

Estudio de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta mediante imágenes TM

M^a E. Pérez, M^a P. García y J. J. Sanz

Proyecto Complutense PR6499/85-21

Correo electrónico: eugenia@eucmax.sim.ucm.es

Departamento Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad Complutense de Madrid.

Ciudad Universitaria s/n - 28040 Madrid

RESUMEN

En este trabajo presentamos algunos resultados de la interpretación visual y digital de dos imágenes del sensor TM de 1999, información que ha sido complementada con trabajo de campo en las mismas fechas de pasada del sensor. Como resultado del estudio se ha realizado una clasificación supervisada con doce clases informacionales en las que se recogen los suelos afectados por salinización, superficies rocosas, formaciones vegetales, humedales, tipos de cultivos, etc. También se han señalado las vertientes de la sierra de Santa Cruz afectadas por acarcavamiento, indicando los sectores con más riesgos de erosión y hemos podido delimitar algunas fracturas de gran dimensión no cartografiadas por métodos geológicos tradicionales.

PALABRAS CLAVE: Landsat TM, medio abiótico, vegetación, Sistema Ibérico, humedales.

ABSTRACT

In this paper we have worked some results on the visual and digital interpretation of two images from TM sensor in 1999. This information has been controlled by field work on the same days where TM sensor. We have done a supervised classification with twelve information classes. This classification includes soils affected by salinization, rocks areas, vegetation masses, wetlands, different crops, etc. Erosion affected hill slopes of the Santa Cruz range have been pointed out, especially areas with intensive badland formation, that include regions with higher erosional risks. Some important fractures have been recognised which were not mapped by traditional geological methods.

KEY WORDS: Landsat TM, abiotic environmental, vegetation, Sistema Ibérico, wetlands

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como finalidad estudiar los diferentes parámetros del medio físico de un sector del Sistema Ibérico español a partir de imágenes del sensor TM y de un minucioso trabajo de campo. Se pretende conocer el estado actual y la superficie de las principales formaciones vegetales, independientemente de su carácter antrópico o natural. Otro objetivo es comprobar la precisión a la que se puede llegar con las imágenes del TM en cuanto a la identificación y distribución de los materiales geológicos y de las principales estructuras tectónicas (pliegues, fallas). Asimismo, se elabora una cartografía inicial resaltando los aspectos más relevantes del medio físico y de mayor interés para posteriores usos, como son: relieves acarcavados con distintos grados de recubrimiento vegetal, suelos con elevada salinidad, superficie actual y estado de conservación de distintos humedales, con indicación de la calidad y cantidad de sus láminas de agua.

ÁREA DE ESTUDIO

El Sistema Ibérico español está constituido por una serie interrumpida de alineaciones montañosas de gran heterogeneidad topográfica y geomorfológica,

separadas por vastas depresiones que se encuentran a elevada altitud. Entre las primeras sólo algunas destacan por su notable elevación (Sierra de la Demanda, 2265 m; Sierra Cebollera, 2147 m; Sierra del Moncayo, 2313 m; Sierra de Albarracín, 1855 m; Sierra de Gúdar, 2024 m; etc.), mientras que buena parte de dicho Sistema está conformado

por pequeñas alineaciones montañosas (Sierra de Pardos, 1264 m; Sierra de Santa Cruz, 1428 m; Sierra de Lidón, 1494 m, etc.) y extensas parameras que sobresalen escasas decenas de metros sobre las áreas más deprimidas. Este trabajo se centra en una de las depresiones intraibéricas sobre la que se asientan humedales de distinta tipología (kársticos, endorreicos y tectónicos), por lo que se ha escogido la denominación de dos de ellos -lagunas de Guialguerrero y Gallocanta-, aunque incluye también otra depresión no menos importante como la que aprovecha el río Jiloca (fosa de Teruel - Calatayud).

El área escogida para este estudio se localiza, por tanto, en el sector central del Sistema Ibérico e incluye parte de las provincias de Zaragoza, Teruel y Guadalajara, en las que se encuentran como principales núcleos rurales: Daroca, Cubel, Embid, Las Cuerlas, Bello, Tornos y Gallocanta. Geomorfológicamente destacan dos conjuntos elevados,

uno, formado por las sierras paleozoicas de dirección NW-SE (Pardos, 1264 m; Santa Cruz, 1428 m; y Valdelacasa, 1391 m) y, otro, por los relieves mesozoicos, que a modo de parameras, relieves de tipo "cuesta" y pliegues bastante arrasados constituyen el sector suroccidental de esta depresión intraibérica. Las dos depresiones principales -la del río Jiloca y la de Guialguerrero-Gallocanta- se encuentran a una altitud de 780-740 m y 1078-1000 m respectivamente.

Desde el punto de vista hidrográfico este área pertenece a la cuenca del río Jalón, en la que se incluyen los tramos medio y bajo del río Jiloca y parte de la cabecera del río Piedra. A su vez, ambos ríos tienen cuencas de avenamiento muy dispares: el primero recoge por su margen izquierda las aguas procedentes de las sierras paleozoicas, impermeables, mientras que el río Piedra, traza su curso alto y medio a través de materiales mesozoicos y, por tanto, de elevada permeabilidad. Entre ambas cuencas queda un amplio sector endorreico, donde se instala la mayor laguna española de estas características -Gallocanta-y, también, en torno a una decena de lagunas mucho menores en superficie, la mayor parte desecadas o con dilatados períodos secos.

Los datos climáticos definen este sector ibérico como uno de los de mayor continentalidad de España, con una altísima amplitud térmica anual (18,8° C en sus valores medios) con temperaturas medias invernales entre 2,2° C en diciembre y 3,7° C en febrero y medias de verano que superan los 20° C. La amplitud térmica extrema es de 61,8° C, registrándose la mayor amplitud de España en la estación de Calamocha (70° C), (Capel Molina, 2000) a unos 25 km al sur de Daroca y localizada igualmente junto a la margen derecho del río Jiloca. La gran amplitud térmica de este espacio viene representada por los valores de la estación de Daroca durante el período 1961-1990 y que se exponen en la Tabla 1.

Variables térmicas	°C
Mínima absoluta	-22,4 el 17 de diciembre de 1973
Mínimas medias anuales	-0,6 en enero
Media anual	10,4
Máximas medias anuales	29,5 en julio
Máxima absoluta	39,7 el 30 de julio de 1995

Tabla 1. Temperaturas medias de Daroca, período 1961-1990 y extremas 1961-98.

Si los valores térmicos anuncian en este sector una acusada continentalidad para la Península Ibérica, aún es más singular la distribución anual de las precipitaciones, que registra máximos anuales (en todas las estaciones existentes en el área de estudio) en los meses de mayo (en torno al 14% anual) y junio (10% anual) y, mínimos pluviométricos en enero y febrero (6% y 5,5% anual respectivamente), con la única excepción de la estación de Cubel (localizada junto a la laguna de Guialguerrero), cuyos mínimos se trasladan al verano

(5,82% anual durante el mes de julio, aunque muy próximo al valor de febrero, 6,3% anual). Los máximos pluviométricos de finales de la primavera e inicios del verano permiten el aprovechamiento agrícola de especies altamente demandantes de agua en los períodos de crecimiento y maduración como es el caso del girasol. Cabe destacar que en el reparto estacional de las precipitaciones todo el área mantiene un régimen POVI, tanto si se obtiene este con las precipitaciones promedio de la serie, como analizando los porcentajes anualmente y calculando después el porcentaje para la treintena estudiada. Aunque no son raros los años con máximos pluviométricos estivales, esta estación del año no alcanza en ningún caso máximos en el valor promedio del período 1961-1990.

Los suelos del área de estudio son, en general, poco evolucionados, con perfiles AC o ABwC correspondientes, los desarrollados sobre materiales calizos (clasificación FAO, 1989) a leptosoles réndricos y cambisoles calcáricos; sobre los materiales paleozoicos se desarrollan leptosoles líticos y úmbricos y cambisoles; cambisoles y regosoles sobre los materiales neógenos y suelos salinos (solonchaks) en los bordes de las lagunas. En algunos puntos aparecen suelos más evolucionados con horizonte B árgico que se clasifican como luvisoles; éstos adquieren más extensión en los piedemontes de la sierra sobre los sedimentos formados a partir de la alteración de las pizarras y su unidad más representativa es la de luvisoles crómicos. En la llanura de inundación de los ríos se localizan algunas unidades de fluvisoles.

Respecto a biogeografía este espacio pertenece a la región mediterránea (Rivas Martínez, 1987) subregión mediterránea occidental, provincia castellano-maestrazgo-manchega sector celtibérico-alcarreño. Esto implica que la vegetación potencial corresponde a la formación durilignosa con numerosas especies perennifolias compuesta fundamentalmente por encinares o carrascales de la alianza *Quercetum rotundifoliae*, acompañados de comunidades de plantas esclerófilas mediterráneas, caracterizadas en el estrato arbustivo por los géneros *Thymus*, *Rosmarinus*, *Genista*, *Juniperus*, *Pinus*, etc. En los sectores más húmedos y sombríos aparecen también robles y quejigos (*Quercus pyrenaica* y *Quercus lusitanica*). En las proximidades de la laguna de Gallocanta crecen espadañas (*Thypha* sp), carrizales (*Phragmites australis*) y *Juncus* sp y otras especies higrófilas y, en las áreas salinas, vegetación halófila donde predominan: *Salicornia ramosissima*, *Frankenia reuterii* y *Sal-sola* sp. y prados de *Puccinellia pungens*.

La vegetación natural ha desaparecido en gran parte del área de estudio, sustituida por cultivos de cereales, hortícolas y oleaginosas y repoblaciones de pinares, reduciéndose a pequeñas manchas, en parte degradadas, en los sectores montañosos.

Según los mapas 1:50.000 de cultivos y aprovechamientos (hojas de Used, Odón, Calamocha y

Daroca, 1978,79) la mayor parte del área de estudio está ocupada por labor intensiva, correspondiente a barbecho semillado, con parcelas en las que se cultiva trigo, cebada y, en pequeña proporción, leguminosas (yerros). En segundo lugar, aparece el matorral, a veces como masas puras y otras en mosaico: matorral ripícola en las proximidades del río Piedra y de las lagunas, y xerófilo en el resto. En numerosas áreas el matorral se encuentra asociado a estratos arbóreos aclarados de encinas, quejigos y pinos laricios o, en áreas altas o donde se han abandonado los cultivos, pastizales de *Festuca*, *Fleos*, *Dactilos*, etc.; según estos mapas el matorral, sólo o en asociación, ocupa casi la mitad del territorio. Menor extensión tienen las superficies arboladas, caracterizadas por la presencia de distintas especies de *Quercus* (dominan los *Quercus ilex*, sustituyéndose en altura por quejigo y rebollo), pinos (*P. laricio*, *P. halepensis*, *P. pinaster*) y, en las zonas más húmedas, chopos y álamos (*Populus*).

MATERIAL Y MÉTODOS

En el presente estudio se han utilizado dos miniescenas del sensor Thematic Mapper del satélite Landsat 5, con fechas de 4 de julio y 9 de noviembre de 1999. Estas escenas se han georreferenciado utilizando cerca de 100 puntos de control. Las miniescenas se han cortado ajustándolas a la depresión intraibérica objeto de estudio, con una extensión aproximada de 115.000 hectáreas. Para el estudio de las imágenes se ha utilizado el programa ERDAS Imagine 8.3.1.

Para resaltar las características abióticas-geomorfología, litología y suelos- se ha utilizado preferentemente la imagen de otoño. Por el contrario, para analizar la vegetación y uso del suelo se han contrastado las dos fechas.

Con estas imágenes se han efectuado tratamientos visuales y digitales. Para ello hemos utilizado seis bandas, excluyendo la banda térmica objeto de otro trabajo (Pérez González *et al.* 2000). Para el análisis visual se han realizado combinaciones de bandas seleccionándose las 4-3-2, 3-2-1, 7-5-1 y 4-3-7 por ser las que mejor resaltan los usos y cubiertas del suelo, así como las diferentes litologías y las estructuras geológicas. Mediante el análisis digital se han introducido mejoras radiométricas y espectrales: ecualización del histograma, índices de vegetación y minerales, y análisis factorial en componentes principales. También se han estudiado los perfiles espectrales de las doce clases seleccionadas para realizar una clasificación supervisada de la imagen de noviembre, siguiendo la regla de la mínima distancia. No se han podido realizar correcciones atmosféricas pero los datos obtenidos con el sensor han sido contrastados con los de campo, tomados en la misma fecha de pasada del satélite para poder realizar una correcta interpretación de las categorías espectrales y obtener una

cartografía temática adecuada. Además, en puntos seleccionados se han tomado muestras de color (utilizando las tablas Munsell), medidas de pH, conductividad eléctrica de diferentes muestras de suelo y agua, y altura de las láminas de agua en los humedales.

ANÁLISIS VISUAL

Al analizar las distintas bandas del TM se observa que los canales visibles (1-2-3) definen mejor los contornos y características de las lagunas, así como la presencia o ausencia de sales; por el contrario, en los infrarrojos, obtenemos más información sobre la cubierta vegetal y las estructuras geológicas. Por esta razón se han hecho diversas combinaciones de bandas, escogiéndose cuatro de ellas que mezclan algunos canales visibles con los infrarrojos.

En la Fig. 1a se representa la combinación entre las bandas del visible (3-2-1 asignándole respectivamente los cañones rojo, verde y azul) en la escena del mes de julio. En esta combinación se delimita claramente la laguna de Gallocañta con los márgenes salinos y áreas encharcadas en su interior (Pérez González *et al.* 2000; García Rodríguez *et al.*, en prensa) y, a pesar de su pequeño tamaño, la laguna de Guialguerrero; esta imagen permite medir la superficie ocupada por sales y compararla con la imagen de noviembre. Así, en julio de 1999 la superficie salina ocupaba 850 ha, frente a 784 del área encharcada, mientras que en noviembre del mismo año (Fig. 1b) el área con sales en superficie se incrementó hasta 1010 ha, en detrimento del área inundada. En esta combinación de bandas también se distinguen los pequeños núcleos rurales; por el contrario, apenas se perciben las variaciones en la vegetación.

Para analizar la cubierta vegetal se ha escogido la mezcla 4-3-2 de la misma fecha veraniega (Fig. 1c). En esta imagen se delimitan con nitidez las áreas forestales con vegetación muy vigorosa de la sierra de Santa Cruz, con bosquetes de encinas, más densas en los niveles superiores, menos afectadas por el pastoreo; con la misma tonalidad roja aparecen los bosques en galería de las riberas del Jiloca (repobladas en gran parte con choperas) y algunas pequeñas parcelas diseminadas y dedicadas a regadío. En el SW de la imagen, y en tonos rosados, se cartografían las formaciones arbóreo-arbustivas desarrolladas sobre los substratos calcáreos; estas formaciones están más aclaradas y muestran menor vigor. En el centro de la depresión aparecen algunas parcelas con cereales de secano aún no recolectados y extensas tierras dejadas en barbecho. La laguna de Gallocañta también está bien definida, tanto en sus sectores salinos (en blanco), como en los que tienen algo de agua (en azul) y queda especialmente reflejada (en rojo) la orla de vegetación higrófila, especialmente al NW, asociada a los manantiales o manaderos de aguas

kársticas de “Los Ojos”. En esta combinación aparece bien definida la laguna desecada de La Zaida, puesta en barbecho y, contrastan en tonos muy blancos los suelos sin nada de vegetación.

De la imagen de noviembre se han seleccionado dos combinaciones: la mezcla de bandas 7-5-1 y la 4-3-7. La primera (Fig. 1b) delimita claramente el material de relleno de la depresión, así como el cierre periclinal de la cubierta mesozoica. También se individualiza la red pinnada (dendrítica tupida) constituida sobre pizarras en las laderas de la sierra, las hoces del río Piedra que marcan el límite occidental de la depresión Guialguerrero-Gallocanta, las fracturas NE-SW que marcan el cierre de esta depresión y sus fallas conjugadas; sin embargo, en esta combinación la laguna de Gallocanta, con una gran homogeneidad cromática, da lugar a confusión en cuanto a su contenido en agua, aunque se puede dibujar la fractura que cruza la laguna en su borde sur con dirección NE-SW. Estas probables fracturas no están registradas en los mapas geológicos del MAGNA (1983). En la imagen de la combinación 4-3-7 (Fig. 1d) se han dibujado las fracturas no citadas en los mapas anteriormente mencionados; en esta imagen se diferencian bien los distintos materiales, especialmente los cenozoicos, que en otras combinaciones se confunden con los mesozoicos; dentro de estos materiales, se pueden separar los sedimentos cuaternarios más recientes recubiertos por depósitos actuales de textura fina y que ocupan las lagunas de Guialguerrero, La Zaida y Gallocanta. Como en la mezcla anterior, también aquí aparecen bien delimitadas las distintas formas de la red fluvial, aún en los cursos de primer orden. Así, en la vertiente oriental de la sierra de Santa Cruz se delimitan con claridad los relieves acarcavados, observándose mayor estabilidad en las exposiciones de umbría debido al mayor recubrimiento vegetal; la desaparición de esta protección conlleva, con un sustrato arcilloso, una rápida pérdida de suelo. Estas dos combinaciones, en esta fecha, son muy útiles para estudios geológicos puesto que, además, la escasa cubierta vegetal permite discriminar los materiales.

La interpretación de las imágenes del TM y fotografías aéreas, junto al trabajo de campo permite establecer el origen primario de la laguna de Gallocanta como tectónico, pues se trata de un graben entre dos sierras: mesozoicas al S y paleozoicas al N. Así se explican los rellenos de la fosa a partir de dos litologías, y el papel tan destacado que desempeñan las gravas y canturrales. Como posible agente coadyuvante a la génesis de la laguna debe citarse otro aspecto de la tectónica a veces no tenido en cuenta, bien visible en las imágenes de los distintos sensores remotos: la presencia de dos fallas a ambos lados del vaso (Fig. 1d), de tendencia a la disposición meridiana. Estas han dado origen a dos efectos claramente aprovechados por el hombre: uno, pasillos o corredores en las alineaciones mon-

tañosas del N de la laguna por los que pasan las carreteras (el paso desde Embid a Daroca y el de Bello a Calamocha); otro, depósitos de cauce en la cuenca, típicos de abanico aluvial, que en el término municipal de Bello son explotados como arenero y gravera. Esto abre la posibilidad de interpretar la fosa como un modelo bajadaplaya-salar (similar a las cuencas del SW de EEUU y del N de México), que debió funcionar ya en tiempos de relleno de la cuenca y que ha persistido hasta hoy. Por ello, junto a los mencionados agentes de modelación de la geomorfología de la laguna hay que citar los de paleogeografía, que nunca han sido patentizados hasta ahora.

Para estudiar mejor las diferentes estructuras registradas en el análisis visual se han efectuado una serie de mejoras tanto radiométricas como espectrales.

Entre las mejoras radiométricas destaca la ecualización del histograma (Fig. 1c y 1d) que permite resaltar las características más significativas de la escena: pliegues, fallas, red fluvial, límites entre estratos con litología contrastada, etc. Como mejoras espectrales se ha efectuado un análisis factorial en componentes principales y diversos índices. En el análisis en componentes principales se han tomado seis componentes (Fig. 2a). En él se advierten con claridad los materiales de relleno de cuenca localizados en la depresión intraibérica sobre la que se asientan las lagunas de Guialguerrero y Gallocanta. Por tanto, los materiales cenozoicos pueden cartografiarse con bastante precisión. Frente a ellos, los materiales paleozoicos y mesozoicos cubiertos por un estrato arbustivo y arbóreo quedan confundidos, o aunados en una misma clase correspondiente a su cubierta vegetal y no a los materiales que la soportan. Asimismo desde la vertiente oriental de las sierras de Santa Cruz y Valdelacasa se dibujan bien las numerosas cárcavas que se extienden hasta el cauce del río Jiloca y los cursos fluviales más importantes, el Piedra y el Jiloca. Por tanto esta mejora resulta muy útil, en este sector, para realizar estudios geológico-geomorfológicos. Para este tipo de trabajos también resulta apropiada la imagen obtenida a partir de un índice de composición mineral mezclando tres cocientes de bandas: 5/7, 5/4 y 3/1 asignándoles respectivamente los colores rojo, verde y azul (Fig. 1f). En esta composición se destacan perfectamente los pliegues en los materiales mesozoicos, distinguiéndose con toda claridad el sinclinal situado en las proximidades de Cubel, constituido por materiales cretácicos así como el cierre periclinal al sudoeste del mismo; asimismo se distinguen con bastante nitidez otros pliegues y fallas que afectan a los materiales circundantes. Por tanto, esta combinación de bandas resulta muy útil para resaltar las estructuras geológicas que afectan a la región.

Para cartografiar la vegetación se ha realizado el Índice Normalizado de Vegetación o NDVI de la imagen de julio (Fig. 1e) en la que se marcan en

tonos claros las áreas de vegetación natural con especies arbóreas y arbustivas. Así en las áreas de montaña, con vegetación arbórea, los valores del NDVI oscilan entre 0,6 y 0,4; en el estrato arbustivo y arbóreo aclarado desarrollados sobre los sedimentos calcáreos están entre 0,2 y 0,4, mientras que en las áreas dedicadas a cultivo, ahora con suelo descubierto, los valores son negativos. En el

mes de julio, los valores máximos alcanzan el 0.74 en la vegetación de ribera y en las partes altas de la sierra de Santa Cruz. También se delimitan muy claramente los contornos de la laguna de Gallocanta, con presencia de especies halófitas e higrófilas, más espesa en “Los Ojos”, próximos al municipio de Las Cuerlas.



Figura 1a. Bandas 3-2-1 (R-V-A), 4-7-1999



Figura 1b. Bandas 7-5-1 (R-V-A), 9-11-1999

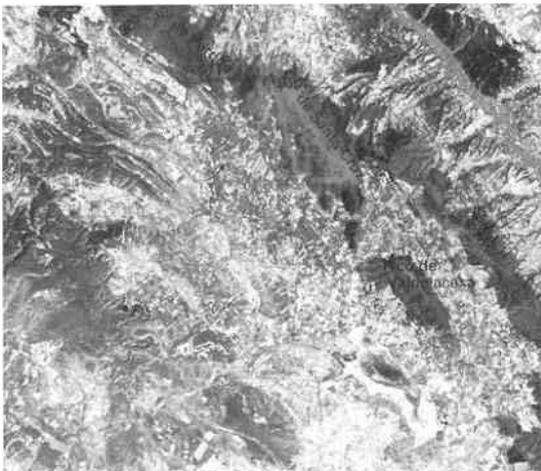


Figura 1c. Bandas 4-3-2 (R-V-A), 4-7-1999

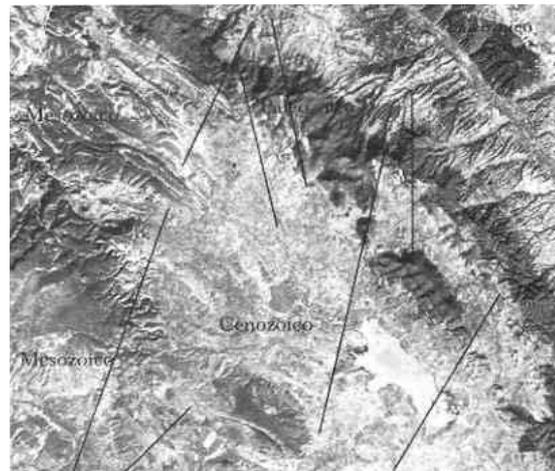


Figura 1d. Bandas 4-3-7 (R-V-A), 9-11-1999

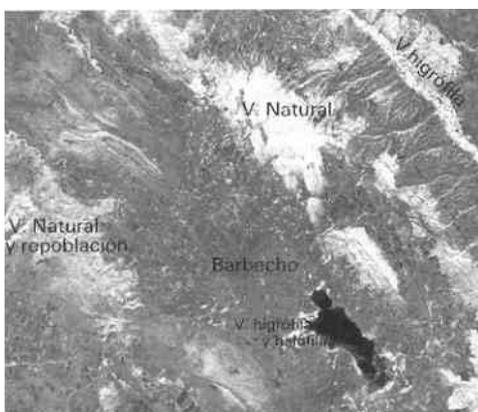


Figura 1e. NDVI del 4-7-1999



Figura 1f. Índice mineral, 4-7-1999

Figura 1. Imágenes TM de la depresión Guialguerrero-Gallocanta.

ANÁLISIS ESPECTRAL Y CLASIFICACIÓN SUPERVISADA

Se han escogido doce clases espectrales claramente definidas (Fig. 2b) correspondientes a clases informacionales analizadas en el campo, laboratorio y mediante los mapas geológicos 1:50.000. En ellas se han separado cuatro clases relacionadas con las lagunas presentes en el área de estudio: a) agua somera, tomada en la laguna de Gallocanta, b) sales en la misma, c) agua profunda tomada en la laguna de Guialguerrero y d) las áreas encharcables muestreadas en el suelo de la laguna desecada de La Zaida; otras cuatro clases corresponden a distintas cubiertas vegetales: e) encinas y coscojas desarrolladas sobre los materiales paleozoicos (denominada en la leyenda “vegetación arbórea”, Fig.2b), f) árboles y arbustos desarrollados sobre los sedimentos mesozoicos (“vegetación arbórea y arbustiva”), g) vegetación de ribera y parcelas en regadío (“vegetación higrófila”), y h) materiales pobremente recubiertos por estratos arbustivos y herbáceos (“eriales”). Las cuatro últimas clases se han escogido en los suelos desnudos o muy pobremente tapizados: i) materiales paleozoicos (pizarras y cuarcitas entremezcladas) presentes en la sierra de Santa Cruz, j) arcillas y arenas conglomeráticas principalmente mesozoicas y provenientes de la alteración de las pizarras paleozoicas (sedimentos arcillosos), k) suelos desnudos en materiales sedimentarios y l) parcelas dedicadas a barbecho. Espectralmente todas las clases son claramente diferenciables aunque poseen una característica común: la escasa actividad clorofílica en el mes de noviembre lleva a que todas estas clases tengan valores más elevados en la banda 5, salvo la correspondiente a vegetación higrófila, con valores más altos en la 4 y la categoría de sales, con valores más altos en la 1. Con estas clases se ha hecho una clasificación supervisada de la imagen de noviembre, cuyo resultado aparece en la Fig. 2c. Los valores máximos y mínimos para cada clase espectral y su extensión en hectáreas, se recogen en la Tabla 2.

- Agua profunda: en el área de estudio en esta fecha el único espacio con agua relativamente profunda (en torno al metro) corresponde a la laguna de Guialguerrero. Este humedal de origen kárstico, es de figura prácticamente circular, con un perímetro aproximado de 759 metros y área de 3,47 hectáreas¹ esta laguna tiene agua dulce, si bien sus sedimentos tienen una elevada conductividad eléctrica: 64,8 dS/m en el fondo del vaso lagunar, con pH de 9,12 y 8,29 dS/m en sus bordes con un pH de 9,2, que indican la presencia de sales que se diluyen en el gran volumen de agua.

Fuera de la laguna el pH baja a 7,73 y la conductividad a 3,3 dS/m. El 2 de abril de 1997 se midió en su orilla un total de sólidos disueltos de 150 ppm, frente a los 16.400 de Gallocanta; no obstante el carácter reductor de los fangos de la orilla denotaba la unidad en los procesos de hidromorfia edáfica: en presencia de materia orgánica los valores del eH son de -118 mV en Guialguerrero y de -179 mV en Gallocanta. Pese a todo ello alberga una vegetación higrófila que interfiere en los valores espectrales, con cifras algo más altas en el infrarrojo próximo (banda 4). La curva espectral es característica de las superficies acuáticas con valores muy bajos en los infrarrojos medio y máximo en la banda del azul, separándose claramente del resto de firmas espectrales analizadas. Sin embargo, y debido a los valores tan bajos en la mayor parte de las bandas, al hacer la clasificación esta categoría incluye también a materiales y cubiertas oscuras de los fondos de los valles (Fig. 2c), situados a la sombra: así, pizarras y cuarcitas de la sierra de Santa Cruz, tanto con vegetación forestal como descubiertas, y algunos materiales mesozoicos situados en puntos más abruptos, en las zonas de umbria, tienen valores espectrales muy bajos en las bandas analizadas por lo que es imposible separarlos del agua. Esto evidentemente introduce un error en la clasificación y lleva a que esta categoría ocupe una superficie de 6377 hectáreas, cuando la realidad es que las lagunas con agua, son muy reducidas.

	Banda 1		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 7		Area (ha)
	Mín.	Max.											
A. profunda	33	37	12	13	10	13	8	22	6	37	4	12	6377
A. somera	59	80	29	40	36	50	32	46	34	47	12	19	598
Sales	82	116	42	61	54	76	49	68	50	113	21	58	776
A. encharca.	49	52	21	27	25	34	32	38	60	82	31	42	29545
V. arbórea	37	45	17	21	18	25	38	44	38	66	14	27	8344
V.a.yarbus.	41	51	17	25	17	32	25	43	44	87	19	44	10863
V. higróf.	38	46	15	21	13	21	52	90	36	64	13	32	9950
Erial	39	49	19	28	25	43	28	41	41	82	24	44	13151
Sed.arcilloso	46	54	22	29	27	36	23	34	54	71	29	41	5902
Barbecho	59	58	22	29	29	37	48	61	83	96	37	44	23339
S.desnudo	59	69	33	38	46	56	50	59	93	112	44	53	1984
Pizarras-c.	37	50	14	24	14	27	14	34	21	66	11	31	4862

Tabla 2. Valores digitales de las distintas clases.

¹ Nótese que con este perímetro, si fuera un círculo perfecto debería tener 4,58 ha; la proximidad a dicha cifra pone de manifiesto la circularidad de Guialguerrero

Se ha intentado solventar el problema estableciendo dos clases diferentes: una para la laguna y otra para las manchas de sombras, pero la confusión a la que conduce es mayor que el incluirlas en la misma categoría. Realizando perfiles espectrales en repetidos puntos de las dos, se observa que en las bandas visibles los cortes son prácticamente iguales, en los infrarrojos divergen ligeramente y sólo en el canal térmico se discriminan con valores de temperatura más altos en la laguna que en los sectores de tierra en sombra. Así, sólo mediante análisis visual y mediante la utilización de la banda térmica (Pérez González y García Rodríguez, 2000), dentro de esta clase espectral se pueden separar dos clases informacionales.

- La muestra de agua somera corresponde al centro de la laguna de Gallocanta, en la que apenas existe una delgadísima lámina de agua (milimétrica). Por esta razón la signatura espectral es más característica de un suelo húmedo, sin vegetación, que del centro de un humedal. El perfil, en los canales del visible, muestra que no existe apenas capa de agua; sin embargo, los valores infrarrojos, especialmente en los canales 5 y 7, indican que el suelo está saturado en agua. Esta laguna en otoño de 1999 no tenía agua superficial (García Rodríguez *et al.*, en prensa), si bien visualmente parecía lo contrario, presentando un espejismo óptico.
- La tercera clase, también en la laguna de Gallocanta, corresponde al área más seca de la misma, con presencia de sales en superficie que ocupan una extensión aproximada de 776 ha, con una longitud máxima desde el borde lagunar hasta el área más húmeda de 1208,8 metros en el sector próximo al municipio de Las Cuerlas, junto al observatorio de la avifauna llamado La Requena. Todo el sector occidental de la laguna es el más seco, y en el que por tanto las sales tapizan la superficie mostrando estructuras de suelos poligonales y dando valores digitales elevados. En las tres bandas del visible muestra los valores digitales máximos respecto al resto de muestras seleccionadas, por lo que en estas bandas son fácilmente discriminables. Sin embargo, la humedad subsuperficial rebaja los valores en los canales infrarrojos, por lo que sus números digitales son inferiores a los del suelo desnudo y los barbechos de áreas adyacentes. No obstante, y a pesar de valores de conductividad eléctrica elevados en lagunas próximas, en las imágenes analizadas sólo se observa la presencia de sales, aparte de la laguna de Gallocanta, en puntos muy reducidos de la “Balsa Pequeña” próxima a ella. Por el contrario, la “Balsa Grande” a escasos metros de la anterior, no muestra la presencia de sales, lo que indica diferentes orígenes, endorreico y kárstico respectivamente, de ambos humedales. Se han realizado análisis en el terreno para conocer su salinidad y el color en diferentes puntos, obteniéndose valores de conductividad eléctrica que oscilan entre 17 y 50 dS/m en el borde y centro de la laguna respectivamente con un pH superior a 9,0 en ambos casos y colores (medidos con las tablas Munsell) con un *hue* de 10YR y *values* y *chromas* que varían entre 6/1, 7/2, 7/1 y 8/1, aunque en algunos puntos en los que se acumulan las algas, pueden pasar a tonos verdosos (5Y 5/4). La salinidad de la laguna de Gallocanta (16.400 ppm el 2 de abril de 1997) se reducía a 370 ppm en “Los Ojos”, menguando igualmente el pH desde 9,4 a 7,9 para las dos muestras de agua.
- También se ha escogido, por contraste con las anteriores, una muestra en una laguna desecada: La Zaida, dedicada al cultivo de secano. La signatura espectral del mes de noviembre muestra un valor digital muy alto en el canal 5 (ya que el terreno ha sido removido mediante arado, para la siembra). En la banda 3 muestra lógicamente valores más elevados que en la 2. La curva es muy similar a la del suelo desnudo de otras áreas, pero con valores digitales más bajos en todos los canales, debido a que sigue manteniendo una cierta humedad. No obstante, de quitarse las canalizaciones existentes, esta laguna podría recuperar su condición de humedal. Esta condición la tiene en los años especialmente húmedos, como en 1996/97; en esta ocasión (19 de febrero) el pH de agua es de 7,0 y el TSD de 95 ppm con un valor eH del agua de +116 mV. Ello supone que se trata de agua de lluvia apenas mineralizada en contacto con el suelo, desde la última dilución en un invierno especialmente húmedo (a excepción del mes de febrero). La semejanza en el tipo, color y humedad de suelo, con áreas próximas dedicadas también a cultivo de secano y situadas en puntos topográficamente deprimidos y susceptibles, por tanto, de ser encharcados, hace que otros espacios se clasifiquen en la misma categoría espectral.
- La vegetación forestal se extiende a ambos lados de la depresión intraibérica Guialguerrero-Gallocanta, en los relieves más abruptos, sierra de Santa Cruz, al norte y relieves mesozoicos, al sur. Una de las clases espectrales se ha tomado en el área forestal de la sierra de Santa Cruz, donde predominan distintas especies arbóreas de *Quercus*, (encinas, rebollos y quejigos), con ralo estrato arbustivo de coscojas. También, en esta categoría quedan incluidos algunos sectores de encinares situados sobre las calizas del Mesozoico próximas a la cabecera del río Piedra. No obstante, la mayor superficie de vegetación forestal se localiza sobre materiales cámbricos, en la margen derecha del río Jiloca, en la esquina NE de la imagen. La signatura espectral de esta clase muestra el reflejo del suelo, ya que los pies arbó-

reos están separados y la vegetación arbustiva no cubre el suelo. El predominio de vegetación esclerófila perennifolia lleva a que el cociente entre las bandas 5 y cuatro sea bajo.

- Sobre las calizas mesozoicas dominan pinares y en el estrato arbustivo plantas aromáticas (es la razón por la que se la ha denominado clase con “vegetación arbórea y arbustiva”). Sin embargo, el perfil espectral muestra la interferencia del material calcáreo, por lo que la curva en estas fechas es más característica de suelos que de vegetación, debido a la escasa actividad clorofílica del estrato arbustivo. En esta clase se incluyen también los sectores de vegetación rala de la sierra paleozoica, discriminándose con este sensor, la densidad y vigor de la cubierta vegetal, con grandes interferencias del tipo de material sobre el que se asienta.
- Dentro de las cubiertas vegetales se atribuye una clase a la vegetación higrófila, incluyendo en ella, tanto la vegetación de ribera (*Populus* sp., etc.) como las parcelas de regadío y los valles con vegetación natural más densa y suelos más húmedos. Esta categoría se diferencia espectralmente del resto de muestras en la banda cuatro en la que alcanza el máximo. En esta categoría los cocientes entre los canales 4/3 y 4/5 son más altos, por lo que, si se efectúa un índice de vegetación con estos valores, también se resaltan claramente. Las parcelas dedicadas a regadíos son en esta época muy escasas pues en este área predominan los cultivos estivales, sobre todo de girasol, acorde con el régimen de precipitaciones con máximos anuales en primavera y verano. Dentro de esta clase la vegetación de ribera permite seguir el curso del río Jiloca gracias a las repoblaciones de especies arbóreas.
- Los eriales se extienden por toda la depresión intraibérica sobre materiales mesozoicos y cenozoicos, tanto de origen químico como detríticos. En muchos sectores la pedregosidad superficial es elevada. En esta categoría el color oscila entre 10 y 7,5 YR y mantiene una vegetación de herbáceas poco vigorosa en esta época del año, pero que tapizan lo suficiente el suelo para que la signatura espectral característica, aún similar en su forma a la de los suelos desnudos, tenga valores más bajos en todas las bandas.
- Otra de las clases seleccionadas corresponde a los sedimentos arcillosos, tanto triásicos como terciarios que se extienden por toda la depresión intraibérica. Estos materiales en el mes de noviembre apenas tienen cubierta vegetal, manteniéndose sólo algunas especies de gramíneas dedicadas a pastos, con poco vigor. La humedad que tienen las arcillas, junto con el pequeño tamaño textural y las tonalidades oscuras establecen una signatura espectral con valores bajos

en todas las bandas. Las dos áreas donde se cartografía esta clase están entre los núcleos rurales de Cubel y Pardos y en la alteración de las pizarras paleozoicas que constituyen un relieve acaravado en la vertiente oriental de la sierra de Santa Cruz. Así, independientemente de la edad de los materiales, esta clase recoge los sedimentos de color rojo oscuro violáceo, que varían desde 2,5 YR 3/6 a 2,5 YR 2,5/4 y que absorben gran cantidad de humedad.

- La clase a la que le hemos asignado el nombre de barbecho incluye todas las parcelas dedicadas a cultivos, tanto las sembradas a principios del otoño como las que se encuentran en barbecho (semillado y blanco), por lo que ocupa una gran extensión superficial en la imagen clasificada (unas 23.000 ha), ya que las proximidades de la laguna de Gallocanta se benefician por este uso con las ayudas comunitarias debido a que permiten la alimentación de las grullas. Los valores de la banda cinco son muy elevados, próximos a los del suelo totalmente desnudo, ya que el cereal apenas ha germinado. Los colores de estos suelos son muy variados y oscilan entre tonos pardos y rojizos (5 YR, 7,5 YR y 10 YR).
- Los suelos desnudos se extienden en pequeñas manchas por toda la imagen sobre los materiales sedimentarios. Incluyen espacios contrastados: unos, los sedimentos calcáreo-margosos del mesozoico constituyendo normalmente los frentes de las cuestas calcáreas; otros, los terciarios detríticos pedregosos (cuarcitas y calizas); y por último, materiales cuaternarios del borde de la laguna, ocupando en total 1984 hectáreas. En muchos casos se entremezclan con los suelos cultivados, de forma que éste puede ser también su uso, diferenciándose de ellos en que al no tener nada de vegetación y poseer tonalidades más claras la reflectancia es mucho mayor en las bandas 5 y 7, alcanzando el valor máximo en el canal 5 con números digitales próximos a 100. El color de la mayor parte de los materiales tiene un *hue* de 10YR, *value* entre 7 y 8 y *chroma* entre 1 y 2.
- La última categoría espectral corresponde a los materiales paleozoicos sin cubierta vegetal: pizarras y cuarcitas, tanto constituyendo afloramientos rocosos, como aluviones y coluviones. En esta clase se perciben visualmente las cárcavas desarrolladas sobre estos materiales alterados que descienden por la vertiente oriental de la sierra de Santa Cruz, hasta el mismo lecho del río Jiloca. También aparecen en ambos márgenes de este río, sobre pizarras y areniscas cámbricas. No obstante, esta clase engloba también a algunos materiales mesozoicos en la cuenca del río Piedra que son ricos en arcillas de tonos rojizos oscuros. La signatura espectral de esta clase mues-

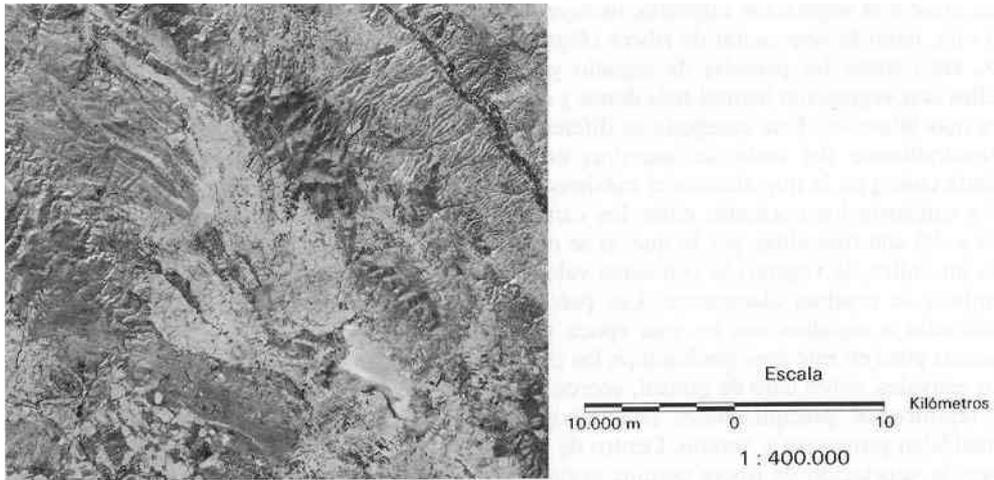


Figura 2a. Componentes principales, 9-11-1999

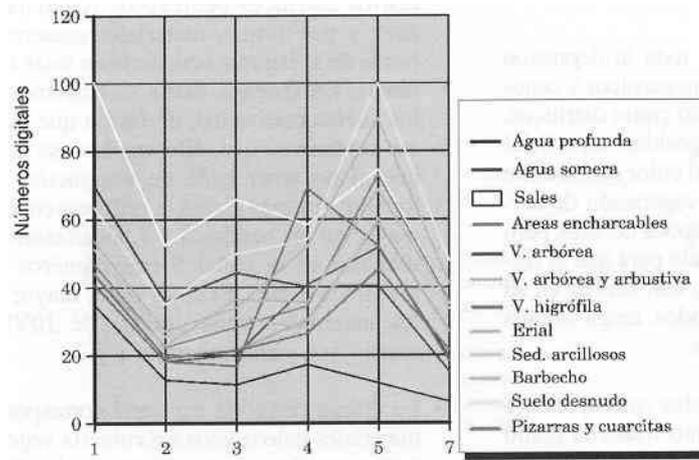


Figura 2b. Perfiles espectrales

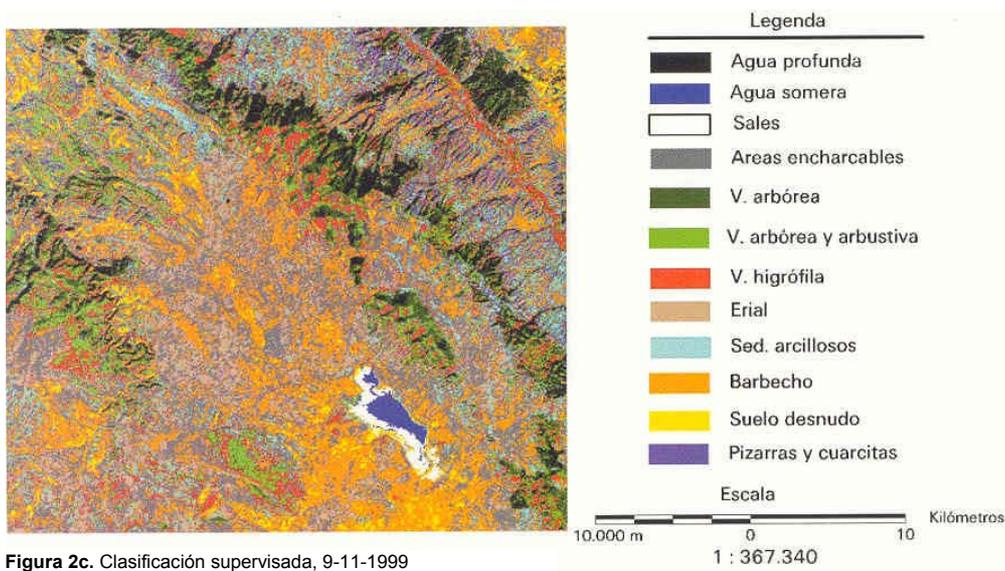


Figura 2c. Clasificación supervisada, 9-11-1999

tra números digitales muy bajos en todos los canales, especialmente en el infrarrojo próximo. De la clasificación supervisada del mes de noviembre se deduce que las clases que ocupan mayor superficie en este sector del Sistema Ibérico

corresponden a usos agrícolas de secano, en parte situados en los sectores más deprimidos (áreas encharcables) y, el resto clasificados como parcelas en barbecho. La siguiente categoría con mayor extensión pertenece a los eriales. Así, estas tres

clases que apenas tienen vegetación en esta estación del año, suman el 57% de la superficie total, de los que corresponden a labor intensiva un 46% aproximadamente. Por el contrario, la superficie forestal (árboles y arbustos) sólo alcanza el 18% de la misma. El suelo improductivo (afloramientos rocosos y suelo desnudo) ocupa un 5,9%. De estos datos se deduce, comparándolos con los obtenidos en los mapas de Cultivos y Aprovechamientos, que en los últimos veinte años, los cambios en el uso del suelo no han sido muy significativos; destaca el ligero aumento de los terrenos improductivos, debido al desarrollo de las infraestructuras viarias y al abandono de las tierras más pobres con mayor pedregosidad. Posiblemente también se ha producido una pequeña reducción de las áreas con vegetación natural, incluyéndose ahora en los eriales. No se puede considerar la extensión de la clase denominada “agua profunda” puesto que, como hemos indicado, está mezclada con valles deprimidos (más húmedos y en sombra) y sin vegetación de la sierra paleozoica. Por el contrario, sí es fiable la superficie de las clases “agua somera” y “sales” casi exclusivamente circunscritas a la laguna de Gallocanta; la superficie obtenida es similar a la medida en la imagen original (Pérez González *et al.*, 2000). No obstante, la clasificación recoge con precisión la variabilidad en los humedales, separando aquellos salinos, de los que tienen agua dulce.

CONCLUSIONES

Las imágenes TM multitemporales elegidas para este estudio han permitido localizar numerosos accidentes tectónicos, algunos de ellos no cartografiados por las técnicas tradicionales. Destacan las fracturas que, con dirección NE-SW enmarcan la laguna de Gallocanta; asimismo se han delimitado otras fracturas en la misma dirección y sus conjugadas que afectan a toda la depresión. Todas las estructuras geológicas y accidentes tectónicos (pliegues, fallas, cierres periclinales, monoclinales o “cuestas”, etc.) son fácilmente identifi cables debido a la escasa cobertura vegetal, especialmente en el mes de noviembre .

En estas imágenes se visualizan también perfectamente las superficies acarcavadas, diferenciándose los sectores estabilizados (con cubierta vegetal) de aquellos más expuestos a la erosión. Un análisis multianual permitiría medir la dinámica de estas cárcavas.

La salinización del suelo sólo afecta de forma clara al borde de las lagunas. Las medidas realizadas en las imágenes de julio y noviembre apuntan a un incremento notable de la salinización confor-

me avanza el otoño; este proceso está en relación con las máximas precipitaciones de finales de primavera y principios de verano y con la alimentación kárstica de la mayor parte de las lagunas. Cualquier alteración en el manejo del agua repercutirá rápidamente en las superficies salinas. No obstante, con tiempo soleado puede evaporarse rápidamente la lámina de agua: el 19-2-1997 la laguna tenía 8.050 ppm de salinidad, mientras que el 2-4-1997 la cifra se había duplicado (16.400 ppm).

La utilización del índice normalizado de vegetación, junto a la interpretación visual y digital de imágenes en distintas fechas, ha facilitado cartografiar con nitidez las superficies ocupadas por vegetación y el vigor de las distintas formaciones. La comparación de estos datos con otras fuentes de información permitirá valorar la evolución de las distintas formaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- CAPEL MOLINA, J.J. 2000. El clima de la Península Ibérica. Ed. Ariel.
- F.A.O. 1989. Mapa de Suelos del Mundo. FAO. Roma.
- GARCIA RODRIGUEZ, M.P.; PEREZ GONZALEZ, M.E. y SANZ DONAIRE, J.J. En Prensa. Variación estacional de los niveles de agua en la laguna de Gallocanta (Zaragoza-Teruel). En IX Congreso Nacional de Teledetección. Lérida, septiembre de 2001.
- I.G.M.E. 1983. Mapa geológico de Used (464) 1:50.000, Madrid.
- I.G.M.E. 1983. Mapa geológico de Daroca (465) 1:50.000, Madrid.
- I.G.M.E. 1983. Mapa geológico de Odón (490) 1:50.000, Madrid.
- I.G.M.E. 1983. Mapa geológico de Calamocha (491) 1:50.000, Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1978. Mapa de cultivos y aprovechamientos de Used (464) 1:50.000. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1978. Mapa de cultivos y aprovechamientos de Daroca (465) 1:50.000. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1978. Mapa de cultivos y aprovechamientos de Odón (490) 1:50.000. Madrid.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1979. Mapa de cultivos y aprovechamientos de Calamocha (491) 1:50.000. Madrid.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a.E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M.P. 2000. Estudio microclimático de la Laguna de Gallocanta. En AGUADO, I. y GÓMEZ, M. (edit.). 2000. Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible. Serv. Public. Dep. Geografía. Univ. De Alcalá; 102-114.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. (1987): Mapas y memoria de las series de vegetación de España. Icona, Madrid.