of DGPS and the total station for the survey of archaeological sites: the case of Colle Breccioso." En Stancic, Z. y Veljanovski, T. (Eds.): *Computing Archaeology for Understanding the Past. Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology 2000*, 9-12. Oxford. Archaeopress
- Colosi, F. - Gabrielli, R. - Peloso, D. - Rose, D. (2001b): "Impiego del Differential Global Positioning System (DGPS) per lo studio del paesaggio antico: alcuni esempi rappresentativi." *Archeologia e Calcolatori* 12, 181-198. Firenze
- Deeben, J.-Hallewas, D.P.-Kolen-Wierner, R. (1997): "Beyond the crystal ball. Predictive modelling as a tool in archaeological heritage management and occupation history" En Willems, W.J.H.-Kars, H.-Hallewas, D.P. (Eds.): *Archaeological Heritage Management in the Netherlands. Fifty Years State Service for Archaeological Investigations*, 76-118. Assen. Van Gorcum & ROB
- Estébanez, J. y Puyol, R. (1976): *Análisis e Interpretación del Mapa Topográfico*. Madrid. Tebar Flores
- Estrada, F. (1997): "GPS and GIS as aids for mapping archaeological sites." *Archaeological Computing Newsletter* 47, 5-10. Oxford. Institute of Archaeology
- Fernández Cacho, S. (Ed.) (2002a): *Arqueos. Sistema de Información del Patrimonio Arqueológico de Andalucía*. Sevilla. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico
- Fernández Cacho, S. (2002b) "La introducción de los SIG en la gestión de la información arqueológica: GeoARQUEOS." En Fernández Cacho, S. (Ed.) (2002a): *Arqueos. Sistema de Información del Patrimonio Arqueológico de Andalucía*, 97-115. Sevilla. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico
- Fernández Cacho, S. (2002c): "Arqueos. The information system of the Andalusian archaeological heritage" En García Sanjuán, L. y Wheatley, D. (Eds.): *Mapping the Future of the Past. Managing the Spatial Dimension of the European Archaeological Resource*, 22-37. Sevilla. Universidad de Sevilla
- Fernández Martínez, V. (1985): "Las técnicas de muestreo en la prospección arqueológica." *Revista de Investigación del Colegio Universitario de Soria* 9 (3), 7-47. Soria Colegio Universitario de Soria
- Fernández Martínez, V. y Lorrio Alvarado, A. (1986): "Relaciones entre datos de superficie y del subsuelo en yacimientos arqueológicos: un caso práctico" *Arqueología Espacial* 7, 183-198. Teruel. Colegio Universitario de Teruel
- Gabrielli, R. (2001): "Introduzione all'uso dei GPS in Archeologia." En AAVV: *Remote Sensing in Archaeology*, 1-25. Firenze. All'Insegna del Giglio
- Gaffney, V. - Stancic, Z. - Watson, H. (1995): "The impact of GIS on archaeology: a personal perspective." En Lock, G. y Stancic, Z. (Eds.): *Archaeology and Geographical Information Systems. A European Perspective*, 211-230. London. Taylor and Francis

- Goodchild, M. F. (1996): "Geographic information systems and spatial analysis in the social sciences." En Aldenderfer, M. y Maschner, H. (Eds.): *The Anthropology of Human Behaviour through Geographic Information and Analysis*, 241-250. London. Oxford University Press
- García Sanjuán, L. (1997): "Segunda intervención de urgencia en la necrópolis de la Edad del Bronce de La Travesía (Almadén de la Plata, Sevilla)." *Anuario Arqueológico de Andalucía/1993. Tomo III. Actividades de Urgencia*, 619-634. Sevilla. Junta de Andalucía
- García Sanjuán, L. (1999): *Los Orígenes de la Estratificación Social. Patrones de Desigualdad en la Edad del Bronce del Suroeste de la Península Ibérica (Sierra Mòrena Occidental c. 1700-1100 a.n.e./2100-1300 A.N.E.)*. British Archaeological Reports S823. Oxford. Archaeopress
- García Sanjuán, L. y Wheatley, D.W. (1999): "The state of the arc: differential rates of adoption of GIS for European heritage management" *European Journal of Archaeology* 2 (2), 201-226. London. European Association of Archaeologists
- García Sanjuán, L. y Wheatley, D. W. (Eds.) (2002): *Mapping the Future of the Past. Managing the Spatial Dimension of the European Archaeological Resource*. Sevilla. Universidad de Sevilla
- García Sanjuán, L. y Vargas Durán, M. A. (2002): "Prospecciones de Superficie en Almadén de la Plata (Sevilla)." *Anuario Arqueológico de Andalucía/1999*, 258-270 Sevilla. Junta de Andalucía.
- García Sanjuán, L. - Vargas Durán, M. A. – Wheatley, D. W. (2003- En prensa): "Prospecciones de superficie en la zona de afección del embalse de Los Melonares (Almadén de la Plata, El Pedroso y Castilblanco de los Arroyos, Sevilla)." *Anuario Arqueológico de Andalucía/2001*. Sevilla. Junta de Andalucía
- Gillings, M. y Wise, A. (Eds.) (1998): *GIS Guide to Good Practice*. Oxford. Oxbow
- Hurtado Pérez, V. - García Sanjuán, L. - Mondéjar, P. (1993): "Prospección en la Sierra de Huelva y estudio de materiales del yacimiento de El Trastejón. Campaña de 1991." *Anuario Arqueológico de Andalucía/1991*, 254-258. Sevilla. Junta de Andalucía
- Hurtado Pérez, V. - García Sanjuán, L. (1995): "Prospecciones de superficie en la Sierra de Huelva." *Anuario Arqueológico de Andalucía/1992*, 237-243. Sevilla. Junta de Andalucía
- Johnson, I. y North, M. (Eds.) (1995): *Archaeological Applications of GIS. Proceedings of Colloquium II, UISPP XIIIth Congress, (Forli, Italy September 1996)*. Sidney University Archaeological Methods Series 5. Sidney. Sidney University Press
- Joly, F. (1982): *La Cartografía*. Madrid. Ariel
- Kvamme, K. L. (1999): "Recent directions and developments in Geographical Information Systems." *Journal of Archaeological Research* 7 (2), 153-201.
- Lock, G. (Ed.) (2000): *Beyond the Map. Archaeology and Spatial Technologies*. Oxford. IOS Press
- Lock, G. y Stancic, Z. (Eds.) (1995): *Archaeology and Geographical Information Systems. A European Perspective*. London. Taylor and Francis
- Maschner, H. D. G. (Ed.) (1996): *New Methods, Old Problems. Geographic Information Systems in Modern Archaeological Research*. Carbondale. Centre for Archaeological Investigations
- Murray, D. (2002): "The integration of data sources" En García Sanjuán, L. y Wheatley, D. W. (Eds.) (2002): *Mapping the Future of the Past. Managing the Spatial Dimension of the European Archaeological Resource*, 139-150. Sevilla. Universidad de Sevilla

- Ojeda Zújar, J. (2002): "Los sistemas de información geográfica y la modelización del paisaje." En Zoido Naranjo, F. y Venegas Moreno, C. (Eds.): *Paisaje y Ordenación del Territorio. Aspectos Conceptuales, de Conocimiento y Fundamentos Legales*, 115-122. Sevilla. Consejería de Obras Públicas y Transporte de la Junta de Andalucía
- Petrie, L. - Johnson, I. - Culen, B. - Kvamme, K. (1995): *GIS in Archaeology. An Annotated Bibliography*. Sidney. Sidney University Press
- Plog, S. (1978): "Sampling in archaeological surveys: a critique" *American Antiquity* 43, páginas. Salt Lake City Society American Archaeology
- Plog, S. -Plog, F. -Wair, W. (1978): "Decision making in modern surveys." En Schiffer, M. B. (Ed.): *Advances En Archaeological Method and Theory* 1, 384-421. New York. Academic Press
- Price, S. – Morris, W. – Nixon, L. – Moody, J. (1995): "Mapmaking and computers." *Archeologia e Calcolatori* 6, 159-172. Firenze
- Priestley, G. (1992): "Cartografía para arqueólogos." En Rodá, I. (Ed.): *Ciencias, Metodologías y Técnicas Aplicadas a la Arqueología*, 96-116. Barcelona. Edicions La Caixa
- Quesada Sanz, F. - Baena Presyler, J. (1997): "Mapas temáticos a partir de cartografía digitalizada: hacia la resolución de problemas elementales." En Baena Preysler, J. – Blasco Bosqued, C. – Quesada Sanz, F. (Eds.): *Los SIG y el Análisis Espacial en Arqueología*, 93-110. Madrid. Universidad Autónoma de Madrid
- Raisz, E. (1978): *Cartografía General*. Barcelona. Omega
- Redman, C. L. y Watson, P. J. (1970): "Systematic, intensive surface collection." *American Antiquity* 35, 279-291. Salt Lake City
- Rogge, A. E. y Fuller, R. S. (1977): "Probabilistic survey sampling: making parameter estimates" En Schiffer, M. B. y Gumerman, C. J. (Eds.): *Conservation Archaeology*, 227-238. New York. Academic Press
- Rossignoli Just, J. L. (1976): *Proyección Universal Transversa Mercator*. Madrid. Servicio Geográfico del Ejército
- Ruiz Zapatero, G. (1983): "Notas metodológicas sobre prospección en Arqueología." *Revista de Investigación del Colegio Universitario de Soria* 7 (3), 8-23. Soria. Colegio Universitario de Soria
- Ruiz Zapatero, G. (1988): "La prospección arqueológica en España: pasado, presente y futuro." *Arqueología Espacial* 12, 33-47. Teruel. Colegio Universitario de Teruel
- Ruiz Zapatero, G. y Burillo Mozota, F. (1988): "Metodología para la investigación en arqueología territorial." *Munibe* 6, 45-64. San Sebastián
- Ruppe, R. J. (1966): "The archaeological survey: a defence." *American Antiquity* 31, 313-333. Salt Lake City
- Sáenz Fernández, P. - Ordóñez Agulla, S. - Sánchez Gil de Montes, J. - Muñoz Tinoco, J. - Márquez Pérez, J. (1999): "Estudio diacrónico de procesos de territorialización: el modelo de Écija, Sevilla. La investigación arqueológica." *Anuario Arqueológico de Andalucía/1994*. Tomo II. *Actividades Sistemáticas*, 167-185. Sevilla. Junta de Andalucía
- Sáenz Fernández, P.- Ordóñez Agulla, S.- García Vargas, E.- García-Dils De La Vega, S. (2000): "Aplicaciones de los SIG al territorio y casco urbano de Écija (Sevilla). Proyecto AstiGIS." En Sande Lemos, F. - Baena Preysler, J. - Dantas Giestal, C. -Rocha, G. (Eds.): *Sistemas de Informação Ar-*

queológica. *SIG's Aplicados à Arqueologia da Península Ibérica*. Vol 10 *Actas 3 Congresso Arqueologia Peninsular*, 15-42. Porto. ADECAP

Sande Lemos, F. - Baena Preysler, J. - Dantas Giestal, C. - Rocha, G. (Eds.) (2000): *Sistemas de Informação Arqueológica. SIG's Aplicados à Arqueologia da Península Ibérica*. Vol 10 *Actas 3 Congresso Arqueologia Peninsular*. Porto. ADECAP

Schiffer, M. B. -Sullivan, A. P. -Klinger, T. C. (1978): "The design of archaeological surveys." *World Archaeology* 10 (1), 1-28. London

Voorrips, A. (1996): "Archaeological theory and GIS, any relations?" *Proceedings of the XIII International Congress of Prehistoric and Protohistoric Sciences (Forli)*. Volume 1. *Theoretical and Methodological Problems*, 209-214. Forli. UISPP

Warren, R. E. (1990): "Predictive modelling in archaeology: a primer." En Allen, K. M. - Green, S. - Zubrow, E. (Eds.): *Interpreting Space: GIS and Archaeology*, 90-111. London. Taylor and Francis

Wheatley, D. (1993): "Going over old ground: GIS, archaeological theory and the act of perception." En Andresen, J. - Madsen, T. - Scollar, I. (Eds.): *Computing the Past. Proceedings of the 1992 CAA Conference (Aarhus, March 1992)*, 133-137. Aarhus. Aarhus University Press

Wheatley, D. (1996): "Between the lines: the role of GIS-based predictive modelling in the interpretation of extensive survey data." En Kammermans, H. -Fennema, K. (Eds.): *Interfacing the Past, Analecta Praehistorica Leidensia* 28, 275-292. Leiden. Leiden University Press

Wheatley, D. y Gillings, M. (2002): *Spatial Technology and Archaeology. The Archaeological Application of GIS*. London. Taylor & Francis

Wheatley, D.W. - García Sanjuán, L. (2002): "Managing the spatial dimension of the European archaeological resource. Trends and perspectives." En García Sanjuán, L. y Wheatley, D. W. (Eds.): *Mapping the Future of the Past. Managing the Spatial Dimension of the European Archaeological Resource*, 151-166. Sevilla. Universidad de Sevilla.

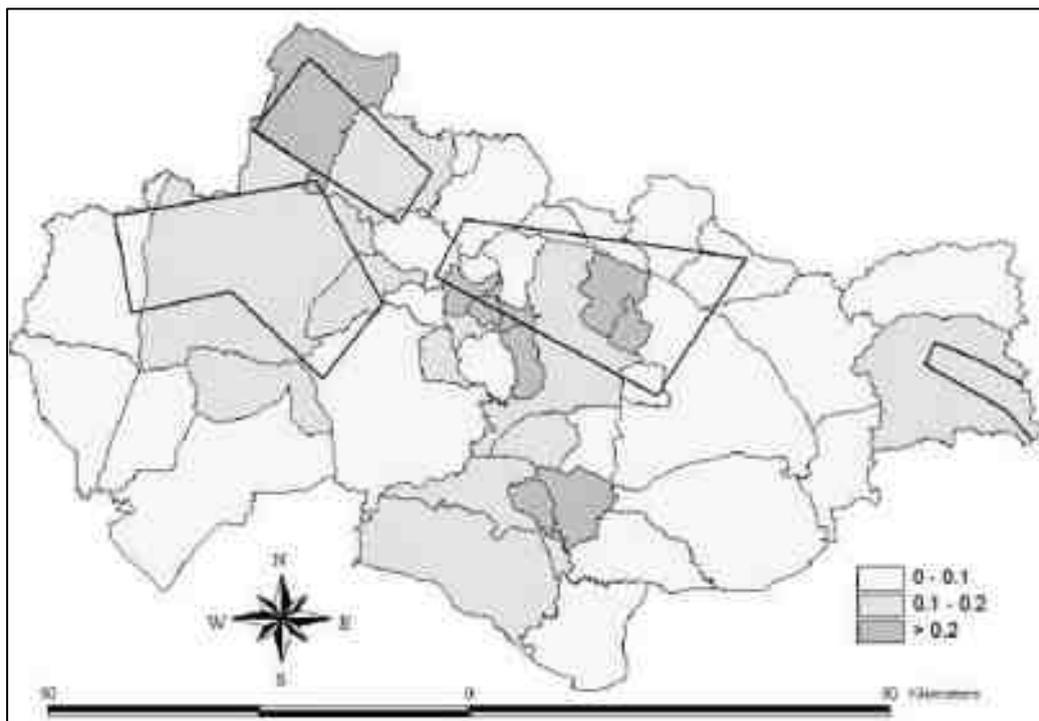


Figura 1.  
Densidad de yacimientos arqueológicos por término municipal en Sierra Morena occidental



Figura 2.  
Densidad de yacimientos arqueológicos por hojas del MTN en la campiña de Sevilla

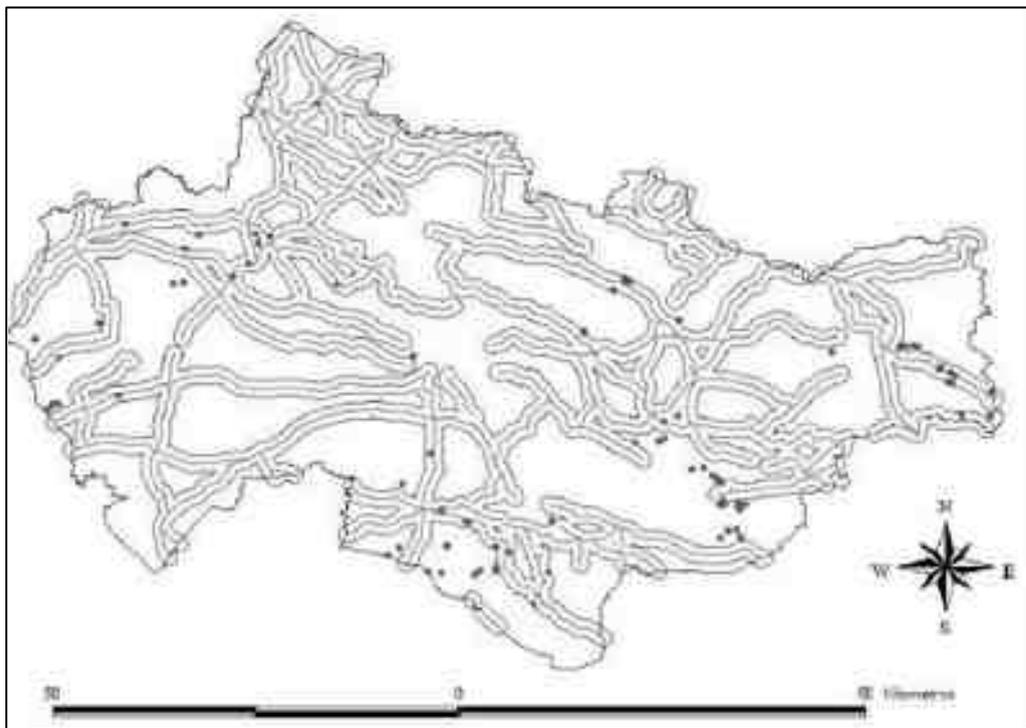


Figura 3. Vías pecuarias y monumentos megalíticos en Sierra Morena occidental.

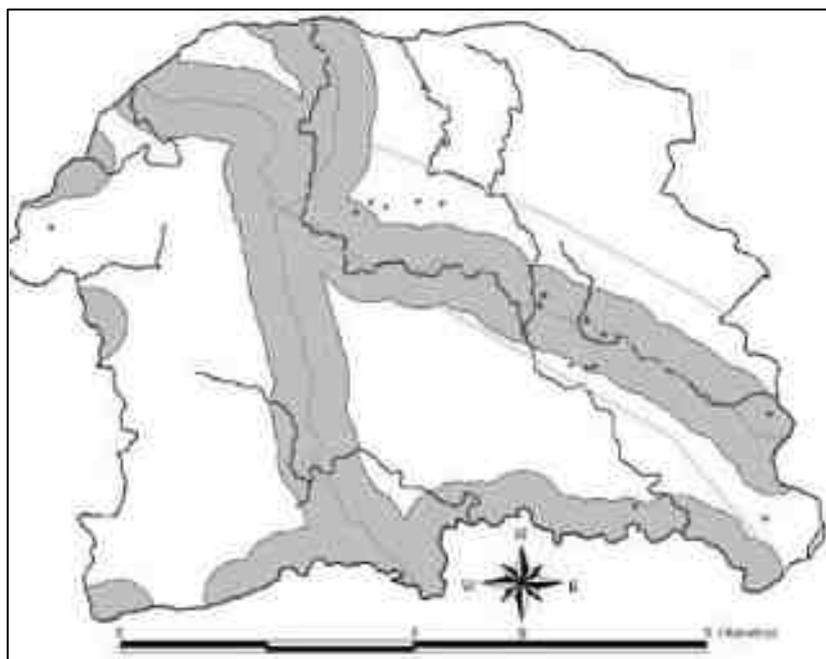


Figura 4. Vías pecuarias y monumentos megalíticos en Almadén de la Plata (Sevilla)



Figura 5. Vías pecuarias y monumentos megalíticos sobre MDT.  
Dehesa de Palacio (Almadén de la Plata, Sevilla)



Figura 6. Distribución yacimientos prehistóricos del entorno del embalse de Aracena (Huelva) sobre versión raster y georreferenciada del MTN.

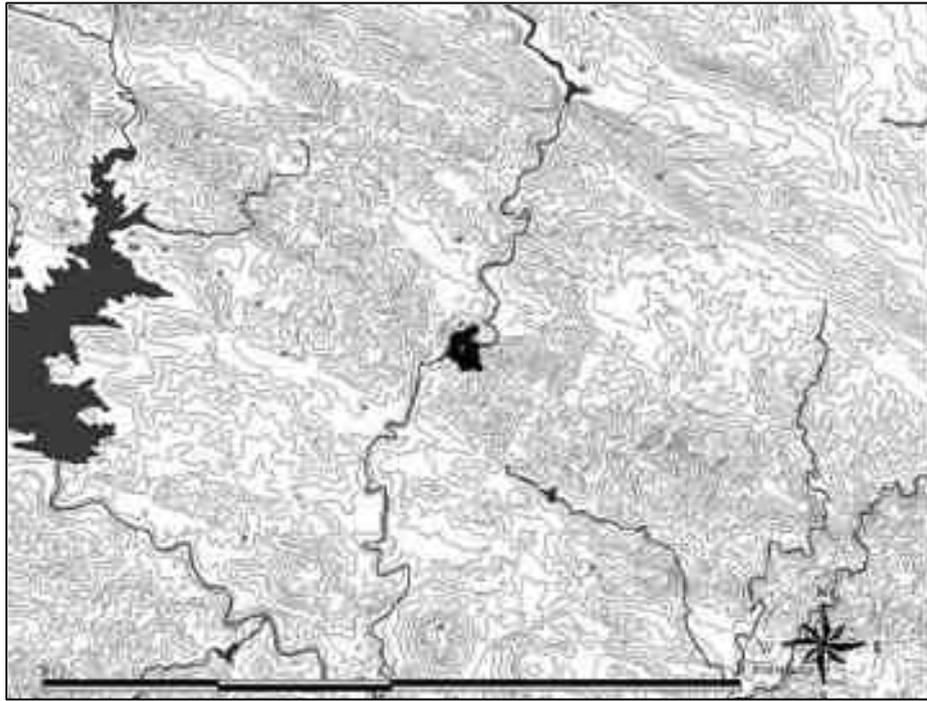


Figura 7. Distribución yacimientos prehistóricos del entorno del embalse de Araceña (Huelva) sobre versión vectorial de la topografía e hidrología del MTN.

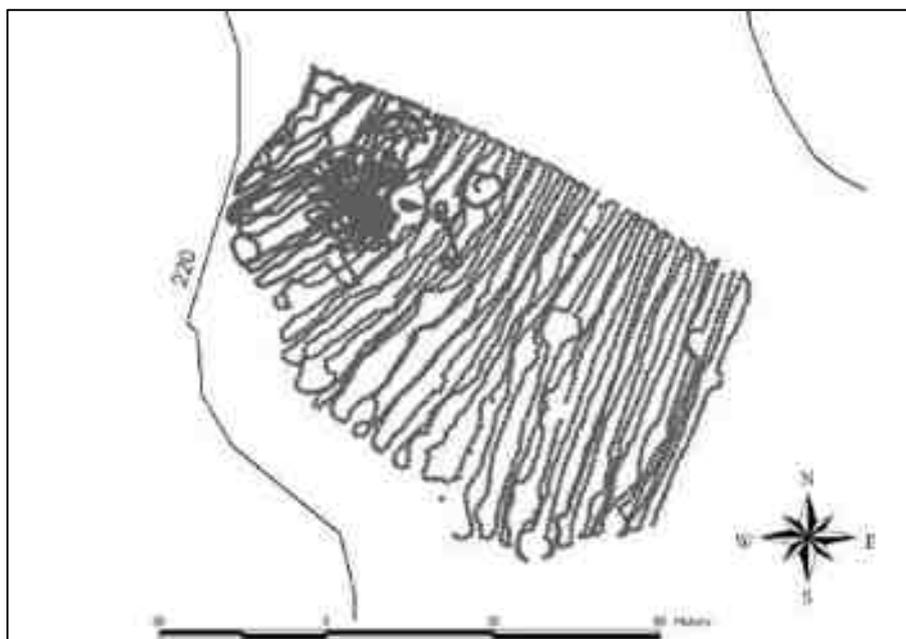


Figura 8. Distribución general de cotas de prospección micro-topográfica intensiva en el Dolmen de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla).

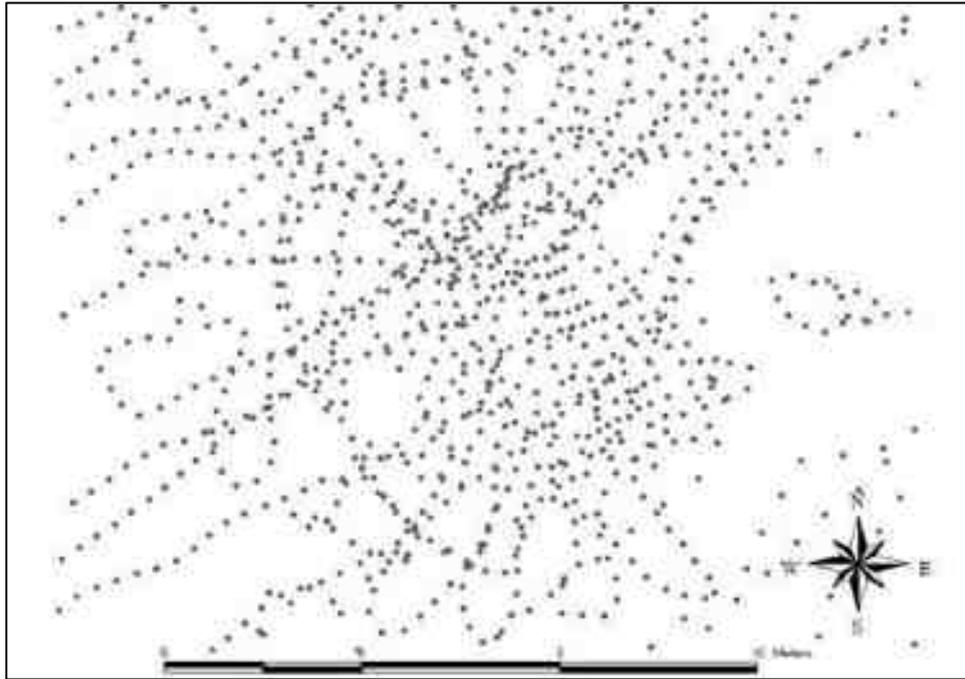


Figura 9. Detalle de la distribución de cotas de prospección micro-topográfica intensiva en el Dolmen de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla).

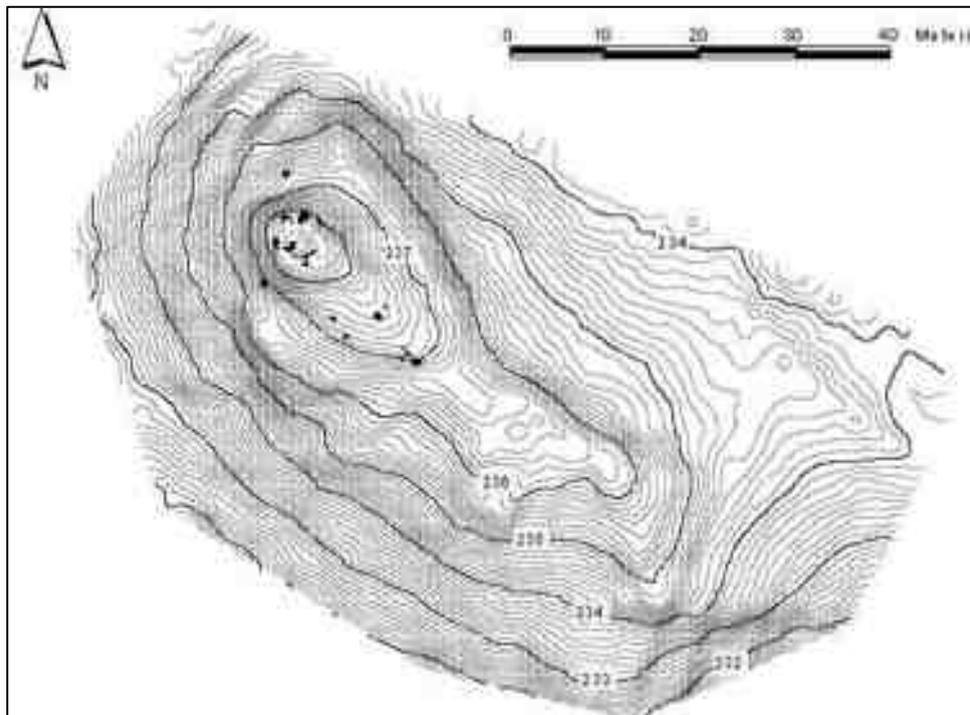


Figura 10. Curvas de nivel de la micro-topografía del

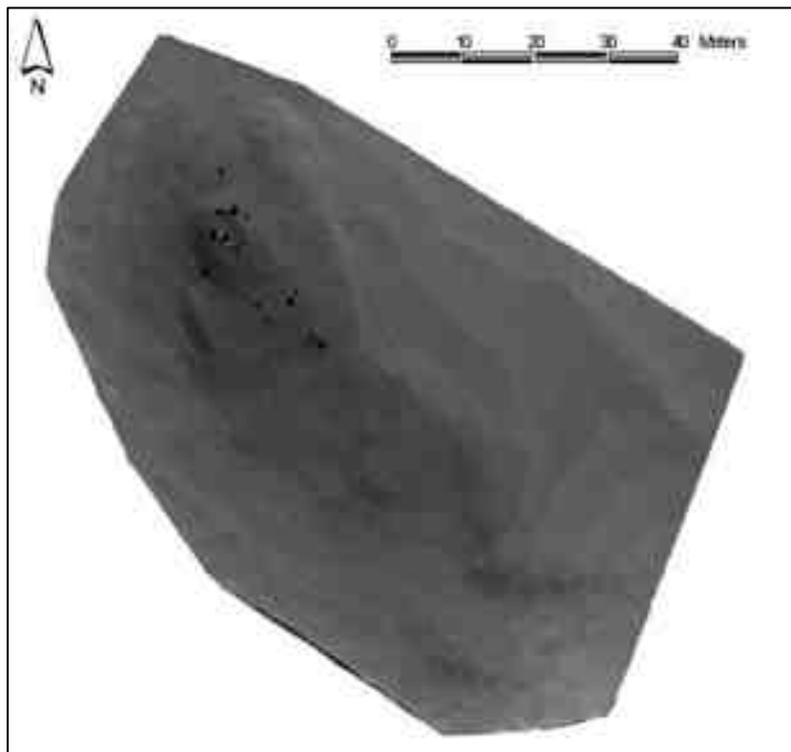


Figura 11. Modelo Digital del Terreno del Dolmen de Palacio III  
(Almadén de la Plata, Sevilla).

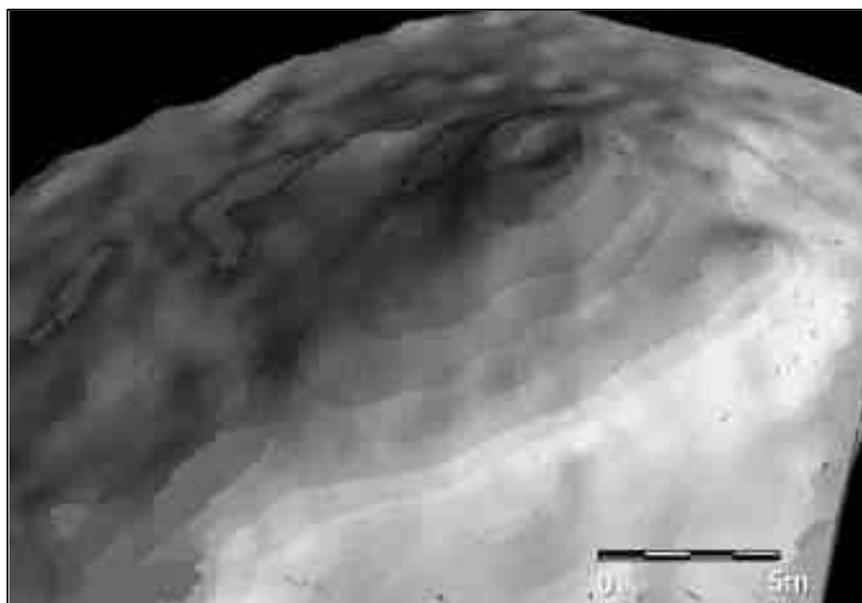


Figura 12. Modelo Digital del Terreno del Dolmen de Palacio III  
(Almadén de la Plata, Sevilla).

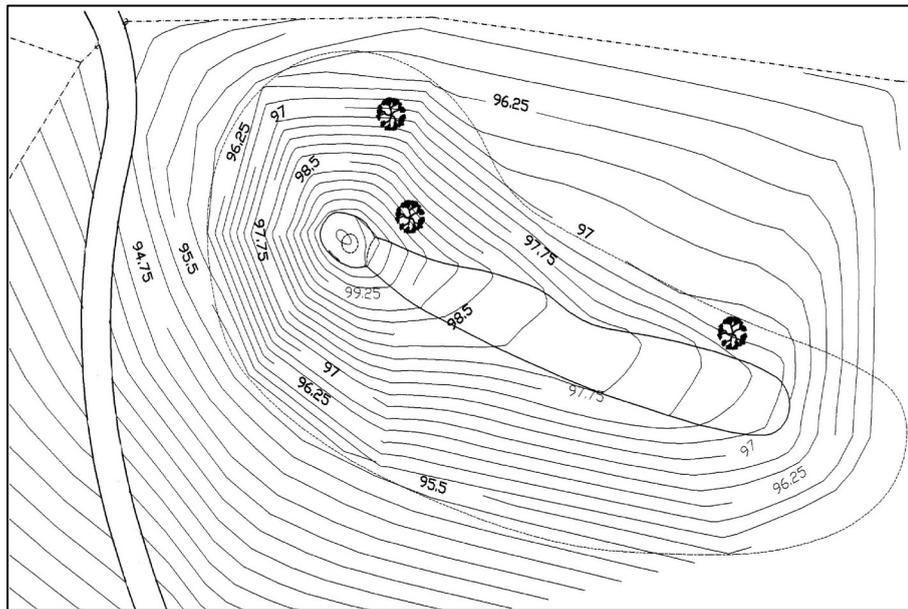


Figura 13. Levantamiento topográfico manual del Dolmen de Palacio III (Almadén de la Plata, Sevilla).

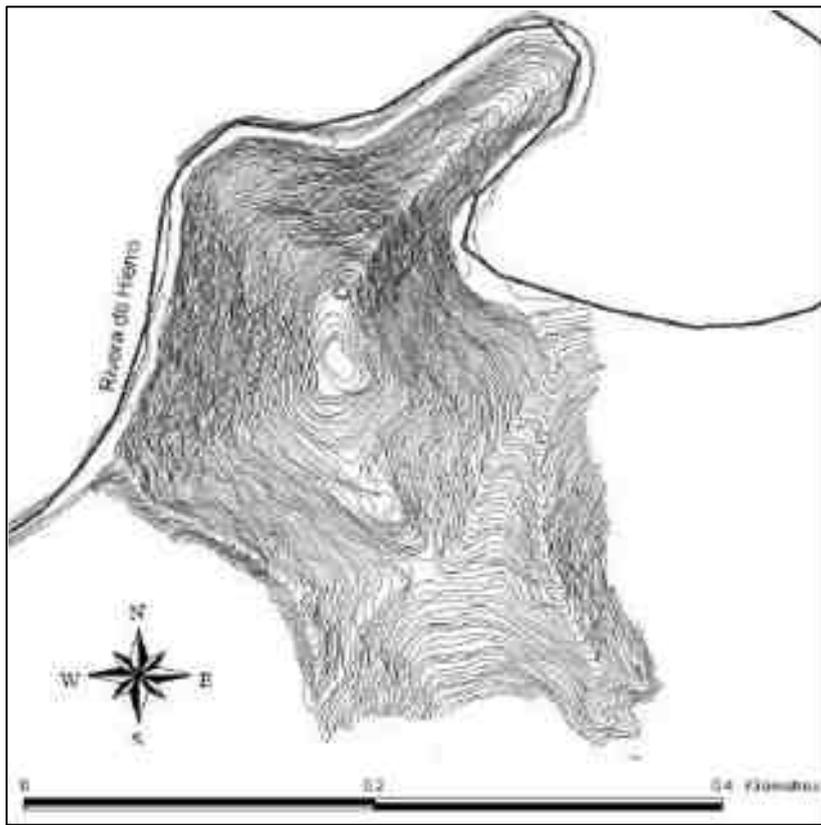


Figura 14. Curvas de nivel de la micro-topografía de El Trastejón (Zufre, Huelva) a partir de levantamiento topográfico manual.

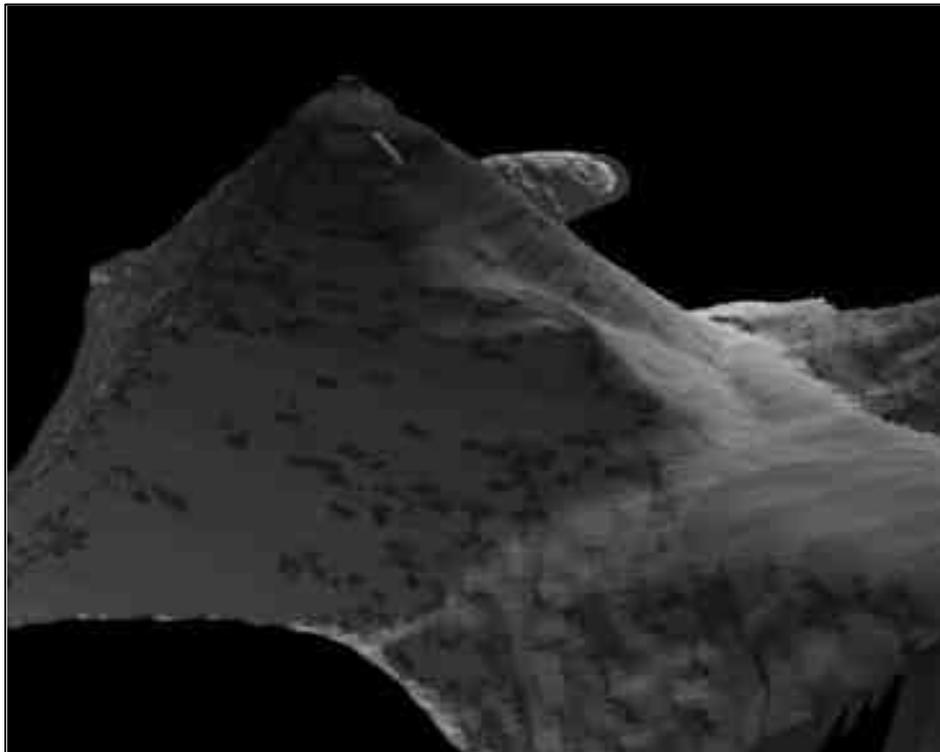


Figura 15. Modelo Digital del Terreno de El Trastejón (Zufre, Huelva)

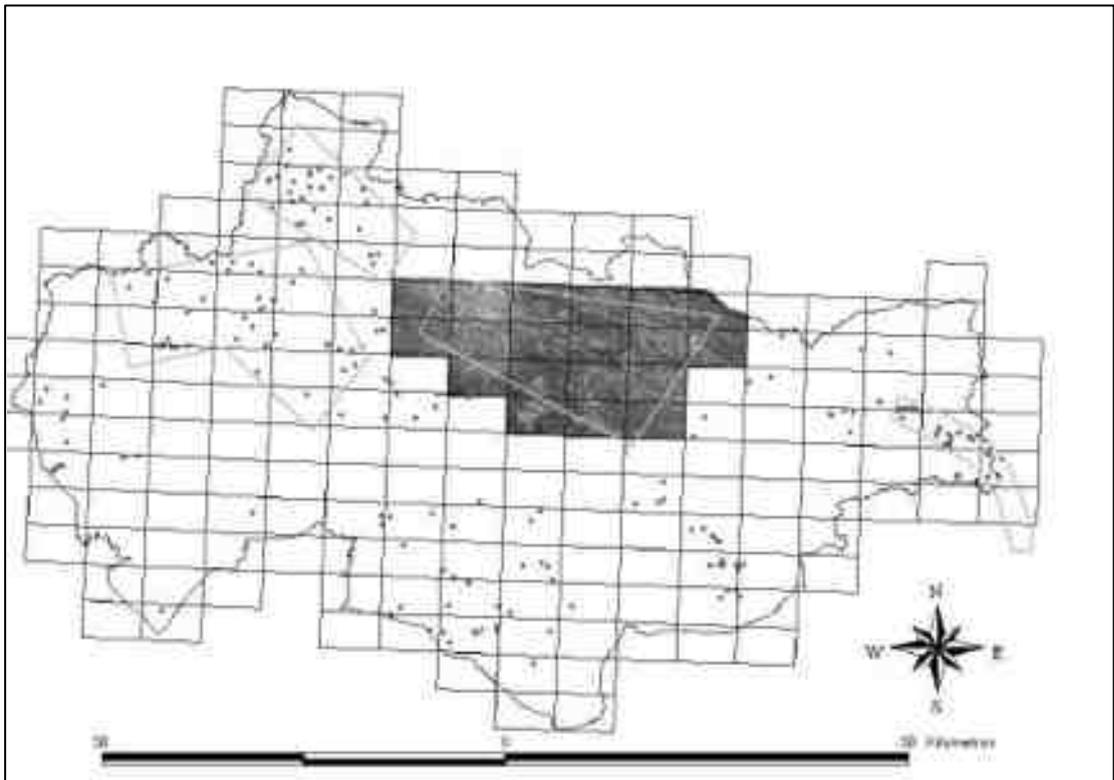


Figura 16. Mosaico de ortofotos a escala 1:10.000 en el curso alto de la Rivera de Huelva, en Sierra Morena occidental

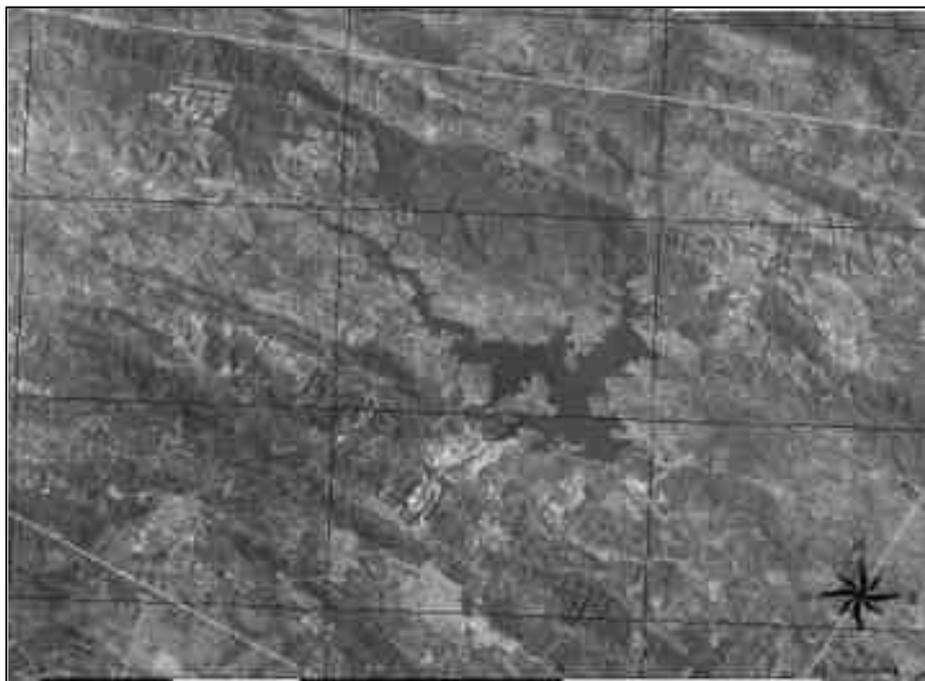


Figura 17. Mosaico de ortofotos a escala 1:10.000 y localizaciones arqueológicas de la Prehistoria Reciente en el entorno del embalse de Aracena (Huelva)

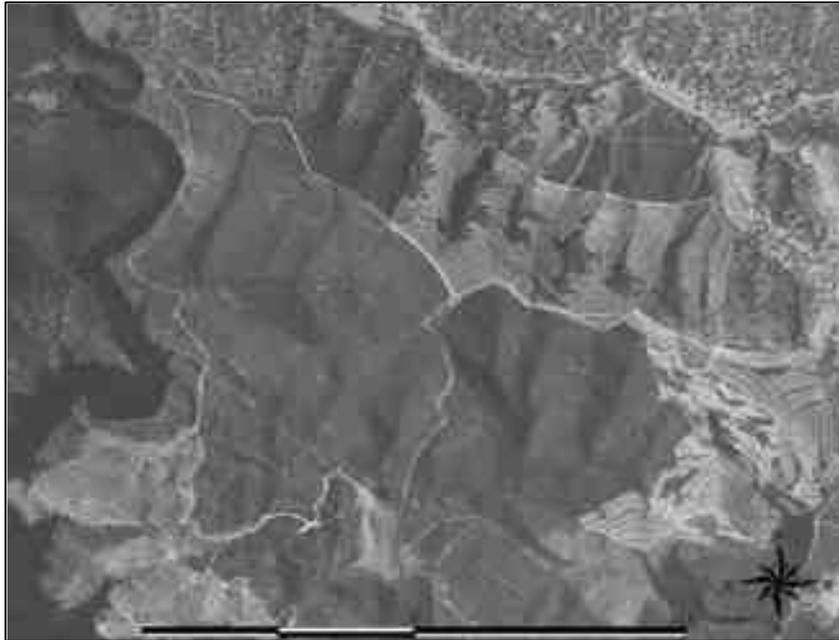


Figura 18. Ortofoto a escala 1:10.000 del asentamiento de la Edad del Bronce de La Papúa (Arroyomolinos de León, Huelva)

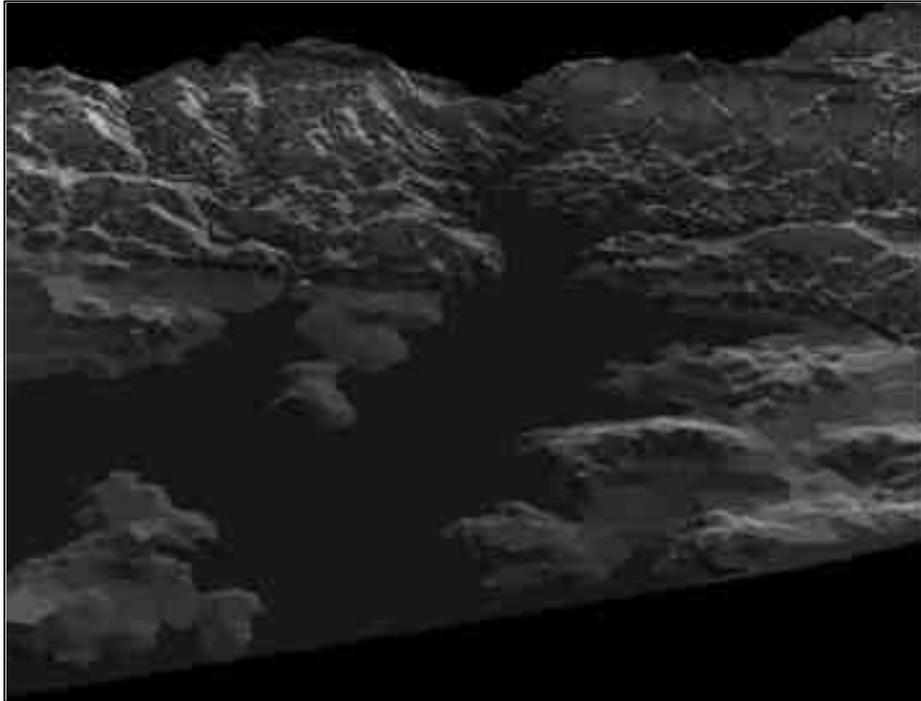


Figura 19. MDT a partir de cartografía 1:10.000 de la COPT y localizaciones arqueológicas de la Prehistoria Reciente del entorno del embalse de Aracena (Huelva).

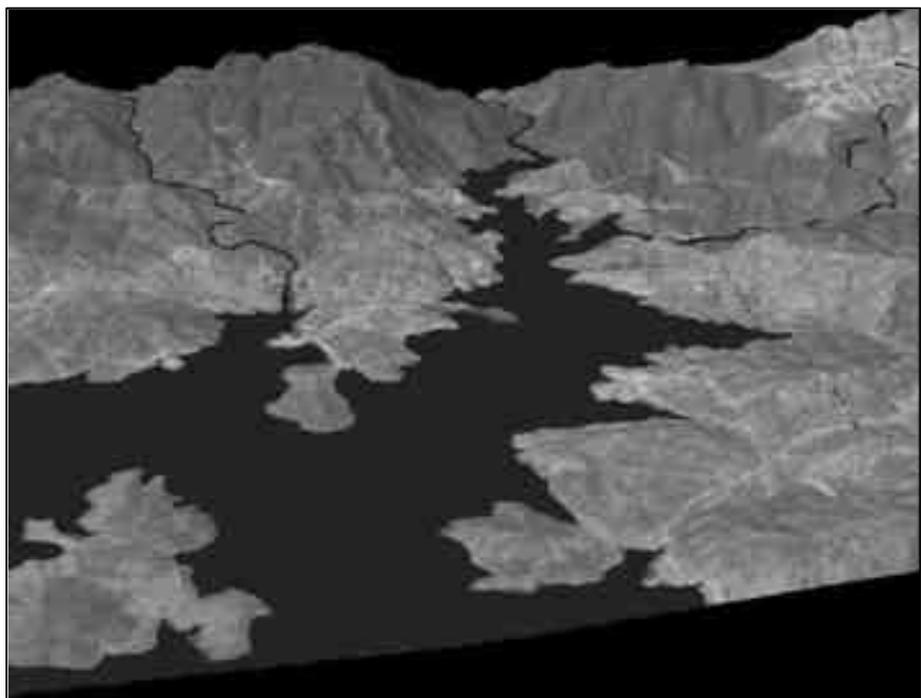


Figura 20. MDT a partir de cartografía 1:10.000 de la COPT con mosaico de ortofotos en 3D y localizaciones arqueológicas de la Prehistoria Reciente del entorno del embalse de Aracena (Huelva)

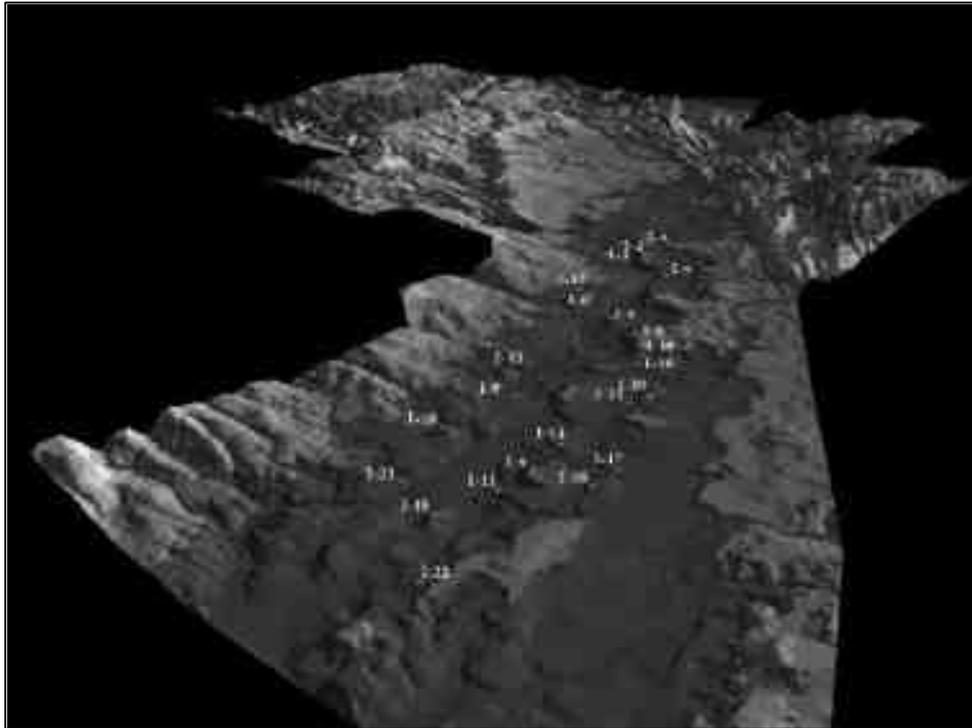


Figura 21. MDT a partir de cartografía 1:10.000 de la COPT y localizaciones arqueológicas de la zona de afección del embalse de Los Melonares (Sevilla)

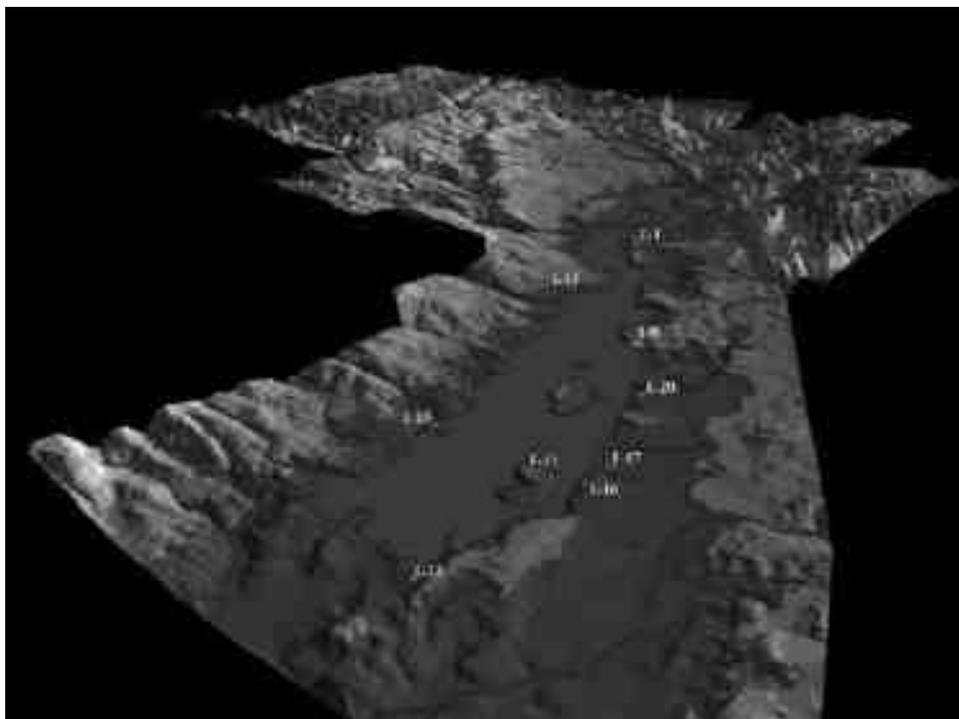


Figura 22. MDT a partir de cartografía 1:10.000 de la COPT y localizaciones arqueológicas de la zona de afección del embalse de Los Melonares (Sevilla). Simulación de inundación máxima del pantano