

Estudio mediante imágenes TM del entorno de Villacañas (Toledo)

M^a. P. García y M^a. E. Pérez

Dept. Análisis Geográfico Regional y G. Física. Fac. Geografía e H. Univ. Complutense
Ciudad Universitaria. 28040 Madrid

RESUMEN

En este artículo se analiza, mediante imágenes del sensor TM, un sector del sudeste de Toledo caracterizado por la presencia de humedales y áreas salinas. Los resultados obtenidos en el tratamiento de las imágenes, junto con los datos de campo permiten obtener una correcta cartografía del medio físico.

PALABRAS CLAVE: Medio físico, cartografía, humedales, salinidad, eutrofización.

ABSTRACT

In this paper two TM images are analysed. These images are situated in the SE of Toledo province (Spain), characterised by wetlands and salinity areas. These data joint to fue field studies allow to obtain a correctly cartography of environment.

KEY WORDS: Cartography, environment, wetlands, salinity and eutrophytation.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de este estudio es llegar a clasificar mediante imágenes TM en diferentes épocas del año, un sector de la provincia de Toledo, caracterizado por la presencia de humedales con un gran contraste en sus contenidos de agua y sales. Para ello se han elegido dos imágenes de fechas contrastadas: 20 de agosto de 1995, momento en que España sufría una importante sequía y 8 de febrero de 1997, en la que el territorio se encontraba muy encharcado. Con el fin de obtener una correcta cartografía se han georreferenciado las dos imágenes, mediante numerosos puntos de control (error del 0.07%), a coordenadas UTM (esquina NW: X=470.961 e Y=4.386.558; esquina NE: X=475.836 e Y=4.385.853; esquina SW: X=470.586 e Y=4.382.163 y esquina SE: X=475.506 e y =4.381.488). Además, se han comparado los distintos métodos de clasificación disponibles: máxima probabilidad, distancia de Mahalanobis y mínima distancia, y contrastado los resultados con la verdad-terreno, tratando de analizar qué clasificación resulta más útil para las diferentes cubiertas del suelo y estado de humedad del mismo en este área de estudio.

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la provincia de Toledo, en el término municipal de Villacañas. Las escenas analizadas (Figuras 1 y 2) comprenden los humedales existentes entre este municipio y el río Riánsares, afluente del río Cigüela por su margen derecha.

Los factores físicos y antrópicos más relevantes del sector toledano analizado son los siguientes:

Clima

El clima del extremo sudeste de la provincia de Toledo se caracteriza por una pluviosidad anual escasa, donde no suelen superarse los 400 mm anuales. Estos valores se sitúan entre los más bajos de La Mancha por localizarse a la sombra orográfica de la dinámica atmosférica general, de modo que las borrascas ya deterioradas que llegan casi desde cualquier dirección a La Mancha no dejan más que periódicos aguaceros, frecuentemente tormentosos pero de escasa cuantía anual. El régimen pluviométrico presenta un máximo principal en invierno (32% de la precipitación anual) muy disputado por la primavera (31%) y un mínimo estival (13% anual) como corresponde a los climas mediterráneos.

Las temperaturas reflejan el matiz continental del clima manchego con inviernos fríos, (medias mensuales inferiores a 7,5 °C), períodos de helada probable (según Walter y Lieth, 1967) comprendidos entre octubre y abril y, una estación estival muy calurosa con medias en julio y agosto superiores a 25°C y máximas absolutas que superan con frecuencia los 40°C.

Entre las clasificaciones climáticas referidas al período 1961-1990 se destacan: un tipo Csa3 según Köppen, un clima DdB_i'b3' según Thornwaite, esto es, semiárido, mesotérmico, con reducido exceso de agua (15 mm en Alcázar de San Juan) limitado a los meses de febrero, marzo y abril, propio del interior. Según la clasificación agroclimática de Papadakis este sector manchego presenta para el citado período un tipo climático TE2-Me

(mediterráneo templado), con un régimen térmico cálido, un régimen de humedad mediterráneo seco, un tipo de verano M (maíz) y un tipo de invierno AV (avena cálido).

Geología y Geomorfología

El área de estudio corresponde a la cuenca sedimentaria del Guadiana (tramo medio), geológicamente poco variada, con predominio de materiales que abarcan desde el Mioceno inferior y medio al Cuaternario. Se localiza junto a las estribaciones más orientales de los Montes de Toledo, destacándose en el paisaje circundante a modo de pequeñas sierras (Sierra del Romeral, 877 m) o picos aislados (Borregas, 788 m; Atalaya, 796 m y Espartosa, 724 m), que constituyen "sobresalientes picos de montes-isla de los Montes de Toledo" (Sanz Doñaire, J. J. et al., 1994), con un claro predominio de rocas paleozoicas, entre las que destacan las cuarcitas ordovícicas. La posición del área de estudio muy próxima al Paleozoico presenta la peculiaridad de tener un escaso recubrimiento terciario (que lógicamente va aumentando hacia el centro de la cuenca, junto a las confluencias de los ríos Riánsares y Cigüela y de éste con el Záncara), permitiendo reflejar en superficie muestras de un complejo paleorrelieve. De éste se destaca aquí la línea de fractura del Paleozoico subyacente que permite el afloramiento de sedimentos triásicos (constituidos por depósitos de arcillas rojas con gravas de cuarcita y algún cuarzo) al sur y sudeste de la laguna Larga, y la instalación de un vaso lagunar: la Laguna Larga de Villacañas, cuyo adjetivo caracteriza bien su linealidad. Casi todo el espacio analizado corresponde al Vindoboniense pudiendo distinguirse dos series, una formada por depósitos evaporíticos y de materiales finos, definida por arcillas rojas con grandes cristales de yeso con depósitos de grava fuertemente ferruginizadas y, otra, la "facies blanca" (Portero y Corral, 1971), compuesta principalmente por margas yesíferas, yesos y calizas margosas. Los depósitos cuaternarios están formados por sedimentos aluviales que se extienden por la red fluvial actual (río Riánsares) y áreas endorreicas, con un espesor medio de 5 m (Fornés, 1994). Abundan los materiales detríticos finos, de tonos pardo grisáceos.

Desde el punto de vista topográfico pueden diferenciarse dos sectores, separados en la imagen por una diagonal noroeste-sureste: el sector occidental corresponde a topografía ondulada (3 a 8% de pendiente) y escasa disección fluvial y, el sector oriental, de topografía casi plana « 3%), donde son frecuentes los fenómenos de endorreísmo y arreísmo locales.

Suelos

El área se caracteriza por suelos poco evolucionados formándose fluvisoles en las proximidades

del río y cambisoles con tonos pardos o rojizos sobre los sedimentos terciarios, salvo en los terrenos encharcables en los que se destaca la presencia de gypsisoles. Sobre los materiales triásicos, situados al sur de la Laguna Larga, se desarrollan suelos salinos (solonchaks).

Vegetación natural

La gran extensión de los cultivos confinan a la vegetación natural a escasos y pequeños enclaves que, por diversos motivos, no han podido ser aprovechados para la agricultura (salinidad excesiva, escasez o pobreza del suelo, etc.). Así, la vegetación potencial del extremo suroccidental manchego, caracterizada por la serie mesomediterránea manchega y aragonesa de *Quercus rotundifolia* (Rivas Martínez, 1987), está prácticamente ausente y sólo queda como recuerdo alguna encina aislada y solitaria sin estrato arbustivo ni herbáceo alguno. La vegetación natural sólo puede observarse en los bordes lagunares (salobres) y márgenes de los ríos. Las diferentes especies vegetales del entorno de las lagunas Larga y Chica tienen en común las necesarias adaptaciones halófilas y xerófilas que se reflejan en un período de desarrollo muy corto (para evitar las bajas temperaturas del invierno y acusada sequía estival), hojas muy pequeñas y tallos carnosos (para evitar pérdidas excesivas de agua por evaporación y poder almacenar agua), flores muy pequeñas (pues es el viento el agente polinizador), un porte con tendencia al enanismo y hojas lampiñas (para reducir la superficie transpirante) y un sistema radicular de desarrollo horizontal para aprovechar mejor las aguas meteóricas y alejarse de las aguas subsuperficiales, más salobres. Entre las especies de estas características, destacan en el entorno de la laguna Chica de Villacañas: *Salicornia ramosissima*, *Suaeda vera*, *Suaeda maritima*, *Scirpus tabernaemontani*, *Limonium sp.*, *Elymus pungens*, *Microcnemum cora/lroides* y *Lygeum sparturno*. En el entorno de la laguna Larga se encuentran, además de las anteriores, *Salsola vermiculata*, *Juncus maritimus* y *Schoenus nigricans*. Respecto a la vegetación de ribera, en los márgenes del Riánsares se desarrollan principalmente *Populus alba*, *Tamarix sp.*, *Phragmites australis*.

Usos del suelo

La mayor parte de la superficie analizada en las imágenes de satélite tienen como uso del suelo dominante la agricultura. Los campos de cultivo se extienden con frecuencia hasta los mismos bordes de las lagunas de Villacañas (Larga y Chica), aún con el riesgo de perder parte de sus cosechas debido a los desbordamientos periódicos de los vasos lagunares. Este sector manchego destaca por el predominio de cultivos de cereales de grano, principalmente cebada y avena, cultivados mediante sistema de año y vez, en el que estos cereales se

alternan con leguminosas (lentejas y veros), hortalizas, cultivos forrajeros (veza) o industriales (remolacha azucarera). Los cultivos leñosos, muy generalizados al sur del área de estudio, están aquí escasamente representados, destacando sólo algunos viñedos junto a la línea del ferrocarril. La superficie dedicada a prados o pastizales se localiza en los terrenos encharcables con facilidad (bordes de las lagunas, charcones temporales y área entre el pueblo de Villacañas y laguna del mismo nombre), salinos y con abundantes yesos, características que no hacen rentables los aprovechamientos agrícolas. Los cultivos de regadío (remolacha azucarera, patata tardía, cebada, ajo y cebolla principalmente) suponen un porcentaje muy reducido de todos los cultivos agrícolas (1,2% en 1990) debido a la mala calidad del agua subterránea.

El pueblo de Villacañas también acoge a un sector industrial en crecimiento dedicado a la fabricación de puertas, lo que conlleva la instalación de numerosas naves industriales en las proximidades de las lagunas.

RESULTADOS y DISCUSION

Estas dos imágenes se han tratado mediante análisis visual y digital con el fin de contrastar los resultados y compararlos con los datos obtenidos en el campo. Con esta información se llega a una clasificación que ofrece una alta fiabilidad:

Análisis visual

Se han comprobado diferentes combinaciones de bandas para conocer que mezclas nos permiten discriminar mejor los diferentes usos y cubiertas del suelo.

En la imagen de verano destacan:

- Combinación del visible, 3-2-1, permite diferenciar bien la humedad, lagunas Larga y Chica de

Villacañas, río Riánsares, pequeñas graveras (apenas identificables mediante fotografía aérea) y numerosos charcones que temporalmente presentan agua. También se distinguen bien las eflorescencias salinas de la laguna Larga y del suelo. Se detecta claramente la cuña arcillosa del Triásico del extremo sudeste de la laguna Larga, no visible en la fotografía aérea pancromática (Pérez et al., en prensa). Aunque la zona es bastante llana, pueden distinguirse dos sectores claramente diferenciados y que corresponden a topografía ondulada del oeste de la laguna Larga y topografía plana al este de la misma. Sin embargo, esta combinación no es muy buena para distinguir usos del suelo, puesto que apenas establece diferencias entre los distintos tipos de cultivos (viñedos y cereales de secano), y además, los regadíos se confunden con los humedales. El pueblo de Villacañas presenta dificultades para ser discriminado en esta combinación, pues tiene los mismos tonos que las áreas con humedad (río Riánsares, charcones temporales y graveras).

- Combinación 4-3-2: es la que permite la máxima diferenciación visual en cuanto a la composición y calidad del agua (Pérez et al., en prensa). También permite una buena discriminación de las distintas cubiertas vegetales, destacándose claramente los regadíos. Las áreas salinas y los diferentes grados de humedad del suelo quedan, a su vez, nítidamente diferenciados. El pueblo de Villacañas se distingue de los humedales y de los suelos cubiertos por vegetación, aunque en algún sector se puede confundir con terrenos de rastrojos y con sedimentos arcillosos de distintas edades.

- Combinación 2-4-7, permite diferenciar perfectamente los terrenos urbanos: pueblo, canal de desagüe, ferrocarril, carreteras y naves industriales, éstas últimas imposibles distinguir en combinaciones anteriores. La banda 7 es la que resalta mejor

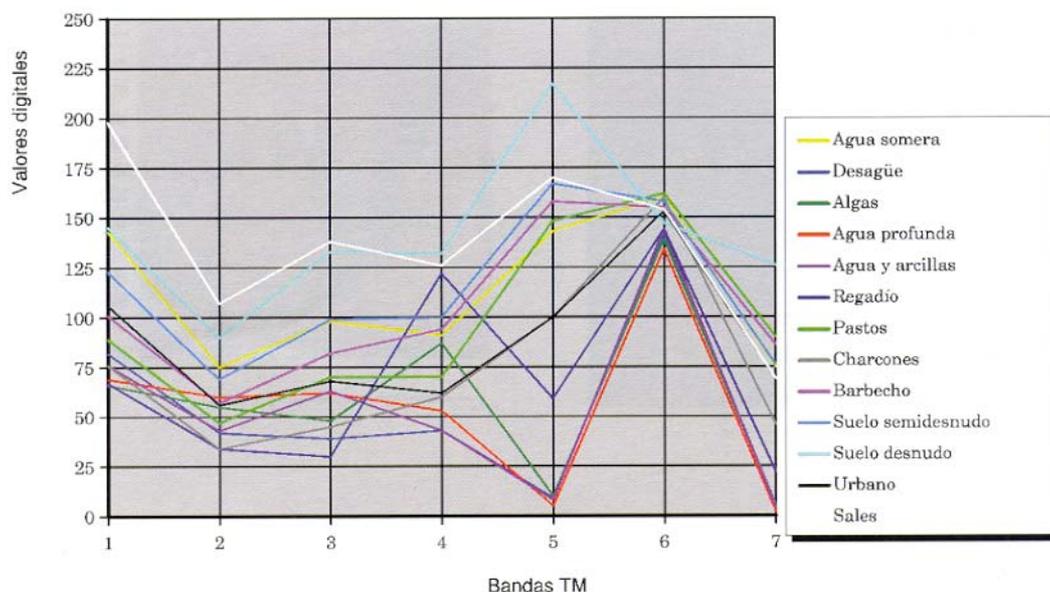


Figura 1. Perfil de las clases espectrales de la imagen de verano.

	Banda 1		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 6		Banda 7	
	Mín.	Máx.												
Sales	165	209	94	115	123	148	115	140	130	175	151	155	55	77
Agua prof.	66	73	51	66	44	71	51	62	4	11	134	147	2	7
Agua som.	138	153	71	76	91	99	82	93	109	144	158	161	53	76
Desagüe	4	8	39	48	33	45	42	60	7	19	138	143	4	8
Agua y sedi.	69	90	39	47	50	69	34	46	5	21	134	151	4	12
Charcones	71	84	33	41	42	53	55	67	97	135	157	162	45	69
Algas	62	71	52	63	43	58	75	92	9	15	139	141	3	9
Regadío	67	77	32	40	33	46	97	116	78	115	147	155	30	62
Pastos	80	88	41	47	58	68	58	69	124	145	160	163	73	84
Barbecho	91	110	47	56	61	73	86	94	94	113	153	157	42	51
Suelo semid.	114	126	63	71	90	100	91	102	162	176	157	164	73	88
Suelo desn.	117	165	77	107	117	157	114	149	199	229	147	151	107	131
Urbano	95	110	48	59	61	76	57	67	100	123	151	153	63	81

Tabla 1. Valores digitales de las clases espectrales de la imagen de verano

las áreas urbanas, también observadas en otras combinaciones (3-4-7, 3-5-7, 7-3-4, etc.). Pero frente a éstas, la primera sí diferencia las sales de la laguna Larga y la topografía ondulada de la plana. Estas combinaciones no son válidas para separar bien los diferentes usos agrícolas del suelo, confundiendo los regadíos con los barbechos y los pastos. Tampoco se observa la cuña arcillosa del Triás fuera del vaso lagunar.

- De las posibles combinaciones con los canales infrarrojos próximos y medios se ha elegido la mezcla de bandas 4-5-7 debido a que permite discriminar claramente los espacios urbanos y las infraestructuras viarias (ferrocarril y carreteras comarcales), de los usos agrícolas y humedal es. Sin embargo, en estas combinaciones se confunden los sectores de las laguna Larga que tienen agua somera con las parcelas dedicadas a regadío. Esto indica que hay mayor influencia de la humedad que de la vegetación y contenido en sales. Tampoco se pueden separar en esta imagen los diferentes usos del suelo, estableciéndose sólo dos clases bien diferenciadas, suelos desnudos y los cubiertos con distintos tipos y densidades de vegetación.

La imagen de invierno es mucho menos contrastada que la imagen de verano debido a la elevada humedad de todo el terreno. En la banda térmica apenas se observan diferencias.

- La combinación 3-2-1 distingue las zonas húmedas (lagunas, río y espacios encharcables), así como los usos urbanos, incluidas las naves industriales. También se diferencia la vegetación higrófila de la ribera del Riánsares y los suelos desprovistos de vegetación. La mayor extensión y profundidad del agua en la laguna Larga en esta época del año respecto a la misma en la imagen de verano impide que se puedan establecer diferencias en la calidad del agua y el reflejo del sustrato. Son las bandas del visible las que permiten establecer estas diferencias en cuanto a las áreas encharcadas puesto que distinguen la laguna Larga y charcones formados sobre materiales impermeables, de la laguna Chica y las graveras artificiales formadas sobre materiales más gruesos y permeables del Plioceno. Esto no es posible discriminarlo si utilizamos solamente bandas infrarrojas.

- La combinación 4-3-2 permite diferenciar la vegetación de ribera y los regadíos del resto de los cultivos y éstos entre sí (barbechos, cereales y pastos). También son reconocibles los suelos desnudos y el área urbana e industrial. Así mismo, la laguna Chica de Villacañas se diferencia de la laguna Larga y de los charcones por su menor turbidez y mayor reflejo del suelo.

- La combinación 2-4-7 en esta imagen de invierno no es adecuada para la identificación de terrenos urbanos, ni vías de comunicación, dado que gran parte del suelo se encuentra desprovisto de vegetación. Sin embargo sí permite establecer una clara diferenciación en el grado de encharcamiento del suelo y de la influencia del sustrato. Así, podemos separar las lagunas, Grande y Chica, y las áreas inundables próximas a éstas y al río Riánsares. También es posible llegar a cartografiar las áreas inundadas artificiales, como las pequeñas y numerosas graveras a ambos márgenes del Riánsares.

- La combinación con canales sólo del infrarrojo (4-5-7) permite diferenciar cuatro clases espectrales:

- Áreas inundadas, independientemente de la profundidad de la lámina de agua, de la calidad de la misma y litología del sustrato;
- Áreas encharcadas del entorno de las lagunas y del río Riánsares;
- Espacios urbanos e industriales, aunque no distingue las infraestructuras viarias;
- Suelos potencialmente cultivables, si bien en estos pueden hacerse pequeñas diferenciaciones debidas a la densidad de la cubierta vegetal, aunque ésta siempre es escasa.

Análisis digital

Del estudio de los perfiles de las clases espectrales de la imagen de verano (Figura 1 y Tabla 1) se deduce que los valores digitales más elevados corresponden a las sales y al suelo desnudo, con una diferencia notable entre ambos; las sales tienen valores más altos en los canales del visible y el suelo desnudo en los infrarrojos próximos y medios. Así, se podrían diferenciar índices entre estos

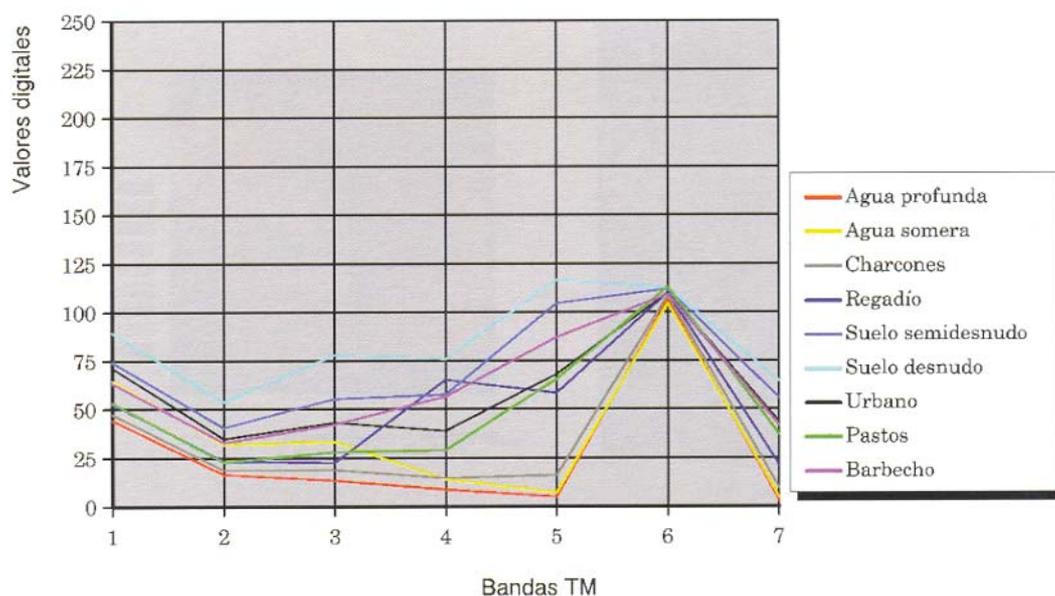


Figura 2. Perfil de las clases espectrales de la imagen de invierno.

canales (5/4 y 4/3). Son las sales las que alcanzan valores en torno a 200 en la banda 1 (137,7 de media para el suelo desnudo en la misma banda), mientras que en la banda 5 son mayores los valores digitales del suelo sin vegetación.

El suelo semidesnudo y los pastos tienen curvas similares a la del suelo desnudo, pero con valores digitales notablemente inferiores en todas las bandas, salvo en el infrarrojo térmico, que adquiere valores más altos, debido más a la posición topográfica deprimida que a la vegetación, mostrando un "microclima del valle", más caliente durante el día que su entorno, aún con sólo unos metros de diferencia altitudinal. Los valores digitales del suelo semidesnudo son más altos que los del pasto en todas las bandas excepto en la banda 7 que tienen valores similares debido a la mayor humedad del segundo.

El barbecho, con valores inferiores a los suelos desnudos y semidesnudos presenta un perfil espectral en el que se refleja la alta influencia del sustrato con restos de vegetación. Esto se manifiesta al establecer los cocientes 5/4 y 3/2, ya que son inferiores a los usos antes comentados.

El pueblo de Villacañas, aunque tiene una curva espectral característica de los espacios urbanos (relación 5/4 muy alta), presenta valores absolutos más bajos de los que cabría esperar debido a que está edificado sobre terrenos arcillosos y el material de construcción empleado es el ladrillo y la teja.

Las dos curvas espectrales propias de la vegetación corresponden lógicamente a los regadíos y a la clase tomada dentro de la laguna en el sector más eutrofizado. La influencia de la actividad clorofílica es considerable con valores muy altos entre los cocientes de las bandas 4/3, evidentemente más elevados en los regadíos. De hecho al obtener la imagen entre las bandas del infrarrojo próximo y rojo se delimitan muy claramente de-

ntro de la laguna el sector rico en algas y se confunden con los regadíos y con los pastos más húmedos y densos. El índice de vegetación normalizado permite una mejor visualización al aumentar el contraste entre las clases.

Las curvas espectrales referentes al agua manifiestan la enorme heterogeneidad de los humedales y la diferente calidad del agua. Se distinguen claramente los humedales de aguas más profundas (en torno al metro) de las lagunas someras (centimétricas). El perfil más característico es el correspondiente al agua profunda de la Laguna Larga de Villacañas, con valores más altos en la banda 1 (media de 69,5) y próximos a 0 en los infrarrojos medios (media de 7,6 en la banda 5 y 4,3 en la banda 7). En esta misma laguna las aguas procedentes del desagüe muestran valores más bajos en las bandas 2, 3, y 4 debido a la gran cantidad de materiales en suspensión que provocan una mayor absorción de la energía electromagnética. En el sector sur de la laguna Larga se refleja una curva característica de aguas profundas aunque, a diferencia de ésta, la relación entre las bandas 3 y 2, con valores más altos en la primera, muestra la influencia del sustrato arcilloso. Los valores espectrales correspondientes a la banda térmica son en toda la laguna Larga más bajos que en su entorno mostrando así una menor temperatura del agua.

Por último, las dos curvas correspondientes a humedales someros (laguna Chica y charcones) muestran perfiles espectrales claramente diferentes a los anteriores. Así, la laguna Chica y los bordes de la laguna Larga presentan un perfil más característico del suelo que del agua, con valores muy altos en las bandas 1, 3, 5, 6 y 7 y, bajos en la 2 y 4, si bien la influencia de la humedad se manifiesta en que los números digitales son más bajos que en los suelos desnudos. Los humedales temporales (charcones y graveras) se forman sobre sustrato impermeable, por lo que, a pesar de encontrarse

	Banda 1		Banda 2		Banda 3		Banda 4		Banda 5		Banda 6		Banda 7	
	Mín.	Máx.												
Agua prof.	42	48	16	18	13	15	8	10	2	9	105	110	1	6
Agua som.	59	68	29	35	29	37	12	19	5	11	103	102	4	6
Charcones	46	53	17	21	17	22	11	20	10	28	108	112	6	20
Regadío	50	57	22	26	20	28	63	71	55	69	110	110	18	30
Pastos	50	58	22	27	26	32	27	34	59	72	113	113	31	41
Barbecho	61	69	32	36	40	44	54	60	78	94	109	113	31	51
Suelo semid.	73	77	39	43	52	58	56	60	101	108	112	112	50	61
Suelo desn.	89	92	53	56	77	82	75	79	112	125	112	114	62	69
Urbano	69	76	53	37	38	47	33	43	50	78	110	112	33	52

Tabla 2. Valores digitales de las clases espectrales de la imagen de invierno

casi secos en estas fechas muestran una curva similar a la del agua en las bandas del visible; sin embargo, en los infrarrojos próximos se separa de ésta con valores más altos en las bandas 4 y 7 y con un valor muy elevado en la banda 5 lo que permite que el cociente entre los canales 5 y 4 la diferencien nítidamente de la curva de la laguna Larga. Sin embargo, en estas mismas bandas y debido a la influencia del sustrato es difícil discriminarlo del pueblo, del que sí se separa con claridad en las bandas del visible.

En el perfil espectral obtenido en la imagen de invierno (Figura 2 y Tabla 2) se ve una clara diferencia con el perfil de verano en cuanto a los valores digitales: los máximos no superan el umbral del 125, frente a los 229 de la imagen de agosto (Figura 1 y Tabla 1). En estas curvas se pueden observar también claramente las diferencias de perfiles entre los suelos desnudos o con escasa vegetación, frente a todos los humedales que, en esta época, tienen más agua. También se discriminan los regadíos que, al igual que en verano, se distinguen con nitidez al establecer las relaciones entre las bandas 4/3 y 4/5, aunque en términos absolutos, la reflectancia es menor. La curva correspondiente a los suelos desnudos es la que tiene los valores más altos en todos los canales, con una reflectancia muy alta en la banda cinco, aunque debido a la humedad del suelo, los números digitales son inferiores a 130. Los suelos semidesnudos y el barbecho tienen curvas similares, por lo que puede resultar difícil discriminarlo en esta época del año. La curva espectral de los pastos muestra valores bajos en los canales del visible e infrarrojo próximo (banda 4) debido a la gran humedad del terreno tras un invierno muy lluvioso. También destacan valores en la banda 5 más altos que en las bandas anteriores como muestra del frío acusado de la estación invernal que no permite el crecimiento de las gramíneas hasta bien entrada la primavera (finales de mayo y junio). Así, esta fecha es útil para cartografiar las parcelas que tienen pastos discriminándolas de las correspondientes a suelos cultivados o abandonados.

Los perfiles del agua profunda y de los charcones presentan números digitales muy similares, característicos del agua con nula influencia del sustrato. En esto se diferencian claramente de las imágenes de verano, donde en los humedales me-

nos profundos se reflejaban las distintas litologías. Este sustrato sí queda reflejado en las bandas visibles de la laguna Chica con agua somera. Además, frente a la imagen de verano, los valores del espectro muestran claramente que en febrero de 1997 existía una significativa lámina de agua.

El pueblo de Villacañas repite la curva característica de las áreas urbanas, con valores absolutos más bajos que en verano debido a la mayor inclinación de los rayos solares.

Clasificaciones de las imágenes

Con todas las clases espectrales se ha intentado hacer una clasificación sobre la ocupación del suelo y tipologías de las aguas en el área de estudio. Se ha optado por realizar una clasificación supervisada, dado que se conocían perfectamente las clases informacionales mediante estudios de campo, datos de laboratorio y fotografía aérea (Pérez González, 1995 y Pérez González et al., en prensa). De hecho, se efectuó también una clasificación no supervisada utilizando el mismo número de clases que la supervisada, pero el resultado no fue satisfactorio puesto que confunde gran parte de las cubiertas superficiales, máxime teniendo en cuenta que la vegetación no es muy densa en ninguna época del año.

La clasificación supervisada se ha realizado utilizando las tres reglas paramétricas que permite el programa ERDAS: máxima probabilidad, distancia de Mahalanobis y mínima distancia. Se ha comprobado que en el sector manchego analizado la clasificación que ofrece una mayor fiabilidad es la realizada mediante mínima distancia, tanto para la escena de verano como la de invierno.

En la imagen de verano, la clasificación realizada mediante mínima distancia (Figura 3), permite establecer diferencias dentro de la laguna en cuanto a la calidad y profundidad del agua, distinguiéndose seis clases: sales, agua somera, desagüe (agua con altos contenidos en materiales en suspensión y materia orgánica), agua eutrofizada (con alto contenido en algas), agua profunda y agua con reflejo del sustrato (constituido por arcillas triásicas). Sin embargo, no discrimina bien la humedad del suelo: así el río Riánsares carente de agua tras la larga sequía de los años 92-95, no aparece reflejado en esta clasificación; por el contrario, si se obtiene la

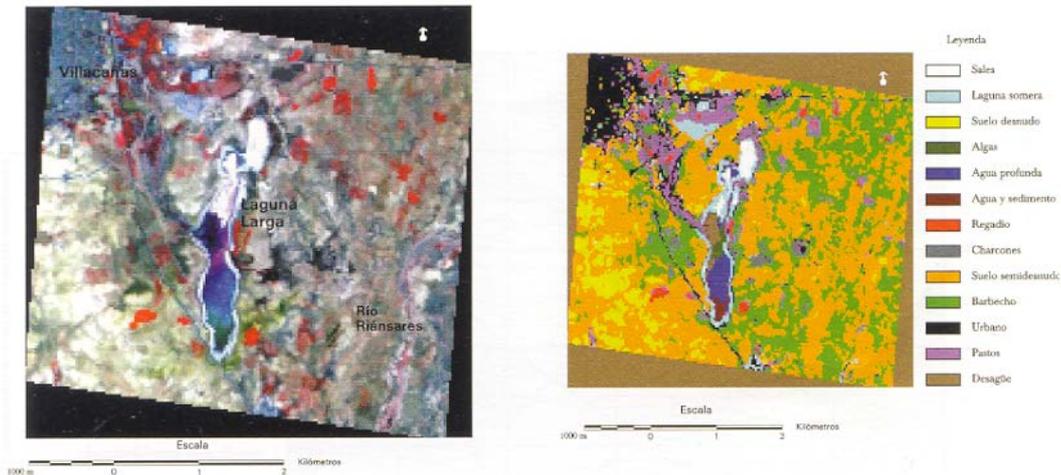


Figura 3. Imagen TM del 20-8-1995 en falso color (4-3-2) y clasificación.

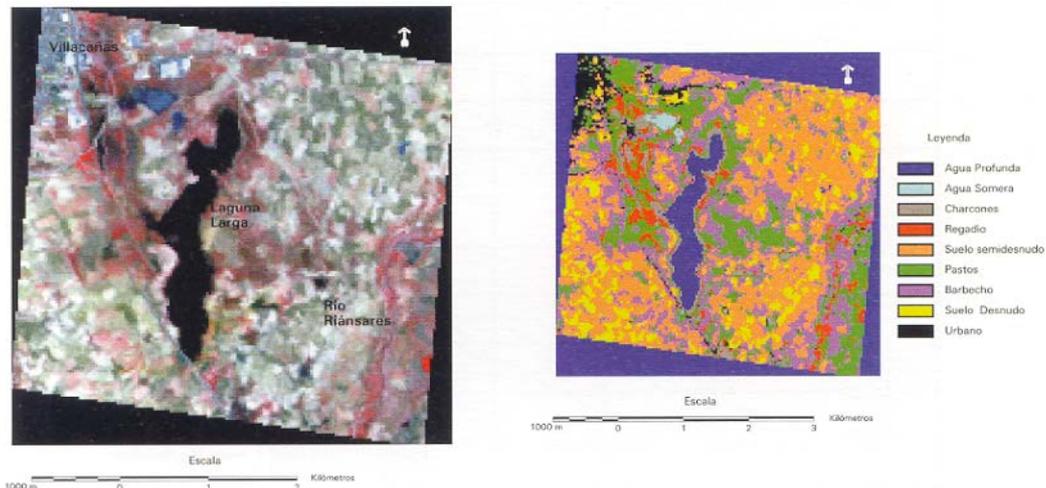


Figura 4. Imagen TM del 8-2-1997 en falso color (4-3-2) y clasificación.

cartografía siguiendo la máxima probabilidad o distancia de Mahalanobis queda reflejado el curso del río Riánsares, así como los charcones desarrollados sobre materiales impermeables. Respecto a otros usos del suelo también esta regla paramétrica permite discriminar claramente los espacios urbanos, industriales e infraestructuras viarias y, el suelo desnudo, con topografía ondulada, situado al W-SW de la laguna. Los barbechos se confunden con los suelos semidesnudos ocupados en parte con herbáceas temporales y, con algunos sectores de pastos permanentes, si bien en la clasificación con mínima distancia el error es menor, representándose mejor las distintas cubiertas del suelo, con una clara delimitación del suelo desnudo. Por último, se destaca la poca superficie dedicada a regadío, debido a la mala calidad del agua subterránea fuertemente salinizada.

En la imagen de invierno se obtiene una buena clasificación de las nueve cubiertas del suelo (Figura 4). Se delimitan con claridad la laguna Grande de Villacañas debido a la profundidad y continuidad de sus aguas. A la clase de aguas someras

corresponden la laguna Chica, áreas adyacentes y pequeñas graveras próximas al río Riánsares. La clase correspondiente a los charcones, incluye las lánlinas de agua temporales formadas sobre sustratos impermeables y los bordes de la laguna Grande, que representan las áreas inundadas con periodicidad. La clase espectral de regadíes incluye no sólo el uso de regadíes sino también otras áreas con vegetación de ribera existentes en el borde del Riánsares y de la Laguna Larga; esta confusión es debida a que son las cubiertas con mayor actividad clorofílica durante esta época del año. En la clase urbana se aÚllan el pueblo de Villacañas, y las naves industriales situadas al este del mismo e infraestructuras viarias, delimitándose con nitidez el ferrocarril Madrid-Cádiz, y la carretera comarcal. En esta clasificación se delimita mejor el barbecho que en las clasificaciones realizadas mediante máxima probabilidad y distancia de Mahalanobis, sin embargo, al tener una curva espectral similar al suelo semidesnudo la discriminación es siempre problemática. Hay que señalar que esta confusión se produce porque este barbe-

cho está en parte abandonado y la influencia espectral del suelo es muy alta. Por el contrario, se obtiene una buena identificación de esta clase en el entorno de las lagunas de Villacañas. En la clase correspondiente a suelo semidesnudo se incluyen los viñedos (muy separados los pies y en parte abandonados, con lo cual la influencia del sustrato es muy marcada), con herbáceas temporales y con resto de vegetación de matorrales que apenas cubren un pequeño porcentaje del suelo. La clase espectral del pasto muestra una mayor influencia de la cubierta vegetal y de la humedad del suelo, lo que permite discriminarla bastante bien de las cubiertas anteriores y del suelo desnudo. La clase espectral del suelo desnudo también queda bien representada en esta clasificación, extendiéndose mayoritariamente al SW del ferrocarril.

CONCLUSIONES

Debido al abandono de los viñedos y cultivos de secano para realizar la cartografía de los distintos usos del suelo y cubiertas vegetales en este sector de la llanura manchega es necesario conocer la verdad terreno, efectuar estudios de campo y analizar las fotografías aéreas, sin los cuales no es posible discriminar la variedad y mezcla de usos del suelo existentes (suelo desnudo, semidesnudo, barbechos y pastos). También es necesario conocer la variabilidad espacial y temporal de los humedales existentes. Así, las pruebas realizadas con clasificaciones no supervisadas apenas permiten discriminar los diferentes usos del suelo; dentro de las lagunas analizadas esta clasificación sólo permite separar los sectores de alta salinidad y los sectores con agua, independientemente del grado de humedad del suelo, profundidad de la lámina de agua y calidad de la misma.

Sin embargo, la interpretación de imágenes TM permiten confirmar y mejorar la información obtenida por otras fuentes, facilitando la realización de clasificaciones supervisadas y los estudios multitemporales que permiten seguir la evolución de los usos del suelo y los problemas de degradación que conlleva la utilización de los mismos.

De la interpretación visual y digital de la imagen de verano se deduce que en el área analizada los canales del visible permiten diferenciar claramente las eflorescencias salinas, la humedad del terreno y el sustrato arcilloso. Sin embargo, son los canales del infrarrojo próximo los que permiten discriminar los distintos usos del suelo y calidad de las aguas debido a la influencia de la actividad clorofílica. El infrarrojo medio mezclado con otras bandas permite diferenciar las áreas urbanas.

En la imagen de invierno las bandas del visible también permiten discriminar terrenos con diferen-

te grado de humedad pero, frente a la imagen anterior, esta humedad se distingue mejor con el infrarrojo medio, aunque no separe los espacios urbanos dado que la mayor humedad del terreno interfiere en los valores espectrales. Al igual que en el análisis de la escena de verano los usos del suelo se distinguen mejor en los canales del infrarrojo próximo.

Las características del terreno (topografía, tipo de materiales, calidad de las aguas, clases de vegetación, etc.) conducen a que la clasificación más fiable sea la obtenida mediante la regla paramétrica de mínima distancia. Esta clasificación muestra una alta correlación entre las clases espectrales e informacionales relativas a la calidad del agua, al contenido en sales del sustrato, al contenido en clorofila, al grado de humedad e influencia del sustrato, a los espacios urbanos y a los suelos desnudos. La confusión es mayor entre las distintas clases de vegetación, ya que ésta es escasa y predominantemente herbácea (pastos y cultivos de cereales).

AGRADECIMIENTOS

Las autoras desean hacer constar su agradecimiento a la CICYT que financió el proyecto AMB98-0827.

BIBLIOGRAFIA

- FORNÉS AZCOITI, J. M. 1994. Hidrología de algunas lagunas de Castilla-La Mancha. Tesis Doctoral. U.C.M. Tomo 1, 515 pp.; Tomo 11, anejos.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a. E. 1995. *Humedales de la confluencia de los ríos Riánsares y Cigüela: estudio de ciertas funciones relevantes en geografía física*. Tesis doctoral. Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Inédita. 271 pp. y 3 mapas.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^a., SANCHEZ PÉREZ DE ÉVORA, A. GARCÍA RODRÍGUEZ, M^a. y SANZ DONAIRE, J. J. (en prensa). Análisis mediante satélite de la salinización de la laguna Larga de Villacañas (Toledo). Libro homenaje al profesor D. José Estébanez Álvarez Universidad Complutense de Madrid, 10 pp.
- PORTERO, J. M. y CORRAL, A. 1971. Cartografía geológica para el estudio hidrogeológico del sur de la provincia de Toledo. Cátedra de Geodinámica Interna, U.C.M.
- SANZ DONAIRE, J. J., DIAZ ALVAREZ, M^a D. y SÁNCHEZ PÉREZ DE ÉVORA, A. 1994. "La Mancha, transformaciones forzadas de los humedales, Boletín de la A.G.E. 18; 36-61.
- RIVAS MARTÍNEZ, S. 1987. Mapa y Memoria del mapa de series de vegetación de España, 1:400.000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-ICONA, Serie Técnica, Madrid.
- WALTER, H. y LIETH, H. 1967. Klimadiagramm-Weltatlas. VEB, Verlag, Jena.