

ANA BELÉN RUESCAS ORIENT*

CARTOGRAFÍA DE USOS DEL SUELO POR TELEDETECCIÓN: LA CUENCA DEL CARRAIXET

RESUMEN

La cartografía de usos del suelo mediante imágenes de satélite constituye una alternativa a la usual confección de mapas de ocupación del suelo. La cuenca de drenaje del barranco del Carraixet, con una extensión de 311km², comprende una variada y compleja topografía y se caracteriza por una densa ocupación del suelo, destacando los cultivos de regadío (huerta, cítricos y otros frutales), y secano (algarrobos, olivos y almendros), así como las zonas urbanizadas, áreas industriales y un área abrupta de bosque mediterráneo.

Mediante imágenes del Landsat 5, sensor TM, se ha realizado una clasificación por el método de la máxima probabilidad (maximun likelihood) para obtener un mapa con 11 categorías de usos del suelo. Posteriormente se redujo a una leyenda de 6 clases de usos con sentido hidrológico para su inclusión en un modelo hidrológico.

ABSTRACT

Classification of remote sensing imagery to achieve land-use cartography within hydrological scopes is shown here as an alternative method to the traditional one. Carraixet's catchment, with an extension of 311km², and a complex topography, shows a dense land-use occupation. Among the principal uses we can find: pine forest, scrubs, industrial, residential, irrigated lands, and other kind of non-irrigated agriculture.

A maximum likelihood classifier was used for land-use mapping of one multi-spectral Landsat 5 TM image. The result was a map with 11 categories legend that was reclassified *a posteriori* to obtain a 6 categories map with hydrological purposes to be include in a hydrological mathematical model.

INTRODUCCIÓN

En un sistema fluvial los usos del suelo afectan directamente al proceso de escorrentía. En las últimas décadas, los cambios de usos del suelo son muy acelerados en muchas

* Becaria de investigación, F.P.I. de la Conselleria de Educació i Ciència de la Generalitat Valenciana. Proyecto de investigación GVDRN 12-127-96. "Sistemas de Información Geográfica y modelización hidrológica de crecidas" Departament de Geografia, Universitat de València.

regiones mediterráneas, por lo que la cartografía de usos necesita actualizarse, operación muy costosa a partir de la fotointerpretación y del trabajo de campo. Frente a los citados medios tradicionales, las imágenes de satélite ofrecen ventajas como la visión sinóptica del terreno, la información multispectral, el bajo coste de las imágenes, la rapidez del tratamiento digital y una actualización periódica relativamente rápida.

El objetivo de la presente investigación es la obtención de una cartografía de usos del suelo en la cuenca del Carraixet a partir de imágenes del satélite Landsat 5, sensor Thematic Mapper (TM), de alta resolución espacial y multispectral. Dicha cuenca presenta unas particulares características morfológicas y de ocupación del suelo, ya que es un territorio de relieve contrastado, con gran diversidad de cultivos, una marcada fragmentación del parcelario (sobre todo en las zonas de regadíos) y una intensa urbanización, que dificultan la definición de ciertas categorías y condicionan la calidad de los resultados finales.

La metodología aplicada parte de una clasificación supervisada mediante el clasificador de máxima probabilidad para obtener un mapa con una leyenda extensa (12 categorías). Se desarrolla un proceso de clasificación para subsanar los errores calculados en las matrices de confusión mediante la aplicación de una clasificación en árbol y el clasificador de contexto, que modifican positivamente las estimaciones. La reclasificación de la leyenda se establece como una solución factible a los problemas derivados de la complejidad del terreno y su variación en la reflexión espectral de los usos.

La cartografía obtenida se aplica a la modelización hidrológica reclasificando la leyenda de 11 a 6 categorías de usos del suelo con significación hidrológica. El mapa resultante se integra como una variable más en el modelo hidrológico propuesto por el Soil Conservation Service (SCS) para la obtención del número de curva (NC) y el umbral mínimo de escorrentía (P_0).

LA OCUPACIÓN DE LA CUENCA DEL CARRAIXET

La llanura de Valencia, limitada al norte por las estribaciones de la Sierra Calderona, es una fosa miocena recubierta por depósitos cuaternarios. Aunque algunos autores han hablado de un posible delta común a los ríos Túria, Palància y Xúquer (CAVANILLES, 1795; HERRERO, 1970), esta gran extensión responde a la dinámica de llanos de inundación.

El cauce principal del barranco del Carraixet, entre los ríos Palància y Túria, recorre 52 km siguiendo una dirección ibérica hasta desembocar en la costa mediterránea cerca de Alboraiá (al N de la ciudad de València)¹. Las características topográficas, geológicas y geomorfológicas de su cuenca son muy variadas (PÉREZ CUEVA, 1988; CAMARASA, 1995) con grandes contrastes en los niveles de ocupación del suelo, desde la cabecera hasta el llano litoral.

En la cuenca baja o llano aluvial, constituido por materiales detríticos cuaternarios y suelos pardo-oscuros descarboxilados por el riego secular y el abonado persistente (PÉREZ PUCHAL, 1963), se localizan regadíos históricos, una franja litoral con crecientes usos turísticos, áreas urbanas e industriales y las principales vías de comunicación. En el regadío, se reconoce la huerta, el cultivo de cítricos y una pequeña área de marjal en la

¹ La red de drenaje del Carraixet consta de cuatro tributarios, el barranco de Olocou, el de Pedralvilla, el del Cerezo y el de Naquera. Los barrancos de Olocou y Pedralvilla confluyen entre los municipios de Bétera y Olocou, donde toma el nombre de Barranc d'Olocou hasta que recibe los barrancos del Cerezo y Naquera en Bétera, a partir de este punto se le conoce como Barranc del Carraixet (CAMARASA, 1995)

costa, que suponen una agricultura intensiva. La huerta ocupa la zona próxima a la desembocadura del barranco. Un parcelario de reducidas dimensiones - relacionado con el sistema de propiedad dominante - confiere al colorido paisaje un carácter peculiar, diversificado y cambiante según la demanda del mercado, con policultivos de gran variación estacional, que llegan a las tres rotaciones anuales. En las últimas décadas, la superficie de huerta se ha reducido de manera espectacular, sustituida en parte por un avance de los cítricos, mucho más flexibles a los acondicionamientos de la agricultura a tiempo parcial. En la actualidad, los cítricos constituyen el cultivo con mayor superficie en la cuenca, localizados no sólo en el llano litoral, sino también sobre el piedemonte - en los llamados "nuevos regadíos"- gracias a los adelantos técnicos y la inyección de capital extra-agrícola.

En la misma franja costera, cerrada por un cordón litoral (restinga), aún se mantiene una reducida y amenazada área de marjal, hoy en vías de desecación. Su alto nivel freático convirtió dicha marisma en un lugar privilegiado para el cultivo del arroz en tiempos pasados, hoy sustituido por el asentamiento de urbanizaciones y espacios turísticos. Al mismo tiempo, el crecimiento industrial y económico ha implicado la construcción de polígonos industriales, puertos deportivos, viviendas de primera y segunda residencia y campings cercanos al mar. La costa, desde Massalfassar hasta el río Túria, registra graves problemas medioambientales debido a la creciente presión antrópica.

La dinámica acelerada del proceso de urbanización también se refleja en los núcleos urbanos, articulados por las carreteras N-340 (Cádiz-Barcelona) y la comarcal 234 València-Llíria o "Camí de Burjassot". La autopista A-7 a Barcelona, la autovía a Ademuz, conocida como la autovía de Llíria, y la circunvalación de la ciudad de València (*by-pass*) constituyen los grandes ejes de comunicación de la metrópolis. Demográficamente es una zona de crecimiento continuo desde los años 60, en gran parte gracias al proceso de inmigración hacia los sectores agrícola e industrial. En poco tiempo aumentó considerablemente el espacio urbanizado, sin olvidar el fuerte desarrollo de las viviendas de segunda residencia consecuencia del aumento del poder adquisitivo de los habitantes del área metropolitana² y de la cantidad de tiempo para el ocio derivado del fenómeno de la industrialización y la planificación de la jornada de trabajo. La industria, siempre en convivencia con una actividad agraria todavía importante, se refleja en nuevos asentamientos industriales desarrollados en las últimas dos décadas, que se van expandiendo fuera del perímetro urbano. Son los polígonos industriales, áreas ofertadas por los diversos ayuntamientos para atraer la inversión y crear empleo que se asientan principalmente sobre suelos antes reservados a los cultivos. Estas industrias están dedicadas a sectores productivos como la cerámica, el vidrio, el cemento y transformados metálicos, además del sector agroalimentario. El impacto paisajístico es, en ocasiones, destacable por su cercanía a la línea de costa (Polígono Industrial del Mediterráneo). Junto a ellos hay que resaltar el área dispuesta para las infraestructuras de servicios, resultado de las formas de consumo masivo de la sociedad actual: grandes superficies comerciales que cuentan con una gran zona asfaltada para el estacionamiento de vehículos.

² Según Rosselló (1984), desde el punto de vista del poblamiento y en la zona correspondiente al norte de la AMV, existía una única ciudad, Montcada, centro agrario que disponía de algunas industrias y ejercía una función residencial para el resto de las urbanizaciones que surgieron. Otra localidad de cierta importancia es Alboriá, sobre todo por su proximidad a València. Rosselló *et al.* (1988) afirman que en Burjassot y Godella la ocupación de los espacios vacíos ha llegado a formar una conurbación que se alarga hasta Paterna, teniendo una funcionalidad puramente residencial.

Por su parte, en el piedemonte de Bétera o cuenca media, con predominio de areniscas y rodenos y modelado por abanicos aluviales coalescentes afectados por reajustes neotectónicos cuaternarios, alternan cultivos de secano, cítricos y usos residenciales. Los cultivos mediterráneos de secano, de elevada resistencia a la sequía estival, están representados por algarrobos, almendros, olivos y en menor medida por la viña. A menudo el secano, arrinconado a tierras marginales por el empuje de la urbanización y los nuevos regadíos, se ha convertido en suelo de reserva para cualquier otra actividad económica, aunque hayan sido clasificados como suelos no urbanizables, de protección paisajística o ecológica. La superficie de uso residencial corresponde a construcciones, mal planificadas, de segundas residencias unifamiliares, con notorio auge en los años 70. Incluyen un reducido jardín y aparcamiento para los vehículos, queriendo denotar una mejor calidad de vida en contacto con la naturaleza. Hoy se extienden por el piedemonte urbanizaciones con infraestructuras mejoradas y vínculos más densos con los núcleos de población.

Finalmente, en el sector de cabecera, correspondiente a afloramientos jurásicos y cretácicos de la Serra de Calderona, abundan los litosoles cubiertos, en muchas partes, por una delgada capa de rendsina grisácea, muy rica en calcio (PÉREZ PUCHAL, 1963) que permite el desarrollo de pinos carrascos y vegetación de garriga. Sin obviar secanos de relativa importancia (algarrobos y olivos), la vegetación más destacable está constituida por coníferas (*pinus halepensis*) y sotobosque. En algunos puntos, es una garriga arbustiva muy variada (coscoja, enebro, lentisco, romero, espliego, brezo, jara, tomillo, aliaga, esparto y palmito entre otras). Su superficie ha aumentado en las últimas décadas a causa del progresivo abandono de los cultivos de secano y las expectativas de su recalificación como suelo urbanizable.

TRATAMIENTO DE LAS IMÁGENES LANDSAT

Para la elaboración de la cartografía de usos del suelo se ha utilizado una imagen del satélite Landsat 5, sensor TM correspondiente al 22 septiembre de 1990. Del cuarto de la escena 199/32 se ha seleccionado una subimagen de 1233 filas x 697 columnas, que comprende el conjunto de la zona de estudio entre los 39° 29' - 39° 50' N, 0° 16' - 0° 35' W. El sensor TM proporciona una imagen en 7 bandas del espectro electromagnético (4 en el intervalo visible e infrarrojo próximo, dos en el infrarrojo medio y una en el térmico) con una resolución espacial de 30 m x 30 m, a excepción de la banda térmica con 120 m x 120 m (ESA, 1984). Como información complementaria se ha dispuesto del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército (SGE), en formato raster con un tamaño de píxel de 25m, de los mapas topográficos a escala 1:50.000 de Burjassot (696), Llíria (695), Villar del Arzobispo (667) y Sagunto (668), de la fotografía aérea realizada en marzo de 1991 por la Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports (COPUT) y del mapa digital de los usos del suelo en 1991 elaborado mediante técnicas tradicionales de fotointerpretación y el trabajo de campo por la COPUT. El tratamiento digital de las imágenes se llevó a cabo mediante el programa IDRISI versión 2.0.

Pretratamiento

Previamente a la clasificación, la imagen ha sido procesada mediante las técnicas de realce encaminadas a mejorar su calidad, las combinaciones de bandas para sintetizar o

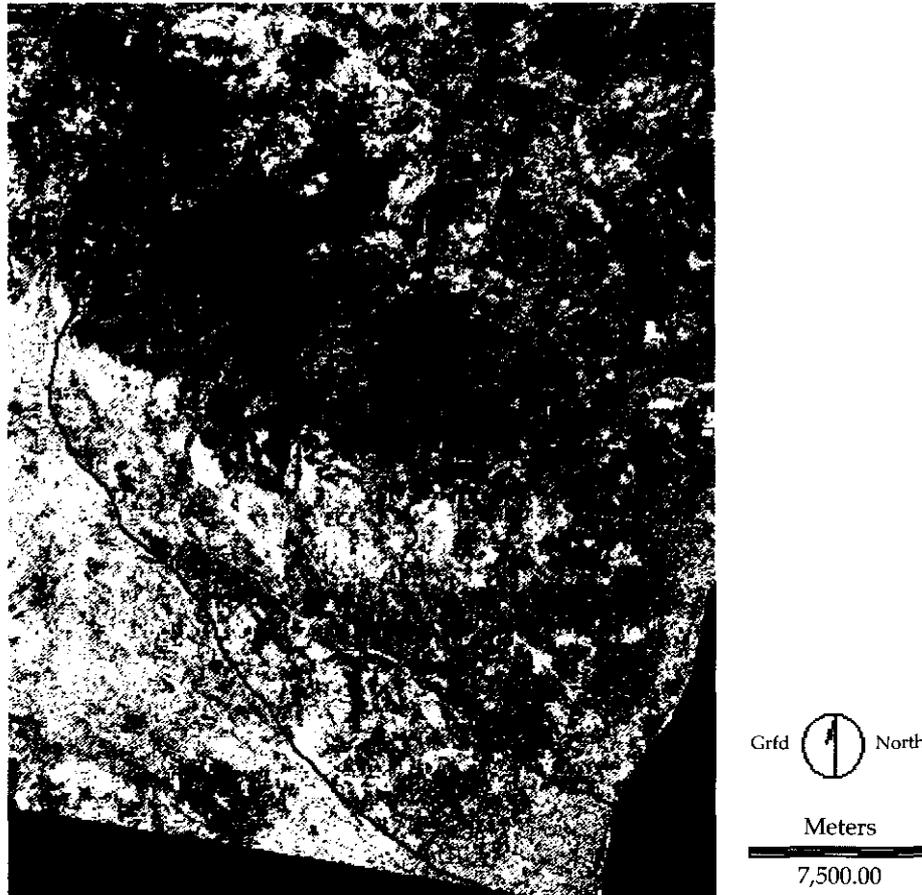


Fig. 1. Imagen Landsat compuesta por las bandas 3, 5 y 4 (AVR).

incrementar la información espectral y una corrección geométrica para su exacta georreferenciación (CHUVIECO, 1996).

Las mejoras visuales se han basado en un realce del contraste mediante expansión lineal del histograma y la creación de composiciones en falso color. La imagen de la figura 1 es resultado de la combinación de las bandas 3 (rojo), 5 (infrarrojo medio) y 4 (infrarrojo próximo), asignándoles los colores azul, verde y rojo respectivamente. Sirvió para la identificación de los puntos de control necesarios para la georreferenciación, así como para la selección de las parcelas de entrenamiento que se utilizaron en la clasificación.

Se han creado también nuevas imágenes para extraer información adicional. De este modo se ha elaborado un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que minimiza el efecto del suelo y las posibles perturbaciones atmosféricas sobre la vegetación. El NDVI (ROUSE *et al.*, 1974) combina las bandas del infrarrojo próximo (banda 4 del TM) y del visible en el rango del rojo (banda 3 en el TM) mediante una ratio $(IR - R / IR + R)$. Con un rango de variación limitado ente -1 y $+1$, los valores positivos más bajos vin-

culan las zonas con menor cubierta vegetal, ya que los valores negativos suelen hacer referencia a zonas cubiertas por agua. Se ha utilizado también el análisis de componentes principales (CP), que resume el número inicial de variables sin perder la información original y elimina la redundante (MASELLI *et al.*, 1995) y se han aplicado sobre los niveles digitales de la imagen filtros de paso bajo, que hacen asemejar el píxel central a sus adyacentes (FILTROS). Estas imágenes se utilizaron en las diferentes clasificaciones ensayadas para tratar de aumentar la precisión del clasificador.

El Modelo Digital de Elevaciones (MDE) también se ha integrado en la clasificación digital como una banda más en combinación con la imagen para mejorar los resultados (PROY *et al.*, 1989). A partir del MDE a escala 1:50.000, procedente del SGE, se han generado dos imágenes correspondientes a las pendientes y la orientación de la zona de estudio, que se han combinado en una sola (ASPEN) para introducirla en la clasificación como una banda auxiliar.

La corrección geométrica utilizada consiste en una transformación empírica a partir de puntos de control con objeto de cambiar las coordenadas fila y columna de los píxeles de la imagen a un sistema de referencia geográfica en la proyección Universal Transversal Mercator (UTM). Se han utilizado 19 puntos repartidos de manera uniforme por la imagen y se ha enmarcado la zona de estudio en su huso correspondiente (huso 30), trabajando con el metro como unidad de referencia. Se ha calculado una función de transformación de segundo orden (cuadrática), que requiere un mínimo de 6 puntos, y se ha evaluado la bondad de su ajuste midiendo la importancia de los residuales, resultando en 7.4 m el error medio cuadrático o RMS. Mediante el método del vecino más próximo (*nearest neighbour*) se ha situado en cada celda de la imagen corregida el ND del píxel cuyo centro esté más cercano en la imagen original.

La clasificación

Las técnicas de clasificación pretenden conseguir, a partir de una imagen multiespectral, una nueva imagen en la que el valor original de los píxeles haya sido sustituido por un valor digital artificial que lo identifica dentro de una misma clase o categoría de usos del suelo. Entre los métodos de clasificación se ha optado por el supervisado que presupone un conocimiento de la zona de estudio que permite seleccionar en la imagen áreas representativas (campos de entrenamiento o parcelas patrón) de cada categoría que interesa discriminar. De estos campos de entrenamiento el método de máxima probabilidad extrae la información necesaria para clasificar (MASELLI *et al.*, 1990; CONESE *et al.*, 1993).

Teniendo en cuenta las características de la cuenca del Carraixet, se ha establecido *a priori* una leyenda con doce categorías de usos discriminables en la imagen (clases informacionales).³ Con la ayuda de la fotografía aérea y el mapa de usos del suelo de la COPUT se han digitalizado interactivamente sobre la imagen las parcelas patrón representativas de cada una de las 12 categorías. En la tabla 1 se especifica el número de parcelas de entrenamiento seleccionadas por categorías y el tamaño medio de éstas en píxeles.

³ Agua, cítricos y otros frutales de regadío, coníferas (pinos), cultivos de huerta, áreas industriales, marjal, matorral, zona residencial, frutales de secano (almendros y algarrobos), olivos, improductivo (espacios sin uso agrícola o yermos) y urbano.

Tabla 1. Parcelas de entrenamiento: número y tamaño medio en píxeles

USOS DEL SUELO	NÚMERO DE PARCELAS	TAMAÑO MEDIO (PIXELS)
CÍTRICOS	10	25
CONÍFERAS	10	72
HUERTA	8	15
INDUSTRIA	5	15
MARJAL	6	12
MATORRAL	10	79
RESIDENCIAL	9	20
SECANO	5	17
OLIVAR	5	15
IMPRODUCTIVO	5	15
URBANO	6	20

Tabla 2. Clasificaciones supervisadas

BANDAS	CLASIFICACIONES							
	CLASIF7	CLASIF6	CLASNDVI	CLASMDE	CLASCP1	CLASCP2	CLASIFa	CLASIFb
TM1	x	x	x	x		x		
TM2	x	x	x	x			x	
TM3	x	x		x	x	x	x	x
TM4	x	x		x	x	x	x	x
TM5	x	x	x	x	x	x	x	
TM6	x		x			x		
TM7	x	x	x	x	x	x	x	x
NDVI			x		x		x	x
ASPEN				x	x		x	x
CP					x	x		x
FILTROS								x

Posteriormente se han calculado las estadísticas básicas de cada grupo (media, rango, desviación típica, matriz de varianza-covarianza, etc.) a partir de los niveles digitales (ND) de todos los píxeles incluidos en estas zonas patrón, para evaluar la discriminabilidad de las categorías seleccionadas. Los resultados, ya fuera el análisis de firmas o el índice de separabilidad, han mostrado una serie de grupos de clases muy próximas entre sí: los cítricos con las otras clases de regadíos, el secano con el olivar, el residencial con el urbano y las coníferas con los matorrales. La fase de asignación de píxeles a cada grupo se ha establecido, como ya se ha dicho, mediante el clasificador de máxima probabilidad:

$$P(x/A) = (2\pi)^{-m/2} [V_A]^{-0.5} \exp \{-0.5 (M_x - M_A)^T V_A^{-1} (M_x - M_A)\}$$

donde m indica el número de bandas, $[V_A]$ la determinante de la matriz de varianza-covarianza para la clase A; M_x el vector de ND asociado con el píxel x; M_A , el vector de

ND medios de la categoría A, y los superíndices T y -1 la traspuesta y la inversa de las matrices a las que afectan, respectivamente.

En la tabla 2 se presentan las ocho clasificaciones realizadas indicando, para cada una de ellas, las bandas procesadas. Todas incluyeron el total de los píxeles de la imagen y consideraron la misma probabilidad de pertenecer a una u otra. Finalmente a cada una se les ha aplicado dos veces un filtro de mediana de kernel 3 x 3 con el fin de eliminar los contrastes espaciales entre píxeles vecinos.

Verificación y análisis de resultados

Para verificar las clasificaciones y cuantificar el nivel de exactitud de cada uno de los mapas se ha optado por crear una imagen denominada "verdad-terreno" que representa una muestra de la superficie total de la cuenca de la que se conoce la cubierta o uso verdadero. Para ello se han seleccionado unas parcelas o áreas test distribuidas en la imagen, siguiendo un muestreo sistemático no alineado, a las que se les asignó el verdadero uso del suelo. El trabajo de campo en 1998 no resultaba aconsejable para la identificación de los usos debido al desfase temporal con la fecha de imagen (1990). Por ello la asignación de la verdad-terreno a las diferentes parcelas se realizó mediante fotointerpretación de las escenas aéreas de 1991 de la COPUT.

Las parcelas de verificación han sido 325 (con un tamaño de 3 x 3 píxeles, esto es aproximadamente 8.100 m²), un 0.85% de la superficie de la cuenca, cifra muy próxima al 1% recomendado por Congalton (1988). Para evitar en lo posible las incorrecciones se fotointerpretó dos veces. En la tabla 3 se muestra el número de parcelas de verdad-terreno digitalizadas por categorías y el tamaño medio de éstas. La comparación verdad-terreno/imagen clasificada se ha realizado mediante el cálculo automático de la matriz de confusión. En la diagonal de esta matriz numérica aparece el número de puntos de verificación coincidentes entre la imagen clasificada y la verdad-terreno, el resto suponen fallos de asignación por omisión o por comisión (STORY Y CONGALTON, 1986). Estos valores se expresan en unas tablas que muestran las matrices de confusión con todos los datos. Además se puede utilizar el índice Kappa (COHEN, 1960). En la tabla 4 se resume las omisiones, el error global y el índice Kappa para cada una de las clasificaciones y en cada categoría. Se añaden cuatro clasificaciones que no siguen exactamente la metodología descrita pero que se detallará a continuación.

De las clasificaciones presentadas hasta el momento, la compuesta por las 7 bandas originales del sensor TM ofrece el mejor resultado global con un 36% de error. La introducción de imágenes auxiliares, como las derivadas del MDE, los índices de vegetación o los componentes principales ha variado el error de algunas clases aunque no globalmente, moviéndose entre el 36% y el 50%. Los cítricos, las coníferas, las industrias y el marjal se clasifican bien con las siete bandas originales, con menos del 25% de imprecisión; la huerta se clasifica ligeramente mejor utilizando el índice de vegetación. El matorral se beneficia de la información del MDE y se ve positivamente influenciado por los componentes principales; los frutales de secano comparten los beneficios del MDE con el matorral, pero además el NDVI juega en esta categoría un importante papel, tanto como la desaparición de la banda del térmico. El olivar no se ve influenciado por la eliminación de la banda 6, pero sí por la utilización del MDE, y de manera considerable. La categoría de improductivo apenas varía el porcentaje de error en las clasificaciones realizadas, con lo que el aumento o disminución de la precisión se marca con las variaciones que sufren

otras clases que le asignan más o menos píxeles. La zona residencial obtiene su mejor porcentaje en la clasificación con las 7 bandas originales, viéndose perjudicada tanto por el uso de los componentes principales como por los filtros. Por último, la clase de urbano muestra el porcentaje de error mínimo en la clasificación que utiliza los tres primeros componentes principales de las 7 bandas originales, no siendo afectado de manera positiva por ninguna otra combinación de bandas, y sobre todo, por la información del MDE, que hasta le resulta perjudicial.

Tabla 3. Parcelas de verdad-terreno: número y tamaño medio

USOS DEL SUELO	NÚMERO DE PARCELAS	TAMAÑO MEDIO (PIXELS)
CÍTRICOS	99	9
CONÍFERAS	55	9
HUERTA	19	9
INDUSTRIA	14	7
MARJAL	3	7
MATORRAL	47	9
RESIDENCIAL	32	9
SECANO	18	9
OLIVAR	12	9
IMPRODUCTIVO	11	9
URBANO	15	9

Tabla 4. Errores de omisión, globales e índice kappa de las clasificaciones

CLASES	AGUA	CÍTRICOS	CONÍFERAS	HUERTA	INDUSTRIAL	MARJAL	MATORRAL	RESIDENCIAL	SECANO	OLIVAR	IMPRODUCTIVO	URBANO	ERROR GLOBAL	KAPPA
CLASIF7	0.00	0.23	0.18	0.33	0.01	0.00	0.63	0.48	0.93	0.45	0.46	0.35	0.3636	0.5719
CLASIF6	0.00	0.29	0.24	0.73	0.65	0.09	0.53	0.49	0.75	0.43	0.52	0.39	0.4155	0.5118
CLASNDVI	0.00	0.64	0.21	0.31	0.22	0.29	0.63	0.52	0.81	0.53	0.48	0.37	0.5019	0.4298
CLASIMDE	0.00	0.26	0.26	0.48	0.60	0.00	0.53	0.50	0.89	0.25	0.46	0.41	0.3919	0.5394
CLASIFa	0.00	0.36	0.33	0.51	0.71	0.43	0.53	0.48	0.64	0.56	0.48	0.36	0.4408	0.4868
CLASIFb	0.00	0.36	0.29	0.52	0.75	0.19	0.51	0.59	0.65	0.49	0.50	0.36	0.4387	0.4898
CLASCP1	0.00	0.37	0.28	0.49	0.71	0.24	0.50	0.53	0.58	0.37	0.47	0.37	0.4206	0.5108
CLASCP2	0.00	0.25	0.19	0.36	0.05	0.05	0.65	0.55	0.89	0.51	0.44	0.25	0.3773	0.5569
CLASPROB	0.00	0.21	0.18	0.33	0.00	0.05	0.62	0.53	0.92	0.49	0.51	0.35	0.3616	0.5730
CLASARB	0.00	0.22	0.18	0.33	0.00	0.05	0.68	0.49	0.90	0.20	0.56	0.27	0.3544	0.5831
CLASFIL	0.00	0.19	0.16	0.26	0.00	0.00	0.63	0.49	0.95	0.25	0.51	0.26	0.3349	0.6039
CLASRES	0.00	0.19	0.17	0.26	0.00	0.00	0.63	0.49	0.38	-	0.51	0.26	0.3099	0.6307

Las características físicas de esta cuenca, con grandes contrastes entre el litoral y la cabecera, llevó a pensar en la posibilidad de sectorizar la imagen en varias subescenas que respondieran a rasgos concretos como la altitud, y clasificar cada subimagen por separado para luego unificarlas. Aunque no ha sido exactamente éste el proceso seguido, si se han aplicado otros clasificadores en un intento de mejorar los resultados. Se ha ensa-

yado la probabilidad a priori, las clasificaciones en árbol y de contexto espacial y la reclasificación hidrológica de la leyenda.

La clasificación con la probabilidad a priori (CLASPROB) se ha realizado estableciendo dicha probabilidad según el área aproximada que debía cubrir cada categoría en la zona de estudio, calculada a partir del mapa de usos de la COPUT para el año 1991. Maselli *et al.* (1990) utilizaron la probabilidad a priori mediante la información obtenida de la matriz de confusión de una clasificación anterior, sobre un terreno semiárido muy heterogéneo con resultados muy positivos. Sin embargo, en este estudio, tan sólo ha habido mejora en la clase de cítricos, pero no aumenta el porcentaje global de fiabilidad.

Tabla 5. Matriz de confusión de la reclasificación.

CLASES	VERDAD TERRENO										ERROR COMISIÓN	
	CÍTRICOS	CONFÉRRAS	HUERTA	INDUSTRIAL	MARJAL	MATORRAL	RESIDENCIAL	SECANO	OLIVAR	IMPRODUCTIVO		TOTAL
CÍTRICOS	723	0	9	0	0	9	4	18	8	1	772	0.0635
CONFÉRRAS	5	398	0	0	0	131	15	21	0	1	571	0.3030
HUERTA	41	0	131	0	0	0	0	0	0	0	172	0.2384
INDUSTRIAL	0	0	9	98	0	9	9	0	1	3	129	0.2403
MARJAL	7	0	0	0	21	0	1	0	0	0	29	0.2759
MATORRAL	33	64	0	0	0	158	36	40	0	7	338	0.5325
RESIDENCIAL	42	11	19	0	0	28	146	30	17	12	305	0.5213
SECANO	33	7	3	0	0	93	66	176	27	12	417	0.5779
IMPRODUCTIVO	0	0	2	0	0	1	9	1	50	0	63	0.2063
URBANO	6	0	3	0	0	0	3	0	0	101	113	0.1062
TOTAL	890	496	176	98	21	429	289	286	103	137	2.929	
ERROR OMISIÓN	0.19	0.17	0.26	0.00	0.00	0.63	0.49	0.38	0.51	0.26		0.3099

Otra opción ha sido emplear un clasificador en árbol (CLASARB) consistente en aislar cada categoría en la clasificación donde mejor discriminada esté (separar cada categoría de acuerdo a unos criterios determinados, en este caso su porcentaje de fiabilidad). Es lo que se denomina un sistema experto (SKIDMORE, 1989). Posteriormente se suman las diferentes imágenes obtenidas, dando como resultado una nueva clasificación que une todas las categorías. Este proceso reduce ligeramente el porcentaje de error global (35%). A continuación se ha aplicado el clasificador de contexto, proceso que supone el uso de un filtro de moda de kernel 5 x 5 sobre cada imagen de las diferentes categorías que luego se unirán mediante la clasificación en árbol (CLASFIL). El filtro de moda unifica los píxeles desagregados de una escena, generalizándola y unificándola. Los resultados de la matriz de confusión muestran una disminución del error global al 33%, con efectos bastante positivos en todas las categorías. Por último se llega a la reclasificación de la leyenda, uniendo los cultivos de secano y los olivos sobre la clasificación anterior (CLASRES). La disminución del detalle de la leyenda supone una mejora considerable en la fiabilidad global.

El mapa de usos del suelo definitivo consta de once clases, diez si se elimina el mar, y cuenta con un error global del 30%. La matriz de confusión resultante (tabla 5) muestra

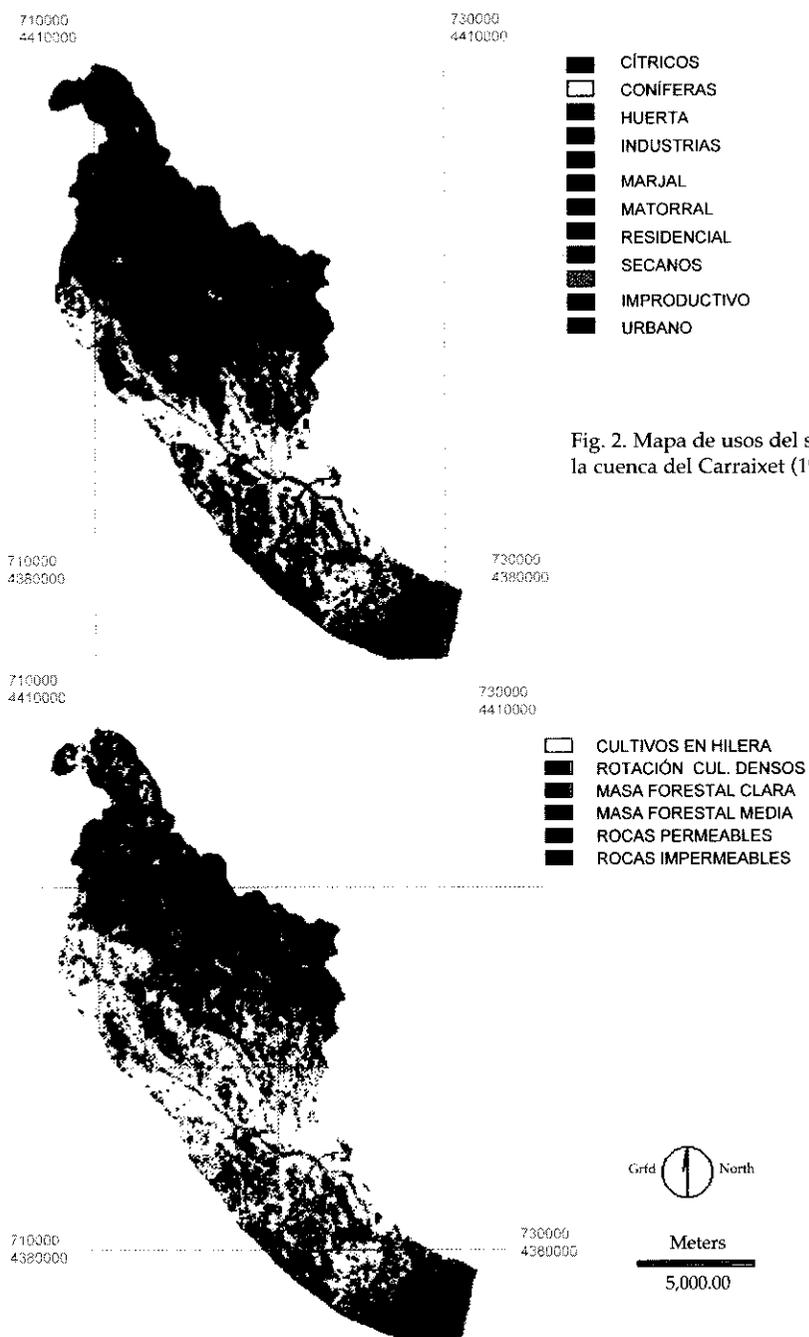


Fig. 2. Mapa de usos del suelo de la cuenca del Carraxet (1990)

Fig. 3. Mapa de usos del suelo hidrológicos de la cuenca del Carraxet (1990)

una mejora muy destacable en la clase de frutales de secano, que ahora integra también a los olivos, alcanzando un 62% de fiabilidad. El resto de las categorías mantienen los bajos niveles de error conseguidos con las clasificaciones precedentes, a excepción de los matorrales, que continúan con un elevado nivel de imprecisión (63%) en su confusión con las coníferas y los secanos. El mapa se presenta en la figura 2.

Discusión

Los mapas obtenidos mediante la verdad-terreno y su expresión en las matrices de confusión muestran unos porcentajes de error elevados en algunas categorías, lo que repercute en un índice de fiabilidad global menor del que cabría esperar. Las imprecisiones en una clasificación digital dependen, principalmente, de las características del territorio y de la definición de la leyenda, de la calidad de los datos base y de la metodología aplicada (CHUVIECO, 1996).

La estructura del territorio en cuanto a su forma, orientación, el tamaño de las parcelas, el contraste espacial entre cubiertas vecinas o la mezcla de usos en una región relativamente pequeña influyen en los resultados de la clasificación de diversas maneras. La morfología del parcelario, de pequeña extensión y con gran variedad de cultivos (cada uno con una respuesta espectral diferente), es típica en cuencas mediterráneas. Este mismo argumento se repite en las zonas de regadíos, especialmente en la huerta, donde el problema se ve agravado por la variación espectral que introducen las casas de labor y los caminos. Por otra parte, la orientación, la pendiente, la densidad o el estado fenológico de una cubierta puede introducir variaciones importantes en su comportamiento espectral. En general, las imágenes de zonas montañosas presentan distorsiones radiométricas debidas a las diferencias de iluminación producidas por el ángulo del sol y la inclinación del terreno. Su consecuencia es la infravaloración de la radiación reflejada en superficies situadas en laderas de umbría y sobrevaloración de las situadas en laderas de solana. Este efecto puede ser el responsable de los errores o las confusiones entre matorrales, coníferas y cultivos de secano en la cabecera de la cuenca.

Respecto a la definición de la leyenda, un mayor detalle puede aumentar el error en la clasificación, especialmente cuando se pretende discriminar en la imagen usos muy parecidos espectralmente. Este es el caso de los olivos y el resto de frutales de secano. La redefinición y agrupación de usos significó una mejora considerable de resultados.

En la imagen también puede haber errores por posibles fallos del sensor o de la plataforma. Por otra parte, una imagen de fecha inadecuada puede introducir errores, por lo cual es frecuente el uso de clasificaciones con imágenes multitemporales para mejorar los resultados. Aunque en esta ocasión la fecha seleccionada parece adecuada para la discriminación de los distintos tipos de vegetación presente en la zona y su desarrollo fenológico, y además la imagen presenta buenas características, sólo se ha utilizado una imagen debido a causas relativas a la disponibilidad de material, por lo que se pierden las posibilidades de una clasificación multitemporal. El propio proceso de clasificación puede generar errores ligados al tipo de clasificador, a la resolución espacial del sensor, a las bandas empleadas, etc. Aunque el clasificador de máxima probabilidad sea de los más precisos, si el solape entre las categorías a discriminar es notable, pueden darse errores de asignación, como sucede en los matorrales y las coníferas.

También el proceso de verificación de resultados tiene que ser estadísticamente riguroso. Los orígenes de conflicto incluidos en el proceso de verificación que pueden expli-

car ciertas anomalías fueron analizados por Congalton y Green (1993). En el presente trabajo existen imprecisiones debidas al desfase temporal entre la fecha de adquisición de la imagen (1990) y la de la fotografía aérea que se toma como verdad terreno (1991). Aunque esto es poco probable, debido al corto espacio de tiempo transcurrido entre ambas imágenes, en un territorio tan poblado como el aquí referido, inmerso en constante plantación de cultivos y afectado por el proceso urbanizador, cualquier lapso de tiempo puede implicar una significativa variación en los usos del suelo, sobre todo en el caso del avance la urbanización y los cítricos ante otros usos como la huerta y los secanos. También el mes en el cual fueron captados los datos puede suponer variaciones en los usos, sobre todo en los agrícolas, siendo un ejemplo claro las huertas, con tres rotaciones anuales.

Por último, se debe hacer referencia a la posible sobrestimación del error causado por el método de verificación seguido. En el caso de la localización de las parcelas de verdad-terreno sobre la imagen que se realizó mediante un muestreo sistemático no alineado, los puntos se marcaron sobre un mapa topográfico a escala 1:50.000, para luego localizarse en la fotografía aérea a escala 1:25.000 y de ahí digitalizarse sobre una imagen georreferenciada con un píxel de 30m. Esto supone un continuo cambio de escala para localizar y digitalizar estas parcelas de tamaño reducido (3 x 3 píxeles), y con ello una inherente imprecisión en la localización exacta de las parcelas. Ligado a esta cuestión está el error accidental en la introducción de los datos, sobre todo los localizados en el límite de clases, cuando éstos son asignados que puede llevar a la identificación fallida de un uso poniéndole una etiqueta que no es la que en verdad le pertenece. Las incorrecciones de interpretación de la fotografía aérea trataron de subsanarse y minimizarse realizando dos veces la identificación de los usos.

USOS DEL SUELO Y GÉNESIS DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA

La distribución espacial de los usos del suelo en una cuenca de drenaje constituye un elemento fundamental para el cálculo de la escorrentía ya que afecta a la interceptación, la evaporación y la infiltración. Los cambios en los usos del suelo suelen provocar variaciones en la descarga fluvial y en la calidad de las aguas. Dado que la variabilidad espacial y temporal de los usos en algunas regiones mediterráneas es muy elevada, se requiere una cartografía actualizada, no siempre disponible por métodos tradicionales. La teledetección espacial constituye una alternativa.

Entre los modelos hidrológicos -funciones matemáticas que tratan de simular el comportamiento de los sistemas naturales- algunos reproducen el proceso de génesis de escorrentía. La distribución espacial de los usos del suelo constituye un elemento fundamental para su cálculo. Así, en el modelo propuesto por el *Soil Conservation Service* (SCS), la integración de la litología, las pendientes y los usos del suelo permite calcular el número de curva (NC) y el umbral de escorrentía (P_0) (RAGAN *et al.*, 1980; SHARMA Y SURENDRA, 1992; FERRER *et al.*, 1995).

En el marco del proyecto de investigación "Sistemas de Información Geográfica y modelización hidrológica de crecidas" se han calculado, siguiendo la metodología seguida por Ferrer *et al.* (1995), los mapas de NC y P_0 para la cuenca del Carraixet. Se parte de la combinación de un mapa de litologías, uno de pendientes y el mapa de los usos del suelo obtenido a partir de la COPUT (MATEU *et al.*, inédito).

En ausencia de una cartografía actualizada tradicional, no hay duda de la ventaja que representa el uso de las imágenes de satélite. Sin embargo, cuando se dispone de ambas,

es necesario evaluar la fiabilidad de las imágenes frente a los mapas. Para ello, en este trabajo se han recalculado los mapas de NC y P_0 utilizando el mapa de usos del suelo conseguido a partir de la imagen y se han comparado con los valores obtenidos utilizando la cartografía tradicional en el proyecto citado.

A partir de la clasificación digital de la imagen en 11 clases (figura 2) se confeccionó un nuevo mapa más "hidrológico". En efecto, algunos usos considerados en las 11 categorías responden de manera similar desde la perspectiva de los procesos hidrológicos. En primer lugar se ha introducido una modificación en la leyenda del mapa, creando una doceava categoría con las vías de comunicación (imposibles de discriminar en la imagen debido a su resolución espacial) y que se han integrado en la clasificación original digitalizando y rasterizando las vías sobre ésta. Posteriormente se ha realizado la reclasificación que ha modificado la leyenda basándose en el establecimiento de categorías hidrológicas, agrupando aquellas clases que tienen similar respuesta. De las 12 categorías de usos del mapa se pasa a 6 clases hidrológicas de acuerdo con la tabla 6. La figura 3 representa el mapa de usos hidrológicos.

Tabla 6. Esquema reclasificación para los usos del suelo de la imagen del satélite.

CLASES	IMAGEN SATÉLITE	CLASES HIDROLÓGICAS
1	masas de agua	
2	Industrial	
3	Marjal	rocas impermeables
4	Residencial	
5	Urbano	
6	vías comunicación	
7	Cítricos	cultivos en hilera
8	Secano	
9	Coníferas	masa forestal media
10	Matorral	masa forestal clara
11	Huerta	rotación de cultivos densos
12	Improductivo	rocas permeables

La matriz de confusión, realizando los cambios oportunos en la leyenda de la imagen de verdad-terreno, muestra unos resultados similares a los obtenidos con el mapa de usos del suelo con once categorías (tabla 7): un error global del 30%, es decir, un 70% de fiabilidad; imprecisiones elevadas en las clases de masa forestal clara y rocas permeables, clases que engloban aquellas categorías que ofrecían más problema en la clasificación (matorrales e improductivo); niveles de fiabilidad de medios a bajos en las rocas impermeables y los cultivos en hilera; y niveles de fiabilidad altos en la rotación de cultivos densos y la masa forestal media, correspondientes a la huerta y las coníferas. El índice Kappa se acerca al 0.6, dando credibilidad a una correlación que se considera muy buena según su baremo.

Tabla 7. Matriz de confusión del mapa de usos del suelo hidrológicos.

CLASES HIDROLÓGICAS	VERDAD TERRENO						TOTAL	ERRORES COMISION
	Cultivos en hilera	Rotación de cultivos densos	Masa forestal clara	Masa forestal media	Rocas permeables	Rocas impermeables		
Cultivos en hilera	869	10	84	7	35	83	1.088	0.2013
Rotación de cultivos densos	46	130	0	0	0	1	177	0.2655
Masa forestal clara	73	0	158	64	0	39	334	0.5269
Masa forestal media	26	0	122	372	0	16	536	0.306
Rocas permeables	1	1	1	0	39	9	51	0.2353
Rocas impermeables	74	19	35	11	17	222	378	0.4127
TOTAL	1.089	160	400	454	91	370	2.564	
ERRORES OMISIÓN	0.202	0.1875	0.605	0.1806	0.5714	0.4		0.3019

KAPPA= 0.5899

Una vez obtenido este mapa de usos se ha combinado con los mapas de pendientes⁴ y litologías⁵, según el proceso descrito en la figura 4 para obtener un mapa con el NC y un mapa de P₀. El mismo proceso se había realizado para el mapa de la COPUT, pasando por la reclasificación de la leyenda de 30 categorías a 8 clases hidrológicas⁶. Los mapas se presentan en las figuras 5 y 6.

La similitud de los valores medios P₀ para ambas combinaciones es obvia si bien existen discrepancias en cuanto a su distribución espacial por categorías. La correlación es elevada en casi todos los casos (entre el 60%-80% de correlación) frente a la baja similitud de los rangos entre 20-25 mm, 51-70 mm y 71-90 mm. La comparación entre ambos mapas permite concluir que para un modelo hidrológico integrado, basado en valores medios de una cuenca, el mapa de usos del suelo desde la imagen es adecuado, puesto que los resultados son similares a los obtenidos mediante la cartografía tradicional. No se discute la validez del mapa de P₀, ni la metodología de su cálculo. La comprobación de la efectividad de dicho mapa ha quedado fuera de los objetivos del trabajo.

CONCLUSIONES

A partir de la imagen Landsat se ha obtenido un mapa con 11 categorías de usos y un 70% de fiabilidad con respecto a la verdad-terreno. Sin ser elevado, el valor resulta satisfactorio, si se tiene en cuenta la complejidad espacial de usos en regiones mediterráneas.

⁴ Se construyó a partir de un modelo digital de elevaciones del Servicio Geográfico del Ejército a escala 1/50.000 (cortesía de la Doctora M.J. LÓPEZ GARCÍA). Este mapa consta de tan sólo dos rangos, uno con pendientes mayores o iguales al 3% y otro con pendientes menores al 3%.

⁵ Este mapa no fue elaboración propia, sino que son datos cedidos por la Doctora F. Segura, miembro del grupo de investigación GVDNR 12-127-96 "Sistemas de Información Geográfica y modelización hidrológica de crecidas"

⁶ Se añaden a las seis anteriormente mencionadas las de rotación de cultivos pobres y la de cereales de invierno, que se distinguen en el mapa original de la COPUT.

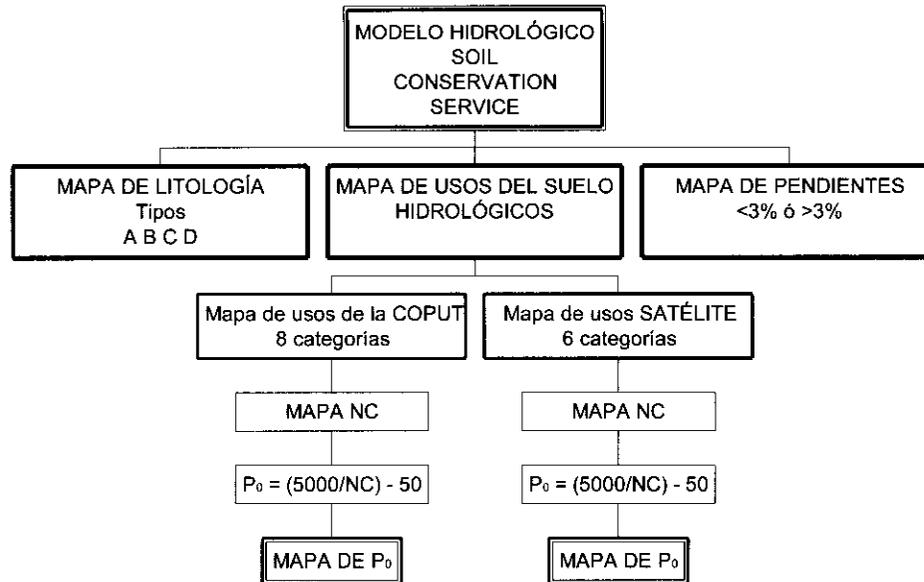


Fig. 4. Metodología del modelo hidrológico del SCS.

Las diferentes clasificaciones ensayadas muestran la influencia de la morfología del terreno de manera constante. Manteniendo resultados globales similares, el mapa final contiene unos errores de omisión inferiores al 20% para las categorías de uso industrial (0%), marjal (0%), coníferas (17%) y cítricos (19%). La huerta (26%), el uso urbano (26%) y los cultivos de secano (38%) también están cerca de este nivel de error. Por el contrario, las categorías peor discriminadas son los usos improductivo (51%), residencial (49%) y matorral (63%).

La utilización de información auxiliar, como los índices de vegetación y el MDE, dio resultados más o menos precisos según categorías:

- En el caso del uso NDVI, en contra de lo esperado, parece aumentar el nivel de error global. Sin embargo existen dos posibles explicaciones a este inusual resultado: en primer lugar, no se realizó sobre las bandas que se utilizaron en la ratio una transformación a valores de reflectividad, lo que podría variar los valores obtenidos con el índice; y en segundo lugar, cabe la posibilidad de que las bandas que acompañan al NDVI en la clasificación no sean las más adecuadas para la discriminación de las categorías, aunque según los análisis realizados así lo parezca.
- La banda artificial creada a partir del MDE tampoco mejoró los resultados globales, pero introdujo aciertos significativos en la separación de la clase residencial y los frutales de secano, así como la distinción entre los píxeles de matorral y coníferas, etc.
- Los componentes principales indujeron a la mejora del nivel de precisión en clases como el matorral, los frutales de secano, el suelo desnudo y el urbano.
- También se extrajo una conclusión importante acerca de la banda en el térmico del TM, y es su capacidad para la discriminación de cultivos de regadío en su relación con la temperatura de la vegetación y del substrato sobre la que ésta se asienta.

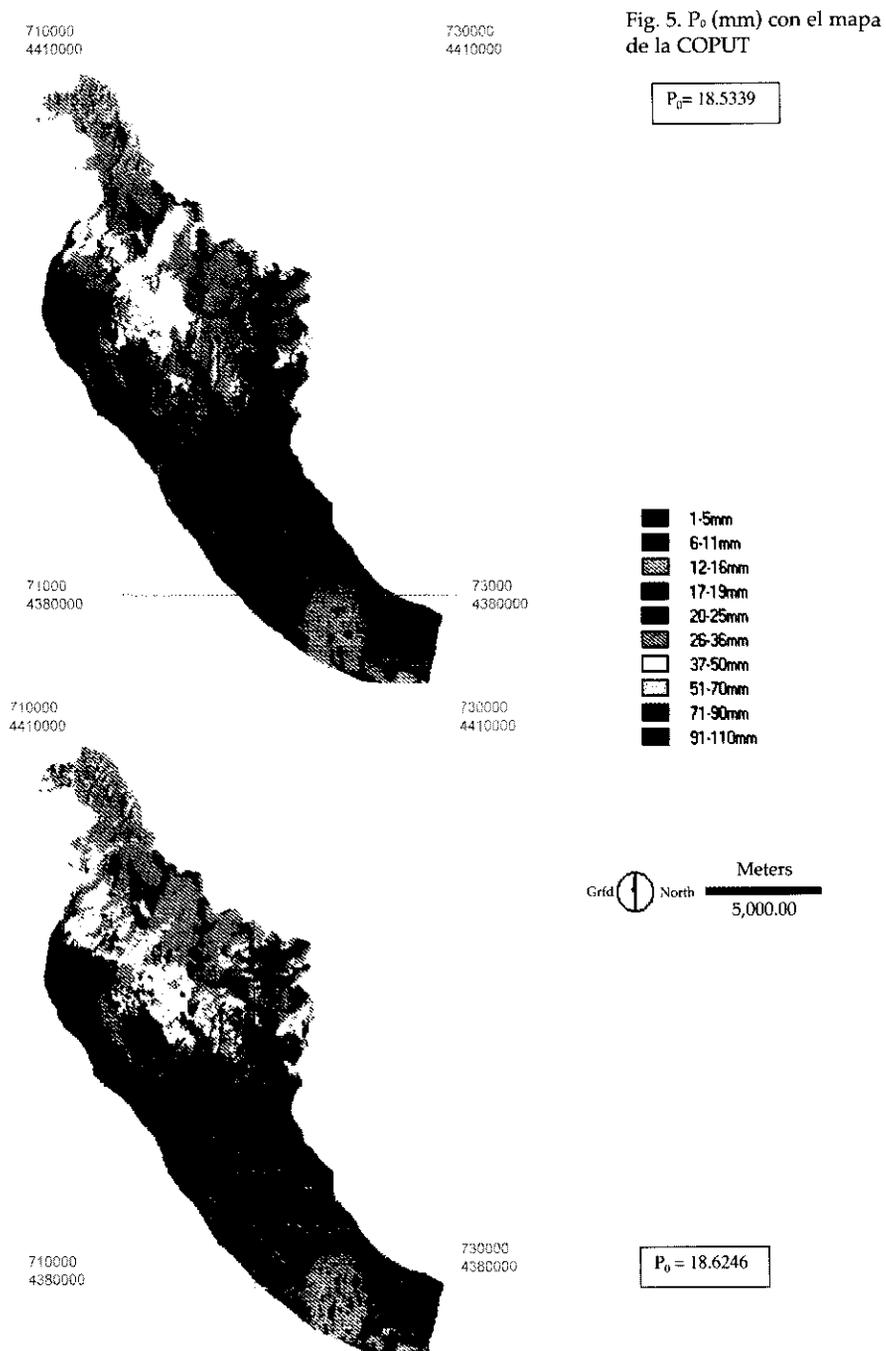


Fig. 6. P_0 (mm) con el mapa derivado de la imagen satélite.

Para reducir los errores, en minifundios mediterráneos de compleja configuración, es necesario elegir convenientemente las parcelas de entrenamiento y seleccionar una fecha adecuada de la imagen. A su vez, un acertado método de clasificación puede hacer disminuir considerablemente los errores. Aún así, con un terreno similar al presentado, que introduce inevitables dificultades en la clasificación, se hace necesario contar con imágenes de alta resolución espacial, o bien utilizar imágenes multitemporales, además de realizar correcciones topográficas o desarrollar una metodología más compleja.

El mapa de usos del suelo con una leyenda de 6 categorías hidrológicas muestra unos errores muy similares al mapa anterior. Cuando se integra el mapa de usos al modelo hidrológico del SCS y se comparan los resultados de los mapas del P₀ (tanto el realizado con la imagen satélite como el de la COPUT), los valores medios son similares, validando la utilización del mapa derivado de la clasificación para cálculos hidrológicos de este tipo, con la ventaja que suponen en cuanto al ahorro de tiempo y actualización de la información con respecto a los métodos tradicionales.

El uso de la información de las imágenes desde satélites para estudios hidrológicos tiene interesantes posibilidades aunque su aplicación se ve limitada por las características de la cuenca y la capacidad de los sensores. El uso de los datos de teledetección en hidrología requiere su integración en un SIG y su unión con bancos de datos eficientes. Los nuevos sensores de muy alta resolución (VHR) que ya se están desarrollando (satélite IRS, Landsat 7 ETM) pueden suponer una inestimable fuente de información para la cartografía de usos del suelo en cuencas pequeñas (LÓPEZ GARCÍA y DENORE, 1999). Queda aún un denso trabajo por desarrollar a este respecto como la extracción de otro tipo de información diferente a la cartografía temática, como es el cálculo de la precipitación, la evapotranspiración, la humedad del suelo, la cuantificación de los sedimentos y la calidad del agua, etc. (EGMAN, 1991).

Agradecimientos: Me gustaría agradecer a la Dra. M^a José López su dedicación y esfuerzo en la dirección de este trabajo. Gracias al Dr. Juan Mateu por la cuidadosa revisión del texto y por sus valiosos consejos. También agradezco a Javier Selva, de la COPUT, las facilidades prestadas para la consulta de las fotografías aéreas.

BIBLIOGRAFÍA

- CAMARASA, A. (1995): *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranc de Carraixet y Rambla del Poyo*. Ed. MOPTA, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CAVANILLES, A.J. (1795-97): *Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reino de Valencia*. Madrid, Imprenta real, 2 tomos.
- CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Ed. Rialp, Madrid. 568 pp.
- COHEN, J. (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20, 37-46.
- CONESE, C.; MARACCHI, G.; MASELLI, F. (1993): Improvement in maximum likelihood classification performance on highly rugged terrain using principal component analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 14, 1371-1382.
- CONGALTON, R.G. (1988): Using spatial autocorrelation analysis to explore the errors matrices from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54, 587-592
- CONGALTON, R., GREEN, K. (1993): A practical look at the sources of confusion in error

- matrix generation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 59(5), 641-644.
- EGMAN, E.T.; GURNEY, R.J. (1991): *Remote sensing in Hydrology*. Chapman and Hall, London, 225 pp.
- FERRER, M.; RODRÍGUEZ, J.; ESTRELA, T. (1995): Generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería del Agua* 2-4, 43-58.
- HERRERO, C. (1970): *Geografía agraria de la huerta de Valencia. Zona Norte*. Tesis doctoral. Departamento de Geografía Universitat de València. 626 pp.
- LÓPEZ GARCÍA, M.J.; DENORE, B. (1999): Los satélites de observación de la tierra en el 2000. *Cuadernos de Geografía*. En este mismo número.
- MASELLI, F.; CONESE, C.; DE FILIPPIS, T Y NORCINI, S. (1995): Estimation of forest parameters through fuzzy classification of TM data. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 33, 77-84
- MASELLI, F.; CONESE, C.; ZIPOLI, G.; PITTAU, M.A. (1990): Use of error probabilities to improve area estimates based on maximum likelihood classification. *Remote Sensing of Environment* 31, 155-160.
- MATEU BELLÉS, J.F.; CAMARASA, A.; CARMONA, P.; LA ROCA, N.; LÓPEZ GARCÍA, M.J.; PASCUAL, J.A.; RUESCAS, A.B.; RUIZ, J.M.; SEGURA, F. (trabajo *in fieri*) Sistemas de Información Geográfica y modelización hidrológica de crecidas. GVDRN 12-127-96.
- PÉREZ CUEVA, A. (1988): *Geomorfología del sector ibérico entre los ríos Mijares y Turia*. Dpto. de Geografía. Universitat de València, 271 pp.
- PÉREZ PUCHAL, P. (1963): Un municipio del piedemonte valenciano: Liria. Estudio de geografía agraria. *Saitabi*, XIII, 145-193.
- PROY, C.; TANRE, D.; DESCHAMPS, P.Y. (1989): Evaluation of topographic effects in remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment* 30, 21-32.
- RAGAN, R.; JACKSON, T. (1980): Runoff synthesis using Landsat and SCS model. *Journal of Hydraulics Division*, 667-678.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. (1974): *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*. 1st ed. Vol. Final report. NASA/GSFC, Maryland. 371 pp.
- SHARMA K.D.; SINGH, S. (1992): Runoff estimation using Landsat TM data and the SCS model. *Hydrological Sciences* 37, 39-51
- SKIDMORE, A.K. (1989): An expert system classifies eucalyptus forest types using TM data and digital terrain model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55, 1577-1587.
- STORY, M.; CONGALTON, R. (1986): Accuracy assessment: a user's perspective. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 52, 397-399
- RUESCAS, A.B. y LÓPEZ GARCÍA, M.J. (1999): Cartografía de usos del suelo por teledetección para la modelización hidrológica. La cuenca del Carraixet (València). Actas del VII Congreso Nacional de Teledetección, AET
- TORTOSA PASTOR, F. (1994): *Actividades humanas y medio ambiente en el área metropolitana de Valencia. Un estudio cartográfico*. Tesis doctoral, Departamento de Geografía, Universitat de València. 1.059 pp.

