

Pulido Fernández, M., Schnabel, S., Jariego García, A. y Lagar Timón, D. (2010): Inventario de recursos hídricos en espacios adhesionados de Extremadura mediante técnicas SIG. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.039-1.052. ISBN: 978-84-472-1294-1

INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS EN ESPACIOS ADEHESADOS DE EXTREMADURA MEDIANTE TÉCNICAS SIG

Manuel Pulido Fernández¹, Susanne Schnabel¹, Ángel Jariego García¹ y David Lagar Timón^{2,3}

(1) Grupo de Investigación Geoambiental (GIGA), Área de Geografía Física, Universidad de Extremadura, Avenida de la Universidad s/n, 10071 Cáceres (España). mapulidof@unex.es ; schnabel@unex.es ; angeljariego@unex.es

(2) Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura, Centro Universitario de Mérida, Calle del Calvario 4, 06800 Mérida (Badajoz, España). dlagar@unex.es

(3) Organismo Autónomo para el Desarrollo Local (OADL), Diputación Provincial de Cáceres, Calle Pintores 10, 10003 Cáceres (España). david.lagar@oadl.es

RESUMEN

El agua es un recurso natural imprescindible para la vida y para el desarrollo de las actividades económicas. En áreas de clima mediterráneo su disponibilidad es muy variable en el espacio y en el tiempo, debido, por un lado, a la irregularidad de las precipitaciones y, por otro, a la presencia regular de veranos secos y ocasional de periodos prolongados de sequía, lo que la hace ser un bien valioso que ha de ser gestionado correctamente. En esta comunicación se exponen trabajos realizados por el GIGA (Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura) con distintas aplicaciones ambientales en los que fue necesario llevar a cabo un inventario de recursos hídricos en fincas de gestión privada de espacios adhesionados dedicadas a la ganadería extensiva. Para ello se han utilizado procedimientos metodológicos basados en SIG (Sistemas de Información Geográfica) usando información cartográfica digital fácilmente asequible como los MTN (Mapa Topográfico Nacional) a escala 1:10.000 e imágenes aéreas del SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas) con el objetivo de generalizar una metodología que permita un proceso continuo de recopilación y seguimiento de los recursos hídricos que se disponen, aplicable a diferentes escalas espaciales: finca, municipio, provincia, comunidad autónoma, etc.

Palabras Clave: Recursos hídricos, SIG, Ambientes adhesionados, Ganadería extensiva, Extremadura.

ABSTRACT

Water is a natural resource essential to life and development of economic activities. In Mediterranean type climate areas its availability is very variable in space and time due to, first, erratic rainfall and, secondly, the regular presence of dry summers and occasional long interannual drought periods that makes it a valuable asset that must be managed properly. This paper shows works done by GIGA (GeoEnvironmental Research Group, University of Extremadura, Spain) with different environmental applications in which it was necessary

to conduct an inventory of water resources in privately owned ranching farms in dehesa land system. Methodological procedures based on GIS (Geographical Information Systems) were used working with digital map information readily available as MTN (National Topographic Map) sheet at 1:10.000 scale and aerial images of SIGPAC (Geographical Information System of Farming Land of Spanish Environment Ministry) in order to generalize a methodology that allows a continuous process of collecting and monitoring water resources applicable at different spatial scales: farm, municipality, province, region, etc.

Key Words: Water resources, GIS, Dehesa, Ranching, Extremadura.

INTRODUCCIÓN

El agua es completamente necesaria para la supervivencia de cualquier forma conocida de vida que existe en la Tierra. El ser humano la necesita, en primer lugar, para su propio consumo y para llevar a cabo otras necesidades primarias como la alimentación, así como para cumplir otra serie de funciones como la limpieza y el aseo, la producción de alimentos y de energía, el abastecimiento de animales domésticos en explotaciones ganaderas, ocio y recreo, etc.

El agua es una sustancia natural que de manera cíclica se mueve por diferentes partes de la Tierra o de la atmósfera en estado sólido, líquido y gaseoso. Esta variabilidad espacial y temporal se ve particularmente reflejada en zonas de clima mediterráneo que anualmente presentan veranos secos y, ocasionalmente, largos períodos interanuales de sequía que reducen drásticamente la disponibilidad del recurso. Schnabel (1997) estableció una frecuencia media de aparición de sequías pluviométricas cada 8 años, basándose en los datos del observatorio meteorológico de Cáceres. Estas situaciones de escasez hacen que la disponibilidad de agua sea un aspecto prioritario a la hora de gestionar una finca privada y cualquier medio que posibilite conocer y cuantificar los recursos hídricos existentes se antoja necesario.

Extremadura ha sido tradicionalmente una región agraria en la que los aprovechamientos agrícolas, ganaderos y forestales han tenido gran importancia. Este hecho se ve reflejado en el predominio de las dehesas, sistema tradicional agrosilvopastoril en el que convive un bosque mediterráneo aclarado, principalmente de encinas (*Quercus ilex*) y/o alcornoques (*Quercus suber*) con diferentes densidades de arbolado, con un estrato inferior dominado por pastos y/o matorral. Autores como Díaz et al. (1997) cifran la superficie ocupada por dehesas en Extremadura por encima de los 9000 km² (cerca del 25 % del territorio regional) considerándola como el sistema más abundante de la región y la zona con mayor superficie adehesada del conjunto nacional. No obstante, la cifra exacta de superficie regional ocupada por dehesas y su delimitación sigue siendo hoy en día motivo de debate.

El aprovechamiento ganadero siempre ha jugado un papel primordial en la dehesa con respecto al uso agrícola y forestal, más condicionados por la limitaciones edáficas. Se caracteriza por su carácter extensivo y por el aprovechamiento de sus pastos por parte de razas ovinas y bovinas autóctonas como las ovejas merinas y entrefinas y las vacas retintas, moruchas y avileña-negra ibéricas adaptadas las condiciones secas. Para mejorar la producción de éstas y no perder su adaptación natural al medio se han llevado a cabo mezclas genéticas con sementales de razas alóctonas de mayor producción como las ovinas Romanov, Île de France, etc., las vacunas Limousin y Charolais o las porcinas Duroc-Jersey (Jariego García y Lavado Contador, 2010).

El uso de razas autóctonas adaptadas y la práctica de la trashumancia han sido las maneras en que tradicionalmente se ha superado la limitación estival de falta de agua en las dehesas. Con la llegada del desarrollismo industrial en la década de 1960, en Extremadura se produjo un fuerte éxodo rural que se vio reflejado en hechos como el abandono del campo y la falta de mano de obra para llevar a cabo actividades agrarias como la trashumancia o el cuidado directo del ganado. Esto unido a la introducción de maquinaria agraria conllevó el auge de la construcción de cercados, de alambre principalmente, de pozos de sondeo y de charcas para abastecimiento del ganado que permitieron una reducción de la mano de obra y la cría de un mayor número de animales en épocas de agotamiento de recursos como el verano.

Trabajos llevados a cabo por el GIGA (Grupo de Investigación Geoambiental de la Universidad de Extremadura) en los últimos años (Schnabel et al., 2009; Pulido Fernández y Schnabel, 2010) en 54 dehesas privadas demostraron que casi el 50 % de las explotaciones tienen problemas de abastecimiento de agua en algún momento puntual y que existen indicios de que dichos problemas pueden estar ocasionados por la falta de infraestructuras de almacenamiento de agua como son las charcas, entre otras muchas variables naturales y humanas tenidas en cuenta.

Por todas estas razones en este trabajo se propone el desarrollo de una metodología SIG (Sistemas de Información Geográfica) de fácil aplicación que permita inventariar y monitorizar los recursos hídricos disponibles como una herramienta más de ayuda a la gestión de fincas privadas y que, a su vez, sea extrapolable para otro tipo de entidades territoriales y para cualquier otro fin de gestión de recursos hídricos. Todo esto puede ser realizado con materiales de fácil adquisición como cartografía digital básica e imágenes aéreas de propiedad pública y con cualquier programa SIG libre o de uso estandarizado que ofrezca el mercado. En esta comunicación se hace especial hincapié en la descripción detallada de la metodología desarrollada por Pulido Fernández y Schnabel (2010) que usaron para cuantificar la superficie ocupada por charcas en las fincas y se muestran como resultados los expuestos en dicho trabajo y en otros realizados por el GIGA con distintas aplicaciones ambientales como, por ejemplo, la eliminación de masas de agua para la clasificación de imágenes aéreas.

ANTECEDENTES

La preocupación del Hombre por el agua es tan antigua como su propia existencia. Las primeras grandes civilizaciones que se conocen surgieron en la cuenca de grandes ríos como el Tigris, Éufrates, Tíber, Nilo, etc. y actualmente casi todos los núcleos de población se sitúan a un curso principal de agua. Ya en la época del Imperio Romano se encuentran vestigios de grandes infraestructuras hidráulicas: embalses, acueductos, puentes, etc. No obstante, el auge por la construcción de embalses y de otras formas de reserva de agua llegó a España en el siglo XX, especialmente, a partir de la década de 1960.

En 1926 se aprobó el Real Decreto Ley (5 de marzo, Gaceta de Madrid nº 65) por el cual se crearon las Confederaciones Hidrográficas en España. Estos organismos han sido tradicionalmente los encargados de inventariar, monitorizar y regular el uso de las aguas superficiales de titularidad pública estatal y junto al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) los encargados también del agua subterránea. Sus métodos de medición de recursos hídricos se basan en medidas directas en embalses y ríos, estaciones de aforo, etc. y con la llegada de las nuevas tecnologías todas esas mediciones, además, se han ido informatizando y automatizando.

Al margen de la actividad llevada a cabo por las Confederaciones Hidrográficas y otros organismos locales, regionales, nacionales e incluso europeos de gestión del agua existen otras muchas fuentes de información hidrológica que pueden ser utilizadas para inventariar recursos hídricos. Una de ellas es el Mapa Topográfico Nacional (MTN) que se comenzó a desarrollar en 1853 y se terminó en 1968 en un formato de hojas a escala 1:50.000 y que han ido derivando a otras de mayor nivel de detalle de escalas 1:25.000 y 1:10.000.

Paralelo al auge de la construcción de los pantanos y a la finalización del MTN surgieron grandes avances técnicos para la medición de parámetros del terreno como los SIG, la teledetección, la estación total, etc. En 1962 Roger Tomlison desarrolló el Sistema de Información Geográfica de Canadá (*Canadian Geographical Information System, CGIS*) considerado por muchos autores como el primer SIG. El CGIS permitía realizar análisis complejos del terreno gracias a la posibilidad de digitalización y otras muchas herramientas y aplicaciones ideadas. Usando como base el CGIS surgieron los primeros programas GIS comerciales estandarizados en la década de 1980 y otros de propiedad pública como GRASS, desarrollado para el ejército americano en 1982. No obstante, no fue hasta la década de 1990 cuando su uso a nivel de usuario empezó a generalizarse, gracias a la masiva incorporación de ordenadores personales (PC, *Personal Computer*) en la vida cotidiana.

Otra fuente de información cartográfica, y por ende hidrológica, ideada en el siglo XX fue la fotografía aérea. Ésta surgió a mediados del siglo XIX cuando Gaspar Félix Tournachon "Nadar" tomó fotografías del pueblo francés Petit-Becetre subido en un globo aerostático. La idea de Nadar no tardó en tener su aplicación militar y ya en la guerra franco-prusiana de 1870 se comenzaron a tomar imágenes aéreas a bordo de globos aerostáticos. La llegada del avión años más tardes supuso la sustitución del globo aerostático. En España existen vuelos nacionales destinados a tomar fotografías aéreas desde 1945 y 1956 realizados por el ejército de los Estados Unidos. En la década de 1970 y 1980 se llevaron a cabo el vuelo interministerial y otro encargado por el Instituto Geográfico Nacional y con la entrada de España en la Unión Europea se realizan vuelos periódicos para controlar el territorio: SIG Oleícola, SIGPAC (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) o PNOA (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea).

Desde que en 1957 la Unión Soviética enviara el satélite Sputnik y años más tardes los estadounidenses el satélite TIROS-I, el ser humano, además, cuenta con la visión desde el espacio para llevar a cabo sus estudios ambientales. Los primeros satélites enviados iban destinado al estudio meteorológico pero con la llegada de sensores más sofisticados se pueden discriminar masas de agua, y en consecuencia inventariarlas y monitorizarlas, con relativa facilidad.

Toda la información cartográfica existente y el apoyo de las imágenes aéreas y espaciales han servido a los investigadores para ahorrar mucho tiempo y dinero en el inventario de recursos hídricos mediante trabajo de campo. No obstante, todo inventario hídrico depende de la escala de trabajo que se pretenda usar y de la finalidad con la que se realice. Un trabajo de una zona poca extensa puede necesitar una cubicación exacta de las masa de aguas, la cual tradicionalmente se ha realizado mediante mediciones clásicas a base de metros, cuerdas u otros aparatos poco sofisticados. La llegada de aparatos que facilitan la exactitud de las mediciones y su automatización como las estaciones totales y los GPS (*Global Positioning System*) a finales del siglo XX han supuesto todo un avance en este aspecto.

ZONA DE ESTUDIO

Los estudios se han llevado a cabo a escala de finca en 54 explotaciones de ganadería extensiva representativas de dehesas y pastizales de Extremadura con diferentes características físico-climáticas, tamaño, uso del suelo, manejo del ganado, etc. El tamaño de las fincas varía entre 100 y 8280 hectáreas. Ovejas, cerdos y vacas son las principales especies ganaderas, seguidas de otras también presentes como cabras, caballos o mulos. En las explotaciones, además, también se encuentran diferencias climáticas con una precipitación media total anual que oscila desde los 465 mm en el sureste de la provincia de Badajoz a 926 mm en fincas del noroeste de la provincia de Cáceres, presentándose condiciones climáticas desde semiáridas a húmedas. No obstante, toda la zona forma parte del dominio del clima mediterráneo con inviernos suaves y lluviosos y una estación seca anual desde junio a septiembre. Las temperaturas medias anuales oscilan entre los 15 y 17 °C con un máximo anual en julio por encima de los 22 °C y un mínimo invernal de 8,8 °C en el mes de enero (Fig. 1).

Las formaciones vegetales son heterogéneas en cuanto a su densidad variando desde pastizales desarbolados a áreas con más de 60 pies de encina por hectárea. El estrato arbóreo es dominado por encinas (*Quercus ilex*) y alcornoques (*Quercus suber*) y abundan los pastos anuales de tipo terofítico. La pizarra es la litología dominante, aunque también se encuentran presentes otro tipo de formaciones rocosas como granitas, calizas y cuarcitas. Destacan los suelos poco profundos de tipo Leptosol y Cambisol (FAO, 1990) en la mayoría de las explotaciones con bajos contenidos en nutrientes y materia orgánica, ligeramente ácidos y textura franco limosa. Los rasgos geomorfológicos dominantes son viejas superficies de erosión que dan lugar a paisajes ondulados. Los sinclinales, compuesto en parte de cuarcitas, forman las crestas y los anticlinales formados por esquistos y grauvacas las penillanuras (Gómez Amelia, 1985). El paisaje actual se caracteriza por una superficie ondulada cruzada por valles cada vez más profundos a medida que se acercan a los ríos principales (Schnabel, 1997).

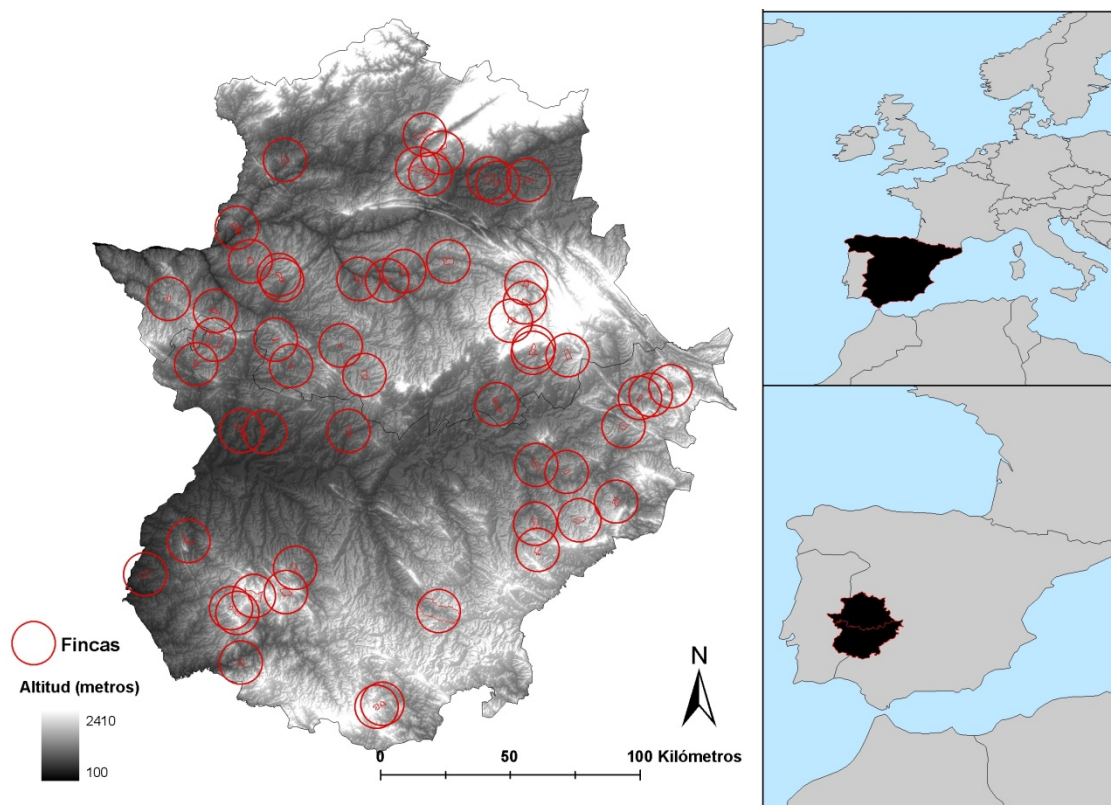


Figura 3. Zona de estudio.

METODOLOGÍA

Inventariar los recursos hídricos de una finca o cualquier otra entidad espacial no es una tarea fácil, por un lado hay que tener en cuenta los cauces superficiales: ríos, gargantas, arroyos, etc., por otro, las formas artificiales de almacenamiento de agua superficial: pantanos, embalses o charcas, además del agua subterránea y sus formas de aprovechamiento mediante pozos de sondeo, principalmente. Los cauces pueden ser inventariados usando la información hidrológica disponible del MTN y datos de caudal y aforo de las confederaciones hidrográficas. Lo mismo ocurre con los embalses principales pero el problema radica en la cubicación de las charcas y en estimar el aporte de agua subterránea, ya que en muchas ocasiones los pozos de sondeo son construidos ilegalmente.

La cubicación de las charcas se ha de realizar con medidas directas en campo, preferiblemente usando aparatos de gran precisión que favorezcan el proceso como son las estaciones totales. Otra opción es tomar puntos con un GPS de gran precisión y con la ayuda de programas GIS y/o CAD determinar su volumen. No obstante, estas opciones son en muchos casos inviable porque para que se puedan llevar a cabo las mediciones es necesario que la charca esté vacía, no siendo así en la mayoría de los casos. Con la charca llena de agua la única manera posible de medir con exactitud su volumen sería mediante batimetría. Todas estas técnicas son muy laboriosas y suponen una gran pérdida de tiempo y de recursos económicos, por lo que cualquier metodología que simplificase el proceso y pueda servir al menos como una aproximación de la cantidad de agua que tiene una entidad espacial ya se la podría considerar un gran avance.

En los trabajos llevados a cabo por el GIGA en los que se comparan diferentes fincas el método empleado fue el de la cuantificación de la superficie ocupada por charcas mediante una serie de operaciones de análisis espacial realizadas con el software ArcView Gis 3.3® de ESRI® usando como información de base la hidrología de las hojas 1:10.000 del MTN suministradas por la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura gratuitamente para investigación con fines no comerciales. Esa información fue validada con la ayuda de las

ortofotos del SIGPAC y mediante trabajo de campo, incluyendo entrevistas a los propietarios de las fincas (Fig. 2).

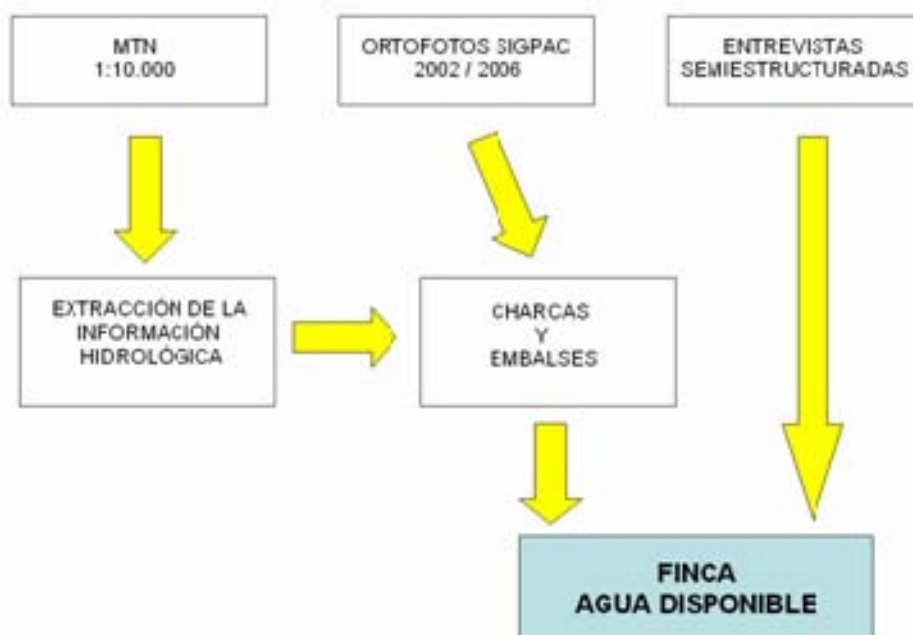


Figura 4. Esquema ilustrativo de la metodología llevada a cabo para determinar la disponibilidad de agua.

El primer paso, por lo tanto, consistió en la recopilación de la información cartográfica existente. Actualmente, la Dirección General de Urbanismo y Ordenación del Territorio (DUOT) perteneciente a la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura posee las hojas del MTN a escala 1:10.000 de la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma de Extremadura. Dicha información puede ser solicitada gratuitamente para fines no comerciales por los grupos de investigación de la Universidad de Extremadura y comprada por cualquier interesado para otros fines. Dichas hojas poseen una exhaustiva información hidrológica en la que se incluyen cauces de diferentes órdenes e información poligonal de embalses, pantanos y charcas (Fig. 3).

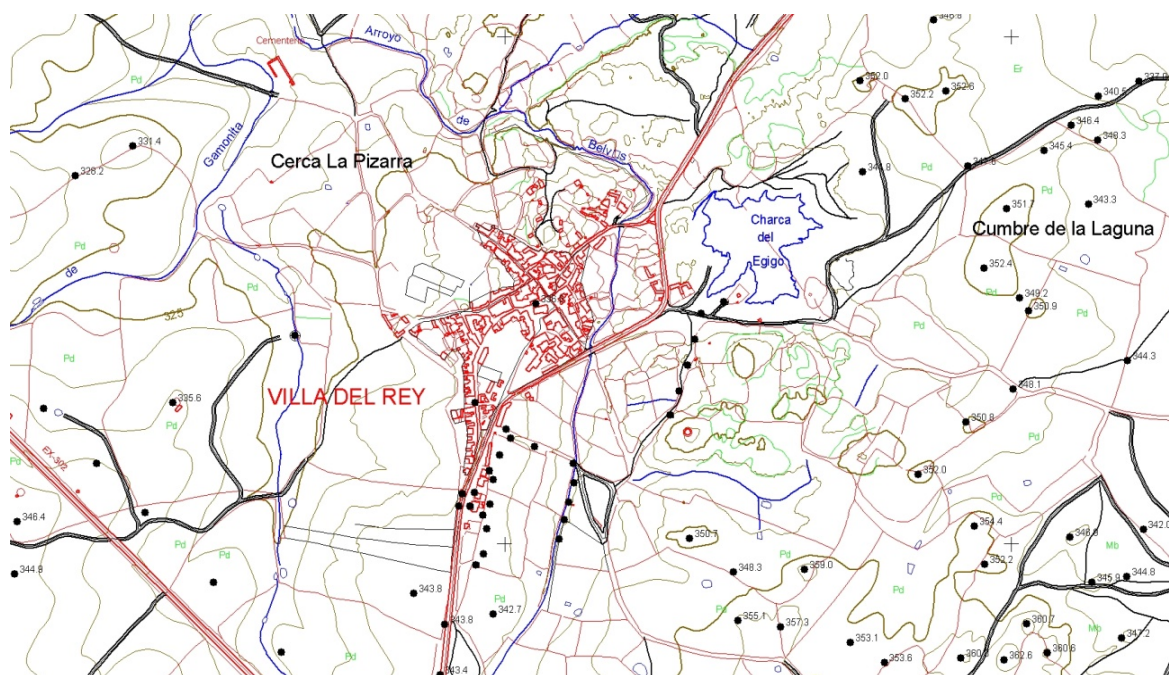


Figura 5. Extracto de la hoja del MTN nº 677_01 a escala 1:10.000.

Una vez conseguidas las hojas del MTN se pasó a seleccionar aquellas en las que estaban presentes las fincas pilotos estudiadas (Fig. 4A) y se extrajo la red hidrográfica (Fig. 4B). Se recortó mediante el uso de una máscara la red hidrográfica de cada explotación (Fig. 4C) de la cual se seleccionaron los objetos poligonales o posibles charcas (Fig. 4D). Esas posibles charcas eran validadas gracias a las ortofotos del SIGPAC y mediante trabajo de campo (Fig. 5). La información sobre pozos de sondeo, profundidad de las charcas, existencias de manantiales, etc. era suministrada directamente por los propietarios de las explotaciones.

En el proceso de validación de las charcas con las imágenes del SIGPAC (Fig. 5) se pueden dar varias situaciones: charcas que coinciden con la información extraída del MTN (Fig. 5A), charcas que deben ser eliminadas (Fig. 5B), charcas que deben ser corregidas (Fig. 5C) y hasta algunas que deben ser digitalizadas y añadidas por primera vez a la base de datos espacial (Fig. 5D). La visualización del SIGPAC es gratuita y fácilmente accesible por cualquier programa informático mediante el uso de servidores remotos de cartografía. En cualquier caso dicha información puede ser suministrada gratuitamente por la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura para fines de investigación.

Existen dos vuelos del SIGPAC con los que poder trabajar, ambos con un tamaño de píxel de 0,5 metros y con imágenes a color con las tres bandas del espectro visible (RGB). El primero de ellos fue tomado en verano de 2002 entre los meses de junio y julio y es muy aconsejable su uso para detectar fácilmente las charcas existentes (Fig. 5A y 5B). Para la corrección (Fig. 5C y 5D) se recomienda el vuelo de primavera 2006 ya que permite la digitalización de la aureola máxima de ocupación de las charcas.

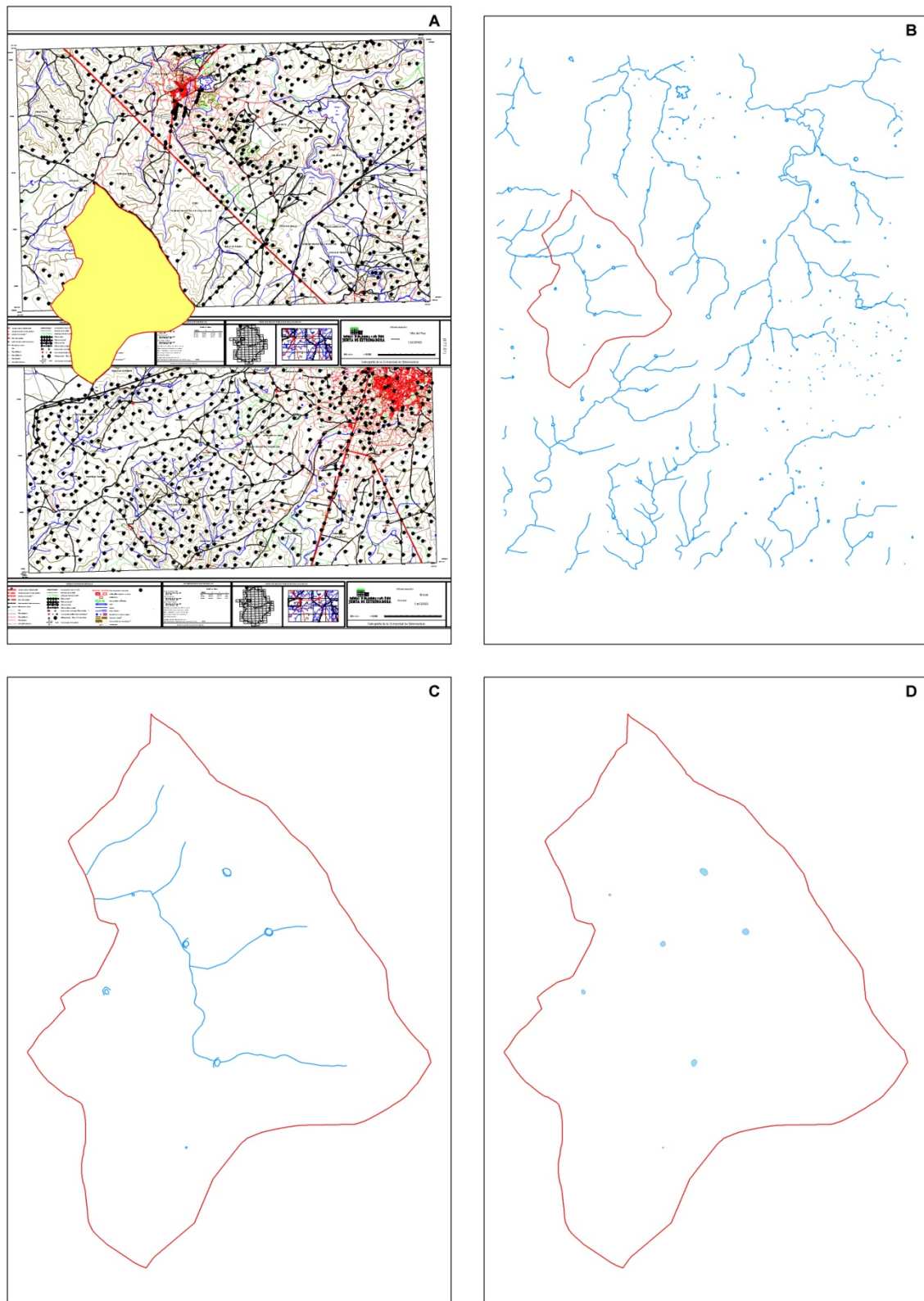


Figura 6. Extracción de la red de drenaje y de las charcas de una finca piloto a partir del MTN.



Figura 7. Validación de las charcas extraídas del MTN con las ortofotos del SIGPAC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta metodología fue usada para trabajos como el de Pulido Fernández y Schnabel (2010) en los que se trató de evaluar la disponibilidad de agua en 54 explotaciones de ganadería extensiva. Ésta sirvió para cuantificar la variable “superficie ocupada por charcas” y su cálculo en función del tamaño de la finca arrojando indicios significativos de que la falta de agua en muchas de estas explotaciones puede ser ocasionada por la insuficiente construcción de charcas (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de las variables analizadas para cada finca (Grado de problemática (GP): 1-sin problemas, 2-problemas en los años más secos, 3-problemas todos los años; Pozos (P): 0-sin pozos, 1-pozos artesanos, 2-pozos de sondeo y pozos artesanos; NE: Número de Explotación; TM: Término municipal al que pertenece la explotación; MD: Meses de déficit hídrico; IA: Índice de aridez; C: Consumo expresado en m³/ha; S: Superficie ocupada por charcas expresada en m²/ha) (Schnabel et al., 2009; Pulido Fernández y Schnabel, 2010).

NE	Nombre	TM	MD	IA	GP	C	S	P
9	Cabezos	Alcántara	4	0.632	3		42.7	2
16	Buitrera de Villavieja	Deleitosa	4	0.982	3	6.9	11.2	2
26	El Pilar	Aliseda	4	0.678	3	6.1	32.6	2
34	Dehesa Vendida	Herrera del Duque	4	0.799	3	46.9	3.8	2
35	Hornillo	Herrera del Duque	4	0.822	3	10.7	3.0	2
39	Valdehermosillo	Esparragosa de Lares	4	0.633	3	12.6	2.0	1
40	Arzonilla-Miraflores	Castuera	5	0.498	3	2.8	22.2	1
41	Servilleta	Cabeza del Buey	4	0.615	3	9.8	7.4	2
43	Dehesa Moruna	Benquerencia de la Serena	4	0.615	3	7.1	9.1	2
2	El Almendral	Oliva de Plasencia	3	1.057	2	6.0	7.2	0
3	Dehesa Boyal El Robledo	Malpartida de Plasencia	3	1.297	2	0.8	35.2	1
10	Dehesa del Campo	Villa del Rey	4	0.628	2	4.6	46.6	2
12	Los Quemados	Brozas	4	0.728	2	5.7	108.5	1
17	Buitrera de Trujillo	Trujillo	3	1.070	2	6.6	22.8	2
18	Los Alijares de Marín	Madroñera	3	1.091	2	5.1	14.3	2
19	El Potrón	Logrosán	3	1.169	2	6.4	12.8	1
22	Los Lapones	Valencia de Alcántara	4	0.801	2	9.9	9.0	2
23	La Mula	Salorino	4	0.676	2	14.5	8.8	2
25	La Zorrera	Alburquerque	4	0.819	2	3.7	5.5	1

27	Mohedas de Mogollones	Cáceres	4	0.716	2	21.5	75.8	2
30	Coto de Pesquerito	Badajoz	4	0.731	2	5.6	42.2	1
31	San Rafael	Mérida	4	0.733	2	16.2	187.2	2
32	Santiago de Bencáiz	Cáceres	4	0.823	2	5.9	12.8	2
33	La Palanca	Alcollarín	4	0.740	2	3.8	22.1	2
38	Hatorramiro	Campanario	4	0.568	2		13.1	2
45	La Nave	Olivenza	4	0.646	2	3.4	31.9	2
47	El Naranjero	La Parra	4	0.872	2	24.4	36.0	2
49	Prado del Rey	Jerez de los Caballeros	4	0.846	2	14.2	16.3	2
52	El Águila	Montemolín	4	0.913	2	13.4	15.0	1
54	Los Quintos de San Martín	Valencia de las Torres	4	0.624	2	2.9	21.3	2
1	Los Cuartos de Marín	Moraleja	4	0.815	1	6.7	25.4	2
4	San Esteban	Malpartida de Plasencia	4	0.924	1			
5	El Carrascal	Malpartida de Plasencia	4	1.066	1	11.6	33.2	2
6	D. Boyal de Majadas de Tiétar	Majadas de Tiétar	3	1.317	1	3.1	198.7	2
7	El Ejido de Majadas	Majadas de Tiétar	3	1.257	1	10.0	77.9	0
8	Matadero	Navalmoral de la Mata	3	1.132	1	12.2	72.5	2
13	Espadero	Cáceres	4	0.708	1	2.8	19.3	2
14	Herruz de Abajo	Trujillo	4	0.672	1	9.7	15.5	2
15	Parapuños de Doña María	Monroy	4	0.687	1	2.8	9.8	2
21	Cañadas	Cañamero	4	1.326	1	2.1	66.9	2
24	La Cobacha	San Vicente de Alcántara	4	0.756	1	16.8	50.8	2
28	Montenegrillo	Cáceres	4	0.710	1	14.5	5.1	1
36	La Dehesilla	Herrera del Duque	4	0.814	1	10.0	4.9	1
42	Los Barrancos	Peñalsordo	4	0.667	1	7.6	2.2	2

46	Lentiscales	La Parra	4	0.672	1	5.4	11.1	2
50	Serranillo-Mesto	Jerez de los Caballeros	4	0.857	1	11.3	5.7	2
11	El Vaqueril de Ruano	Brozas	4	0.726		5.0	62.1	2
29	Valdesequera	Badajoz	4	0.738		4.4	58.9	
37	La Jara	Talarrubias	4	0.792		12.1	16.7	
44	Talanquera	Cheles	5	0.688		12.6	84.6	2
48	Monteporrino	Salvaleón	4	0.959		0.5	14.1	
51	La Fuente	Jerez de los Caballeros	4	0.929		7.4	21.7	
53	Puerto Merlín	Montemolín	4	0.866		31.9	12.3	1

Este mismo autor, un año antes (Pulido Fernández et al., 2009a; Pulido Fernández et al., 2009b) usó la misma metodología para extraer las masas de agua de una imagen aérea que fue sujeto de análisis y clasificaciones, tanto orientadas a píxeles como a objetos, con el objetivo de cuantificar el porcentaje de superficie ocupada por el suelo desnudo. En este tipo de análisis es necesario extraer las masas de agua para evitar interferencias en los algoritmos de clasificación, debido a que las masas de agua presentan valores 0 en todas las bandas del espectro visible (Fig. 6).

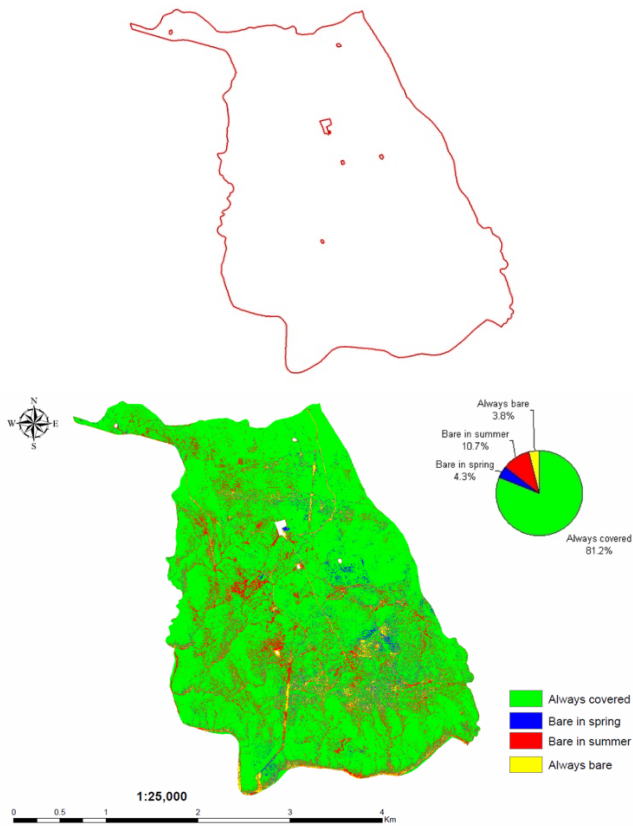


Figura 8. Extracción de masas de agua de una imagen aérea (Pulido Fernández et al., 2009a; 2009b).

CONCLUSIONES

En zonas de clima mediterráneo donde el agua se convierte en un bien muy valioso, especialmente, en las épocas secas, se antoja necesario el desarrollo de metodologías sencillas para inventariar los recursos hídricos. La expuesta en este trabajo cumple con creces este objetivo, ya que usa información cartográfica fácilmente asequible y puede ser realizada con cualquier tipo de programa informático SIG libre o comercial estándar que ofrezca el mercado y, además, no se necesitan amplios conocimientos en la materia porque se trata de operaciones básicas de análisis espacial.

Esta metodología ha sido ya usada y validada satisfactoriamente en trabajos científicos con objetivos tan distintos como la evaluación de disponibilidad del consumo de agua para el ganado o la clasificación de imágenes aéreas para la cuantificación del suelo desnudo. Por lo tanto, se recomienda su uso para todo tipo de escalas espaciales y para multitud de aplicaciones ambientales, con la ventaja añadida de que puede servir para actualizar la información de los recursos hídricos a medida que aparezca nueva cartografía de base o se vayan realizando vuelos aéreos o, incluso, para poder comparar con épocas anteriores.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido posible gracias al soporte económico del Ministerio de Ciencia y Tecnología (CLG2008-0121/BTE), de la Junta de Extremadura (PRI06A281) y del Plan FEDER y al trabajo, tanto de campo como de gabinete, de los miembros del GIGA: Joaquín Francisco Lavado Contador, Álvaro Gómez Gutiérrez, Francisco Javier Lozano Parra, Silvia Nadal Chillemi y Ramón García Marín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Díaz, M., Campos, P., Pulido, F. J., 1997. The Spanish Dehesa: a diversity in land-use and wildlife, En: Pain, D. J., Pienkowski, M. W. (Eds.), *Farming and Birds in Europe*. Academic Press. San Diego, pp. 178-209.

FAO, 1990. *Guidelines for Soil Description. 3rd Edition*, Soil Resources, Management and Conservation Service. Land and Water Development Division. Food and Agricultural Organization, Roma, Italia.

Gómez Amelia, D., 1985. *La penillanura extremeña. Estudio geomorfológico*, Universidad de Extremadura, Cáceres, España.

Jariego García, Á., Lavado Contador, J. F., 2010. Usos del suelo y ganadería en las dehesas de Extremadura, En: Schnabel, S., Lavado Contador, J. F., Gómez Gutiérrez, Á., García Marín, R. (Eds.), *Aportaciones a la Geografía Física de Extremadura con especial referencia a las dehesas*. Fundicotex. Cáceres, España, pp. 125-152.

Pulido Fernández, M., Lavado Contador, J. F., Gómez Gutiérrez, Á., Lozano Parra, F. J., 2009a. Quantification of bare soil and its spatio-temporal dynamic using different image classification methods. *Annals of Geomatics* VII, 33-40.

Pulido Fernández, M., Lavado Contador, J. F., Schnabel, S., Gómez Gutiérrez, Á., 2009b. Determination of bare soil and its seasonal variation using image analysis, En: Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Alonso Sarria, F., López Bermúdez, F. (Eds.), *Advances in studies on desertification : contributions to the International Conference on Desertification in memory of professor John B. Thornes*. Editum. Murcia, España, pp

Pulido Fernández, M., Schnabel, S., 2010. La disponibilidad de agua en explotaciones de ganadería extensiva, En: Schnabel, S., Lavado Contador, J. F., Gómez Gutiérrez, Á., García Marín, R. (Eds.), *Aportaciones a la Geografía Física de Extremadura con especial referencia a las dehesas*. Fundicotex. Cáceres, España, pp. 221-235.

Schnabel, S., 1997. *Soil erosion and runoff production in a small watershed under silvo-pastoral landuse (dehesas) in Extremadura, Spain*, Geoforma Ediciones, Logroño, España.

Schnabel, S., Pulido Fernández, M., Lavado Contador, J. F., 2009. The availability of water in ranches of Mediterranean type climate, En: Romero Díaz, A., Belmonte Serrato, F., Alonso Sarria, F., López Bermúdez, F. (Eds.), *Advances in studies on desertification : contributions to the International Conference on Desertification in memory of professor John B. Thornes*. Editum. Murcia, España, pp. 729-732.