

## CARTOGRAFIA DE USOS DEL SUELO POR TELEDETECCION PARA LA MODELIZACION HIDROLÓGICA. LA CUENCA DEL CARRAIXET (VALENCIA)

A.B. Ruescas y M.J. López García

[María.J.Lopez@uv.es](mailto:María.J.Lopez@uv.es)

*Departamento de Geografía. Universitat de València. Ap.22060, 46080 Valencia*

**Resumen.** Este trabajo evalúa la utilidad de los mapas de uso del suelo obtenidos a partir de imágenes para el cálculo de parámetros utilizados en los modelos hidrológicos como el número de curva (NC) y el umbral de escorrentía ( $P_0$ ) en la cuenca de drenaje del Barranco del Carraixet (Valencia). Si bien el mapa de usos presenta errores considerables, cuando se utiliza para el cálculo del umbral de escorrentía se obtienen resultados similares a los obtenidos cuando se utilizan la cartografía tradicional existente.

**Abstract.** The utility of land use maps obtained from satellite images for the calculation of hydrological model parameters (NC,  $P_0$ ) has been evaluated in the Carraixet basin (Valencia). Although the errors in the land use map are considerable, when used to calculate the runoff threshold the results are similar to those obtained using existing maps.

**Palabras clave:** usos del suelo, clasificación, hidrología, Landsat TM, escorrentía.

### INTRODUCCIÓN

Los modelos hidrológicos son modelos matemáticos que tratan de simular el comportamiento de los sistemas hidrológicos, destacando aquellos que reproducen el proceso de génesis de escorrentía a partir de la precipitación recogida en una cuenca. Existen una gran variedad de modelos pero todos requieren, además de datos de precipitación, información detallada referente a las características de la cuenca (geología, tipo de suelo, cubierta vegetal, morfología de la red de drenaje, usos del suelo). La distribución de los usos del suelo es fundamental para el cálculo de la escorrentía ya que afecta a parámetros como la intercepción, la evaporación y la infiltración. Además, los cambios en los usos del suelo suelen provocar cambios en la descarga fluvial y en la calidad de las aguas. Dado que la variabilidad espacial y temporal de los usos es muy elevada, se requiere una cartografía actualizada, la cual no siempre se halla disponible por métodos tradicionales. La teledetección espacial constituye una alternativa que proporciona información actualizada sobre amplios territorios con un ahorro de tiempo y, por ello, es frecuente el uso de imágenes para la cartografía de usos en hidrología (Rango *et al.*, 1975; Sharma y Singh, 1992; Shultz, 1993; Mattikalli, *et al.*, 1996; Rai y Sharma, 1998).

En ausencia de cartografía actualizada tradicional, no hay duda de las ventajas que representa el uso de las imágenes de satélite, sin embargo cuando se dispone de ambos tipos de información parece necesario evaluar la fiabilidad de las imágenes frente a los mapas para la modelización hidrológica. En el marco del Proyecto "Sistemas de Información

Geográfica y Modelización Hidrológica de Crecidas" llevado a cabo en el Departamento de Geografía de la Universitat de València, este trabajo compara los resultados obtenidos cuando se calcula el umbral de escorrentía ( $P_0$ ) en la cuenca de drenaje del Barranco del Carraixet (Valencia) utilizando un mapa de usos del suelo y cuando se utiliza la clasificación de usos obtenida a partir de una imagen Landsat TM.

### ZONA DE ESTUDIO

El barranco del Carraixet drena el sector comprendido entre las cuencas de los ríos Palancia y Turia. Constituye una pequeña cuenca alargada y disimétrica de 311 km<sup>2</sup>, la cual se extiende hacia la costa mediterránea siguiendo una dirección ibérica. En su mayor parte pertenece a la provincia de Valencia, si bien el extremo norte se incluye en la de Castellón. Tiene un marcado relieve (alrededor del 22% de la superficie tiene pendientes superiores al 30%) y un fuerte control estructural, con una geomorfología muy variada en la que se pueden distinguir cuatro sectores fundamentales: la cabecera, un sector intermedio de conos aluviales, una plataforma calcárea en la cuenca media y el llano de inundación. (Camarasa, 1995).

En el sector de cabecera y cuenca media predomina los espacios forestales de bosque mediterráneo y matorral, mientras que en los sectores medio y llano alternan cultivos de secano (olivar, frutales), con cítricos y con suelo residencial, un uso que, debido al fenómeno de "segunda residencia", se ha extendido especialmente a partir de los años 70. En la llanura aluvial destaca el territorio dedicado a

cultivos de huerta junto con los cítricos en un espacio altamente urbanizado. La expansión del uso urbano y el desarrollo industrial en los últimos años ha generado una ocupación y degradación de los espacios agrícolas en torno a los núcleos tradicionales.

#### MATERIAL

Para la clasificación de usos del suelo se ha utilizado una imagen Landsat 5 TM del 30-9-90. Se ha extraído una subimagen de 1233 filas por 697 columnas que abarca la totalidad de la cuenca del Carraixet. Como información complementaria se dispuso también de un M.D.T. escala 1/50.000 procedente del Servicio Geográfico del Ejército, en formato raster con un tamaño de pixel de 25m x 25m. Para la verificación de resultados, dado que la imagen es del año 1990, junto con las campañas de campo, se han utilizado fotografías aéreas a escala 1/25.000 de un vuelo realizado en 1991. En cuanto a la cartografía tradicional de usos del suelo se ha utilizado el mapa en formato digital perteneciente a la Conselleria de Obras Públicas Urbanismo y Transporte (COPUT) de la Generalitat Valenciana a escala 1/50.000, cuya información corresponde al año 1991. Esta cartografía distingue un total de 80 clases temáticas en la leyenda, si bien en la zona de estudio únicamente están representadas 28.

#### CLASIFICACIÓN DE LA IMAGEN

El tratamiento digital de imágenes se ha realizado utilizando el software IDRISI para Windows, (2.0). Previamente a la clasificación de la imagen se realizaron diversos tratamientos:

Corrección geométrica: la imagen fue georeferenciada sobre un Mapa Topográfico Nacional (1/50.000), coordenadas UTM, utilizando una función cuadrática e interpolación por el vecino más próximo, mediante la elección de 19 puntos de control. El error obtenido en la corrección es de 7 m.

Elaboración nuevas bandas: se confeccionó un índice de vegetación "NDVI" a partir de las bandas 3 y 4 del TM, se generó una nueva banda "TM5F" consistente en la aplicación de dos filtros de mediana a la banda 5 del TM para ensayar la metodología utilizada por Atkinson *et al.* (1985) quienes constataron una mejora en la clasificación cuando utilizaban bandas filtradas en combinación con datos originales. Finalmente se utilizó el MDT generando una nueva banda denominada "ASPEN" la cual combina datos de pendiente y de aspecto en un procedimiento similar al que emplean Barredo y Bosque Sendra (1996).

Superposición de una máscara: a partir de la digitalización previa del perímetro correspondiente a la cuenca del Carraixet (Camarasa, 1995).

Como método de clasificación se optó por una clasificación supervisada en la que se pretendía discriminar 11 coberturas correspondientes a los principales usos del suelo: cítricos, cultivos de regadío, cultivos de secano (almendros y algarrobos), olivar, marjal, suelo industrial, suelo residencial (urbanizaciones y casas dedicadas a 2ª residencia), suelo urbano (núcleos de población con una edificación compacta), bosque de coníferas (pino y carrascas), matorral y terreno improductivo (canteras, playas, fondo de barranco...). Se delimitaron 79 parcelas patrón o zonas de entrenamiento con la ayuda del mapa de usos de la COPUT y de fotografía aéreas, procurando seleccionar zonas homogéneas y representativas de cada clase. De igual modo se seleccionó otro conjunto de parcelas test que serán utilizadas como "verdad-terreno" para verificar y cuantificar el nivel de error de la clasificación. La selección de las parcelas test se realizó mediante un muestreo sistemático no alineado (Chuvienco, 1990) dividiendo la zona de estudio en cuadrados de 1 km de lado sobre los que se seleccionaron un total de 241 parcelas con un tamaño en torno a 3 x 3 pixels, que representan 0,63% de la superficie total de la cuenca. El contenido de cada parcela se verificó mediante trabajo de campo y utilizando las fotografías aéreas del año 1991. El número de parcelas patrón y test utilizadas para cada clase así como el tamaño medio de la parcela en número de pixels se recogen en la tabla 1.

Tabla 1

Usos	Zonas Entrenamiento		Zonas Verdad-Terreno	
	Nº parcelas	Tamaño Medio (pixels)	Nº parcelas	Tamaño medio (pixels)
Cítricos	10	25	48	9
Regadío	8	15	12	9
Secano	5	17	23	9
Olivar	5	15	8	9
Marjal	6	12	3	7
Indust.	5	15	2	6
Resid.	9	20	27	9
Urbano	6	20	11	9
Conf.	10	72	68	9
Matorral	10	79	33	9
Improd.	5	15	3	7

Se han ensayado diversas clasificaciones, utilizando para todas ellas el clasificador de máxima probabilidad, incluyendo todos los pixels de la imagen y suponiendo la misma probabilidad para todas las categorías. De todas las clasificaciones realizadas, a continuación se describen las 6 que mostraron mejores resultados:

- 1) CLASIF7: incluye las 7 bandas originales del TM, aplicando posteriormente dos filtros de suavizado.
- 2) CLASIF6: incluye todas las bandas del TM a excepción de la banda térmica, TM6.
- 3) CLASIF5: se utilizan las 7 bandas originales del TM pero la banda TM5 ha sido filtrada con dos filtros de mediana (TM5F)
- 4) CLASNDVI: las bandas TM3 y TM4 son sustituidas por el índice de vegetación NDVI, se utiliza también la banda térmica
- 5) CLASIFP: se elimina la banda TM6 pero se incluye la banda ASPEN generada a partir del MDT

- 6) CLASPROB: igual que en la CLASIF7, pero indicando la probabilidad a priori para cada clase

Para comprobar la bondad de las clasificaciones propuestas se ha utilizado una imagen de verdad terreno creada a partir de las parcelas test. En la tabla 2 se muestran el error global de cada una de las clasificaciones así como los errores de omisión obtenidos para cada cobertura al realizar la matriz de confusión entre la imagen clasificada y la imagen verdad-terreno. La mayoría de las clasificaciones presentan errores considerables en torno al 50%. Se señala con negrita los errores más bajos obtenidos para cada uso en las diferentes clasificaciones.

**Tabla 2**

Clasificación	cítric	reg	sec	olivar	Marj	Ind	resid.	Urb	conf	mator	imp.	total
CLASIF7	0.441	0.194	0.867	0.408	<b>0.0</b>	<b>0.083</b>	<b>0.457</b>	0.47	0.319	0.779	<b>0.048</b>	<b>0.471</b>
CLASIF6	0.508	0.611	<b>0.624</b>	0.342	0.095	0.167	0.457	0.48	0.383	0.729	0.048	<b>0.492</b>
CLASIF5	0.432	<b>0.176</b>	0.838	0.316	0.143	0.167	0.514	0.5	0.334	0.779	0.095	<b>0.476</b>
CLASNDVI	0.737	0.213	0.8	0.395	0.286	0.0	0.47	0.46	0.342	0.732	0.095	<b>0.53</b>
CLASIFP	0.488	0.433	0.8	<b>0.105</b>	0.0	0.167	0.47	0.48	0.386	0.736	0.095	<b>0.491</b>
CLASPROB	<b>0.403</b>	0.194	0.843	0.408	0.048	0.0	0.502	<b>0.47</b>	<b>0.315</b>	<b>0.769</b>	0.095	<b>0.464</b>

En conjunto, la clasificación que mejores resultados presenta es la CLASPROB con un 46% de error. Por categorías, los usos mejor clasificados son: marjal, improductivo, suelo industrial y regadío, con errores inferiores al 20%. El bosque de coníferas (32%), olivar (41%), cítricos (40%), urbano (47%) y residencial (50%) presentan un error medio, mientras que la superficie peor clasificada corresponde al secano (84%) y matorral (77%). La banda térmica TM6 parece la responsable de la buena clasificación obtenida en la zona de regadío, puesto que al excluir dicha banda en la CLASIF6 los errores pasan de un 19 a un 61%. Por el contrario, cuando no se utiliza la banda térmica se produce una mejora en las coberturas de secano (62%), matorral (72 %) y olivar (34 %). La inclusión de la información derivada del MDT no parece mejorar los resultados excepto para la discriminación del olivar, cuyo error baja hasta un 11%.

El alto nivel de error alcanzado se explica por las características del terreno. Es frecuente la alternancia de zonas residenciales de montaña con terrenos de matorral todo ello próximo a parcelas de frutales de secano cultivado en terrazas en las laderas de la montaña. La clase matorral se confunde con el propio bosque, con los secanos y con la superficie residencial, todos ellos muy próximos en la respuesta espectral. En los cítricos se produce la confusión con los secanos arbolados (por el tamaño del árbol y su distribución sobre el terreno) y con el uso residencial (hay que tener en cuenta la profusión de pequeñas parcelas cultivadas en áreas de segunda residencia).

### MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA

La significación del alto error alcanzado debe valorarse en el contexto del uso de dicha información en los modelos hidrológicos así como mediante la comparación con el nivel de error que poseen los mapas de usos del suelo tradicionales. En la actualidad los modelos hidrológicos más difundidos utilizan el método desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS), y adaptado en España por Temez (1978), que calcula la escorrentía a través de una ecuación empírica que requiere como *inputs* la precipitación y un coeficiente determinado para la cuenca denominado "número de curva" (NC) que representa la escorrentía potencial del conjunto cubierta-tipo de suelo. Los principales *inputs* para el cálculo del NC son el tipo de suelo, la pendiente del terreno y los usos del suelo. El NC a su vez se relaciona con el "umbral de escorrentía" ( $P_0$ ), esto es, la cantidad de precipitación necesaria para que el suelo se sature y la escorrentía superficial aparezca, parámetro que utilizaremos por su mayor sentido físico.

Siguiendo la metodología empleada por Ferrer *et al.* (1995) para el cálculo del número de curva, la imagen ha sido reclasificada en 6 coberturas: zona impermeable (marjal, urbano, residencial e industrial), cultivos densos (huerta), cultivos en hilera (cítricos, secano y olivar), masa forestal clara (matorral), masa forestal media (coníferas) y zonas permeables (improductivo). Con esta reclasificación la matriz de confusión con la verdad terreno nos da un error global inferior del 41 %. De igual forma, a efectos de comparar el error de la imagen con el que

posee la cartografía tradicional, se reclasificó el mapa de usos del suelo de la COPUT degradándose el tamaño del pixel original (25m x 25m) al de la imagen (30m x 30m) para poder comparar el mapa con el obtenido a partir de la imagen. Al contrastar la calidad del mapa con las parcelas de verdadero terreno utilizadas en la verificación de la imagen, el error global del mapa fue del 31%.

Tanto el mapa de usos obtenido a partir de la imagen como el mapa tradicional se han utilizado junto con el mapa de pendientes y el de litologías para calcular el número de curva y posteriormente el umbral de escurrimiento siguiendo la metodología empleada por Ferrer *et al.* (1995) (Proyecto "Sistemas de Información Geográfica y Modelización Hidrológica de Crecidas", datos inéditos). El valor medio obtenido en el conjunto de la cuenca cuando se utiliza la imagen es de 17,98 mm mientras que cuando se utiliza el mapa se obtiene un valor muy similar de 18,53 mm. Si bien la comparación pixel a pixel entre ambos mapas presenta diferencias en el 40% de la imagen, son poco significativas ya que el resultado global no muestra variación entre ambos.

### CONCLUSIONES

La clasificación de usos del suelo realizada en la cuenca del Carraixet a partir de una imagen Landsat 5, TM, presenta un elevado índice de error. Las características geográficas del territorio explican la dificultad de la imagen para discriminar las distintas coberturas. Sin embargo cuando se reclasifica la imagen en zonas con un comportamiento hidrológico similar se observa una mejora sensible del error (41%) siendo este valor comparable al error calculado para el mapa de usos elaborado por métodos tradicionales (31%). Las diferencias existentes entre ambos tipos de documentos no son significativas a la hora de calcular parámetros hidrológicos como el número de curva o el umbral de escurrimiento, pues con ambos mapas se obtuvo un mismo valor agregado para el conjunto de la cuenca.

Si bien los mapas de usos del suelo generados a partir de imágenes de satélite en pequeñas cuencas mediterráneas presentan un considerable índice de error, la información que proporcionan es suficiente para su inclusión en modelos hidrológicos de cálculo de escurrimiento, con la ventaja que suponen en cuanto ahorro de tiempo y actualización de información respecto a los métodos tradicionales.

### BIBLIOGRAFÍA

Atkinson, P., J.L. Cushie, J.R.G., A. Wilson 1985. Improving TM land cover classification using filtered data. *Int. J. of Remote Sensing* 6 (6): 955-961.

Barredo Cono, J.L. y J. Bosque Sendra 1966. Delimitación de unidades homogéneas del relieve a partir de un modelo digital de elevaciones. *Estudios Geográficos T, LVII*, 225:615-643.

Camarasa, A.M. 1995. *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranc de Carraixet y Rambla del Poyo*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 252 p.

Chuvieco, E. 1995. *Fundamentos de teledetección espacial*. Ed. Rialp, 453.

Ferrer, M., J. Rodríguez y T. Estrela, 1995. Generación automática del número de curva con Sistemas de Información Geográfica. *Ingeniería del Agua* 2 (4): 43-58.

Mattikalli, N.M., B.J. Devereus y K.S. Richards 1996. Prediction of river discharge and surface water quality using an integrated geographical information system approach. *Int.J. Remote Sensing* 17 (4): 683-701.

Rai, S.C. y E. Sharma 1998. Comparative assesment of runoff characteristics under different land use patterns within a Himalayan watershed. *Hydrological Processes* 12: 2235-2248.

Rango, A., J. Foster, y V.V. Salomonson 1975. Extraction and utilization of space acquired physiographic data for water resources development. *Water Resources Bulletin* 11 (6): 1245-1255.

Schultz, G.A. 1993. Application of GIS and remote sensing in hydrology. *IASH Publication Number 211*: 127-140 (Wallington: International Association of Hydrological Sciences Press).

Sharma, K.D. y S. Singh 1992. Runoff estimation using Landsat Thematic Mapper data and the SCS model. *Hydrological Sciences Journal* 37: 39-52.

Témez, J.R. 1978. *Cálculo Hidrometeorológico de Caudales de Avenida en Pequeñas Cuencas Naturales*. MOPU.

---

**Agradecimientos.** Este trabajo se enmarca en el Proyecto "SIG y modelización hidrológica" GV-D-RN-12-127-96, financiado por la Generalitat Valenciana. Agradecemos a todos los miembros del grupo investigador la colaboración prestada, en especial a la Dras. F. Segura y A.M. Camarasa y a D. J. A. Pascual.