

CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO Y PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN RAMBLAS MEDITERRÁNEAS: CARRAIXET Y POYO (1956-1998)

M^a José López García, Ana M^a Camarasa Belmonte y Joan F. Mateu Bellés

Departamento de Geografía. Universidad de Valencia.

RESUMEN

Este trabajo analiza el efecto de los cambios recientes en los usos del suelo en la génesis de escorrentía en ramblas mediterráneas utilizando un SIG. Para el cálculo de la producción de escorrentía se ha utilizado el método desarrollado por el S.C.S. modificado por Témez (1978) que combina los mapas de pendientes, usos del suelo y grupo hidrológico del suelo. Se ha aplicado una adaptación del método propuesta por Camarasa *et al.* (2006) basado en la interpretación hidrogeomorfológica de la cuenca para la estimación del grupo hidrológico de suelo.

Los resultados muestran una variabilidad espacial y temporal importante en la dinámica de producción de escorrentía, de forma que los valores promedio obtenidos para el conjunto de una cuenca enmascaran comportamientos diferentes según los sectores y dependiendo del período de tiempo.

Palabras clave: Producción de escorrentía, cambios de uso del suelo, cuencas mediterráneas.

ABSTRACT

This paper attempts to determine the influence of recent land use changes on runoff production in Mediterranean ephemeral streams by means of GIS. The runoff threshold has been estimated by the US Soil Conservation Service method (1972) modified by Témez

Fecha de recepción: marzo 2007.

Fecha de aceptación: septiembre 2007.

(1978) which combines values of slope, vegetation, land use and hydrological soil type. The method has been adapted by Camarasa *et al.* (2006) to estimate the hydrological soil type from the hydrogeomorphological characteristics of the catchment.

The results show a very high spatial and temporal variability in runoff production. Overall values calculated for a catchment are not good indicators because they hide changes occurring in different sectors and tendencies that changes in periods of time.

Key words: Runoff production, land-use changes, Mediterranean catchments.

I. INTRODUCCIÓN. LA INFLUENCIA DE LOS USOS DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA

La estimación de la producción de escorrentía superficial en las cuencas no aforadas, constituye un factor clave en los estudios hidrológicos ya que condiciona su dinámica hídrica. En las ramblas mediterráneas, caracterizadas por regímenes esporádicos donde el mayor aporte hídrico se produce en episodios de crecida, la producción de escorrentía también condiciona el factor de riesgo de inundación para las poblaciones y actividades asentadas en las márgenes fluviales.

En el litoral mediterráneo, las ramblas constituyen un rasgo destacado del territorio. Estos sistemas configuran pequeñas cuencas, de gran pendiente y circulación efímera, que conectan cadenas montañosas litorales y prelitorales y las llanuras costeras. Su dinámica hidrogeomorfológica origina una gran variedad de espacios inundables (abanicos aluviales, piedemontes, cauces de fondo plano, llanuras de inundación) (Mateu, 1989) tradicionalmente ocupados por asentamientos humanos y actividades productivas. En las últimas décadas, debido al desarrollo económico y al proceso urbanizador, estos espacios han experimentado importantes transformaciones en los usos del suelo afectando tanto a las cabeceras de las cuencas como a los llanos de inundación. Entre los cambios más constatados destaca el retroceso de la superficie forestal (fundamentalmente por incendios), el abandono de cultivos de secano tradicionales (viñedo, algarrobo, olivos...), la introducción de nuevos regadíos (cítricos), y el incremento de superficie impermeabilizada (expansión urbana, generalización del fenómeno de segunda residencia, incremento de las zonas industriales, ampliación de la red de comunicaciones) (Camarasa *et al.*, 1998; Domingo y López García, 2004; Pascual Aguilar, 2004).

En el contexto de «cambio global», parece oportuno determinar las consecuencias que los cambios en los usos del suelo generan en los procesos hidrológicos. Es conocido que los cambios en las prácticas agrarias, como la extensión o introducción de los cultivos de regadío, así como la creciente expansión de la superficie urbanizada, generan incrementos en la demanda de agua y afectan al ciclo hidrológico (infiltración, recarga de acuíferos, etc.) que influyen, como es obvio, en la producción de escorrentía y en la calidad de las aguas. Determinar y cuantificar las consecuencias hidrológicas de los cambios de uso de suelo no es tarea fácil (Defries y Eshleman, 2004) dada la diversidad y complejidad de los cambios, la carencia de series largas de registros hidrológicos, la escasez de cuencas experimentales con datos reales, y la variabilidad de los sistemas hidrológicos que dificulta la extrapolación y generalización de los estudios existentes.

Algunos autores coinciden en la complejidad del problema y en la necesidad de estudiar las implicaciones que los cambios de usos tienen en los incrementos de escorrentía de cara a la ordenación y gestión del territorio (Sullivan *et al.*, 2004; Defries y Eshleman, 2004).

Incluso a escala de cuenca, no es sencillo determinar los efectos de los cambios en los usos del suelo pues, generalmente, la dinámica de cambios es variable espacialmente y diacrónicamente, por lo que algunos efectos pueden ser compensados globalmente o cambiar de tendencia en la medida en lo que lo hacen las transformaciones a lo largo del tiempo. Existen estudios que constatan la diferente respuesta hidrológica según se trate de cuencas cubiertas por vegetación o no, produciéndose mayores picos de escorrentía en cuencas desprovistas de cubierta forestal (Hornbeck *et al.*, 1970; Bosh and Hewlett, 1982; García Ruíz *et al.*, 2005, entre otros). Otros, identifican incrementos de escorrentía asociados al efecto de compactación del suelo provocado por el sobrepastoreo (Meyles *et al.*, 2002). En España, estudios recientes en el Pirineo central para el período 1959-95 indican un descenso de la escorrentía anual y también en la frecuencia e intensidad de los sucesos de crecida, atribuida a la reforestación de las cuencas y a la regeneración de la cubierta vegetal en terrenos agrícolas previamente abandonados (Beguería *et al.*, 2003; López-Moreno *et al.*, 2007).

Este trabajo tiene como objetivo determinar la influencia de los cambios de usos del suelo en la producción de escorrentía en ramblas mediterráneas. Se han elegido como escenario de análisis las cuencas semiáridas del Carraixet y de Poyo, ubicadas respectivamente al norte y al sur de la ciudad de Valencia. Son dos pequeñas cuencas sometidas a una fuerte presión humana en los últimos años. Se pretende desarrollar un estudio diacrónico de la evolución espacio-temporal de la producción de escorrentía en función de los cambios de usos del suelo ocurridos durante el período 1956-1998.

En la génesis de la escorrentía superficial hay que considerar, por un lado, la lluvia y, por otro, las características de la cuenca de drenaje. Volumen, intensidad y distribución espacio-temporal de la precipitación caracterizan los *inputs* o entradas al sistema, mientras que la configuración hidrogeomorfológica de la cuenca, la cubierta del suelo y la humedad antecedente, regulan la conversión lluvia-caudal para cada episodio. Es por ello que, frente a condiciones de lluvia idénticas, la respuesta hidrológica de la cuenca variará dependiendo de las características de la cuenca, entre las cuales, los usos del suelo constituyen el factor más dinámico y variable a corto, medio y largo plazo. Por ello, la acelerada dinámica reciente de cambios de los usos del suelo en el litoral valenciano está teniendo implicaciones en el proceso de producción escorrentía y es necesario cuantificar y determinar la naturaleza de estos cambios para poder estimar sus efectos en la génesis de escorrentía.

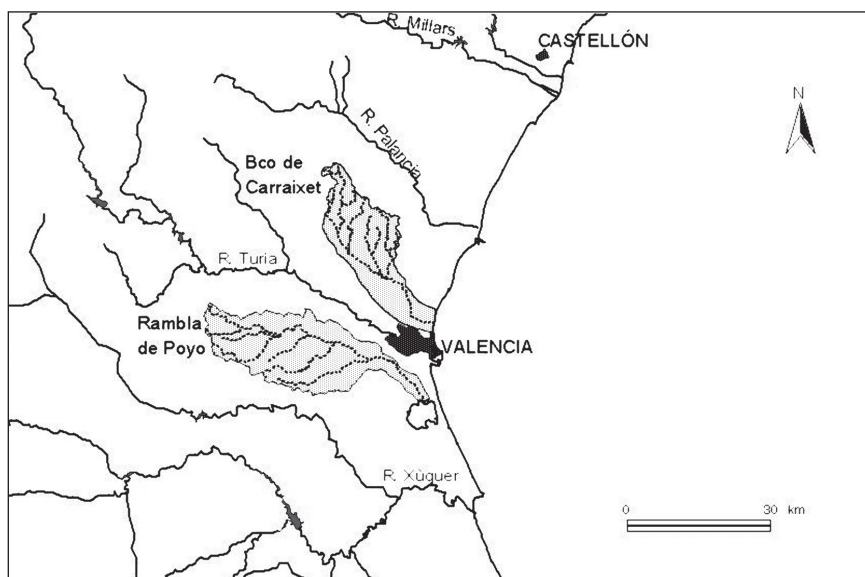
Para el cálculo de la producción de escorrentía, este estudio se centra únicamente en las características de la cuenca, obviando la precipitación, puesto que pretende caracterizar la respuesta hidrológica de los diferentes sectores de la cuenca, frente a idénticas condiciones de lluvia. Se estima, por tanto, la cantidad de lluvia acumulada necesaria para generar flujo superficial, en función de la *capacidad potencial de la cuenca para producir escorrentía*. En términos de balance hídrico, el parámetro de escorrentía (P_0) refleja el umbral en que, bajo hipótesis de lluvia bruta suficiente y uniformemente repartida por toda la superficie, comienza a producirse flujo *hortoniano*, una vez satisfechas las pérdidas por evapotranspiración, intercepción e infiltración.

Existen muchos métodos para evaluar este parámetro, pero en ambientes semiáridos y mediterráneos, los modelos complejos no dan buenos resultados, tanto por la especificidad de los procesos de conversión lluvia-caudal (Camarasa, 1995; Camarasa y Segura, 2001), como por el exceso de información que requieren (Graf, 1988). En estos casos, los métodos empíricos han demostrado mayor efectividad. Uno de los modelos más utilizado (Ferrer Polo 1993; Camarasa, 1995; Ferrer, 2002) es el del *Número de Curva* (NC), desarrollado por el *US Soil Conservation Service* (SCS) en 1972, y modificado, para España, por Témez (1978, 1991). Utiliza, entre otros, valores de pendiente, vegetación y usos del suelo. A pesar de la generalización del método y sus múltiples adaptaciones (Hjelmfelt, 1991), quedan aún muchas incertidumbres (Perrone y Madramootoo, 1998; Bhuyan *et al.*, 2003) relacionadas, en particular, con la asignación de grupos hidrológicos de suelo, sobre todo, en zonas semiáridas (Simanton *et al.*, 1996; Silveira *et al.*, 2000). En nuestro trabajo se ha utilizado el método de SCS modificado según una propuesta metodológica que determina el grupo hidrológico del suelo a partir del análisis hidrogeomorfológico de la cuenca (Camarasa *et al.*, 2006).

II. ZONA DE ESTUDIO: DOS RAMBLAS MEDITERRÁNEAS

Se han elegido para el estudio dos ramblas mediterráneas, de dimensiones parecidas, que desembocan en el Golfo de Valencia, localizadas en los sectores norte y sur del área metropolitana de la ciudad de Valencia (Figura 1). Comparten, por tanto, un contexto morfoclimático común, si bien, sus respectivas características litológicas y de usos del suelo son algo diferentes.

Figura 1
MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LAS CUENCAS DE CARRAIXET Y DE POYO



La cuenca del Carraixet, ubicada entre los ríos Palancia y Turia, tiene una superficie de 311 km². Nace en la Sierra Calderona (826 m) y desemboca en Alboraiá (sector norte del área metropolitana de Valencia). Desde la cabecera, un relieve típicamente germánico, compartimentado en bloques, desciende en gradería hacia el litoral, donde desaparece bajo el aluvionamiento cuaternario. La parte media, es un sector de transición, conformado por potentes abanicos del Pleistoceno Medio y Superior, que coalescen en sus partes distales, conformando el piedemonte de Bétera. La cuenca baja está constituida por una llanura aluvial de reciente configuración.

La Rambla de Poyo se sitúa entre los ríos Turia y Júcar y tiene una superficie de 462 km². Tiene su origen en la Sierra de los Bosques (1023 m) y la Cabrera (916 m), donde también presenta un relieve germánico, con fuerte control estructural y empujes diapíricos en la base de la cobertera. El sector medio se organiza en torno a la confluencia de los abanicos aluviales de los afluentes principales (Barranco Grande, Cueva Morica y Rambla de Gallo-Chiva). A partir de la confluencia, sigue una dirección ibérica hasta alcanzar el Pla de Quart, donde pierde su morfología, que no volverá a recuperar hasta las proximidades de Torrent. Desemboca en la Albufera de Valencia, con el nombre de Barranc de Torrent.

III. METODOLOGÍA

El análisis de los cambios de usos del suelo así como el cálculo del parámetro de escorrentía se han realizado mediante un Sistema de Información Geográfica. La creciente disponibilidad de datos digitales referidos a las cuencas de drenaje en los últimos años (Modelos Digitales de Elevación, ortofotos, cartografía temática), ha generalizado el uso de los SIG tanto para la modelización hidrológica (Meijerink *et al.*, 1994) como para la planificación hídrica (Cuena, 1996; Francés *et al.*, 2000), o los estudios de riesgo de inundación (Camarasa *et al.*, 2001). El cálculo del umbral de escorrentía mediante el método del NC también se ha automatizado (Ferrer *et al.*, 1995) lo que ha extendido más su uso (Francés y Benito, 1995; Bescós y Camarasa, 2000; Almorox *et al.*, 2001).

Este trabajo utiliza el software IDRISI 32 (v. Release 2) y Arc-View (v. 3.2) para integrar las distintas bases cartográficas disponibles en la zona de estudio y para aplicar la metodología que se describe a continuación.

1. Análisis de cambios en los usos del suelo

Desde la segunda mitad del s. XX, se han producido importantes cambios en los usos del suelo en las márgenes mediterráneas, como consecuencia de las transformaciones socioeconómicas del país. Todavía en los años 50, la fachada mediterránea presentaba un perfil eminentemente agrario, con gran protagonismo de los cultivos de secano. El desarrollismo económico de los años sesenta y setenta dio lugar a un giro masivo de la agricultura hacia el regadío, junto con un despegue acelerado de usos industriales y urbanos. Sin embargo, durante los últimos veinte años del siglo XX han tenido lugar las alteraciones más notorias apoyadas, sobre todo, en un incremento indiscriminado de los usos urbanos. A estos cambios voluntarios hay que añadir modificaciones derivadas de incendios y otras catástrofes naturales.

El estudio de la dinámica de cambios en los usos del suelo contempla el período comprendido entre 1956 y 1998. Un análisis de tendencia global, podría, sin embargo, ocultar la dinámica real, debido a que, a lo largo del período, pueden darse cambios de diferente signo que se compensen entre sí. Por ello, se ha analizado también la situación de un año intermedio, 1991, tras la ocurrencia de varios incendios en la zona, que modificaron bastante la cubierta natural. En definitiva, el estudio de la dinámica de usos se ha realizado a partir de la comparación de la cartografía de usos de suelo de 1956, 1991 y 1998, disponibles en formato digital Arc-Wiew (Pascual, 2001). El mapa de 1956 se obtuvo a partir de la digitalización, georeferenciación y fotointerpretación del vuelo americano (escala 1/33.000); el mapa de 1991 procede del mapa digital de la Consellería de Medi Ambient de la Generalitat Valenciana (revisado mediante el vuelo de 1991, escala 1/25.000); y el mapa de 1998 se confeccionó por fotointerpretación del vuelo del Instituto Cartográfico Valenciano de 1997 (escala 1/25.000) revisada con trabajo de campo (Pascual, 2001).

Las categorías de partida se han sintetizado, siguiendo criterios hidrológicos, en función de su permeabilidad. Así, por ejemplo, las categorías originales de cursos de agua, lagunas litorales y suelo urbanizado, aparecen sintetizadas en una única clase «zonas impermeables», habida cuenta de que presentan un comportamiento similar en relación a la producción de escorrentía. Los mapas digitales vectoriales (formato Arc-View) fueron incorporados al software IDRISI y transformados en formato *raster* con un tamaño de celda de 20 m x 20 m. Las funciones disponibles en el GIS permitieron realizar fácilmente el cálculo de superficies para cada año y cada categoría, así como el análisis de la dinámica de cambios mediante el cruce de mapas (función *crossstab*) dos a dos. Los resultados e interpretación del análisis se muestran en los apartados IV. 1 y IV.3.

2. Estimación de umbrales de escorrentía (P_0) de según el método del S.C.S. modificado

Para calcular el umbral de escorrentía se ha utilizado el modelo de Número de Curva desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS) de E.E.U.U. en 1972. Este método ha sido revisado y modificado en muchas ocasiones, hasta convertirse en uno de los métodos empíricos de mayor uso. En el caso español, fue adaptado por Témez (1978) y reviste especial importancia dado que constituye la base de la norma de drenaje de carreteras (Ferrer Polo, 1993).

El método considera el proceso de producción de escorrentía en dos fases: una primera fase, desde el comienzo de la lluvia hasta el inicio de la escorrentía, en que dominan las pérdidas y el suelo absorbe toda el agua precipitada, hasta un valor límite. Alcanzado este valor, comienza la segunda fase en que la precipitación sólo es absorbida en parte, dando lugar a escorrentía superficial. Se acepta, por tanto, la existencia de un umbral o parámetro de escorrentía (P_0), expresado en mm, por debajo del cuál las precipitaciones no producen escorrentía. La siguiente ecuación define la relación básica entre precipitación, umbral y escorrentía (Témez, 1978):

$$\sum E = 0 \quad \text{para} \quad \sum P \leq P_0$$

$$\sum E = \frac{(\sum P - P_0)^2}{\sum P + 4P_0} \quad \text{para} \quad \sum P \geq P_0 \quad [1]$$

siendo: $\sum P$ = Lluvia acumulada desde el comienzo del aguacero

$\sum E$ = Escorrentía superficial

P_0 = Parámetro o umbral de escorrentía

El parámetro de escorrentía puede obtenerse, bien a partir del balance hídrico (Osborn y Lane, 1969; Segura, 1990; Camarasa y García-Bartual, 1991), bien a partir de las características de la cuenca, siguiendo las tablas propuestas por Témez (1978), en base a las establecidas por el SCS. Estos valores deben adaptarse, además, para tener en cuenta el estado previo de humedad (condición I: seco; condición II: medio y condición III: húmedo).

En el presente trabajo se calcula el umbral de escorrentía combinando los factores de cuenca: pendiente del terreno, uso del suelo, tipo de práctica de cultivo y características hidrológicas del suelo, según las tablas de Témez, y para condiciones medias de humedad antecedente. Pendiente y usos son fáciles de obtener y reinterpretar en claves hidrológicas. Sin embargo, el grupo hidrológico de suelo, una de las variables más sensibles del método (Ferrer, 2002), presenta mayor dificultad de definición, por lo que ha sido estudiado con mayor detalle y ha sido objeto de un desarrollo metodológico para su estimación, adaptada a entornos mediterráneos (Camarasa *et al.*, 2006)

El método adaptado por Témez (1978) contempla cuatro tipos hidrológicos de suelo, en función de su facilidad de drenaje:

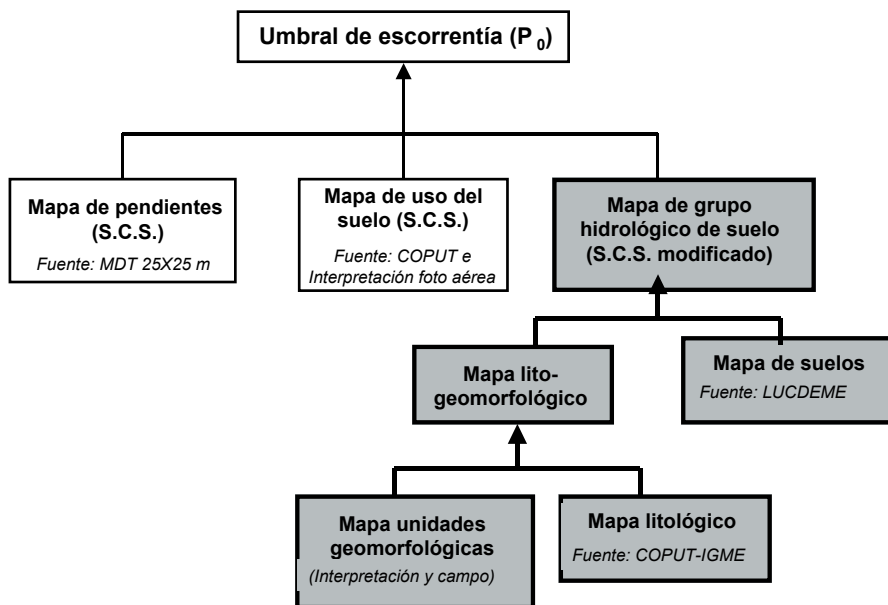
- Grupo A: suelos excesivamente drenados. El agua se infiltra rápidamente aún cuando están muy húmedos. Son profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas).
- Grupo B: suelos moderadamente drenados. Presentan una profundidad de media a profunda y textura franco-arenosa, franca, franco-arcillosa-arenosa o franco-limosa.
- Grupo C: suelos imperfectamente drenados. La infiltración es lenta cuando están muy húmedos. Presentan textura franco-arcillosa, franco-arcillosa-limosa, limosa o arcillo-limosa.
- Grupo D: suelos pobremente drenados. Cuando están húmedos la infiltración es muy lenta. Presentan horizonte de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. Incluye los terrenos con nivel freático permanentemente alto y litosuelos.

Para un entorno morfoclimático homogéneo de clima regular, la interpretación de grupo hidrológico a partir de la cartografía de suelos puede resultar relativamente sencilla. Sin embargo, cuando se trabaja en ambientes mediterráneos y semiáridos, donde los suelos presentan menor desarrollo, mayor heterogeneidad y son muy dependientes de la roca madre, la definición del grupo hidrológico del suelo es más compleja. Algunos investigadores (Ferrer 2002; Pascual, 2004) han incluido en sus análisis información detallada sobre suelos, sin

que los resultados mejoraran mucho en zonas mediterráneas. Otros (Francés y Benito 1995; Camarasa, 1995; Olivares, 2004) han asignado el grupo hidrológico directamente a partir de la litología, sin considerar el complejo edáfico.

En nuestro trabajo utilizamos la metodología propuesta por Camarasa *et al.* (2006) según la cual la determinación del grupo hidrológico del suelo se basa en el análisis hidrogeomorfológico de la cuenca, incorporando conjuntamente información litológica, geomorfológica y edafológica. La figura 2 muestra, en esquema, el modelo cartográfico seguido para el cálculo del umbral de escorrentía, destacando la propuesta metodológica de los autores para la estimación del grupo hidrológico de suelo.

Figura 2
 MODELO CARTOGRÁFICO DEL MÉTODO DEL SCS MODIFICADO POR TÉMEZ UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA. SE DESTACA EN SOMBRADO LA METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO SEGÚN CAMARASA ET AL. (2006)



Las **fuentes cartográficas** utilizadas en el estudio son:

- a) Modelo Digital de Elevación (MDE) procedente del Servicio Geográfico del Ejército, en formato raster original de 25 m x 25 m
- b) Mapa de litología obtenido a partir del mapa de la COPUT y del IGME (escala 1:50.000)

- c) Mapa de suelos de la Comunidad Valenciana, Proyecto LUCDEME (escala 1:100.000)
- d) Mapa de unidades geomorfológicas obtenido por fotointerpretación y trabajo de campo (Camarasa, 1995)
- e) Mapas de usos del suelo de 1956, 1991 y 1998, descritos en el apartado anterior.

Todos estos mapas se integraron en el SIG IDRISI en formato *raster* con un tamaño de celda de 20 m x 20 m. A partir del MDE se obtuvo el **mapa de pendientes** que se reclasifica en las dos categorías que requiere el método: menor de 3% y mayor o igual al 3%.

El mapa de **grupo hidrológico del suelo** se obtiene en dos fases:

- 1) Se parte del mapa de **unidades geomorfológicas**, entendiendo que cada unidad se caracteriza por unos procesos hidrológicos dominantes. Este mapa se cruza con el mapa litológico para obtener un mapa **lito-geomorfológico**. No se trata de un cruce automático de capas sino de una reinterpretación de las unidades geomorfológicas, teniendo en cuenta la permeabilidad de los materiales. Requiere de la reflexión e interpretación, para cada combinación de categorías, de un experto en hidrogeomorfología. En algunos lugares las unidades geomorfológicas iniciales se subdividen, como ocurre en los relieves de la cabecera del Carraixet donde la diferencia litológica entre calizas, areniscas y arcillas supone cambios de comportamiento dentro de la misma unidad. En otros casos, como ocurre en el llano de inundación se produce una agregación entre la cuenca de inundación holocena y la actual, habida cuenta que, en ambas, el proceso que domina es el del desbordamiento, y la producción de escorrentía está muy condicionada por el tipo de material, muy similar en los dos casos.
- 2) Posteriormente, se cruzan los mapas lito-geomorfológico y el de suelos (previamente sintetizado con criterios de permeabilidad) para obtener el de **grupo hidrológico**. La tabla 1 muestra la combinación de pares de categorías entre ambos mapas y la asignación de grupo hidrológico propuesta. En aquellos casos en los que es posible dos tipos de asignación, se ha indicado el tipo de grupo escogido en cada una de las cuencas, teniendo en cuenta las características concretas de la zona. Aunque esta asignación no deja de ser una interpretación subjetiva, adaptada por los autores a las cuencas analizadas, los resultados obtenidos son muy coherentes.

El grupo A (drenaje excesivo) es minoritario en ambas cuencas. Aparece fundamentalmente en los cauces de las ramblas, ligado a litología no consolidada de arenas y gravas, y en las zonas de arenosoles de la cuenca del Carraixet. El tipo B (drenaje moderado) afecta a los abanicos encostrados y a la plataforma calcárea de baja pendiente de la cuenca de Carraixet. En la cuenca de Poyo el tipo B se relaciona con fluvisoles desarrollados sobre abanicos del Pleistoceno Superior. El grupo C (suelos imperfectamente drenados) es el dominante en la cuenca de Carraixet, localizado mayoritariamente sobre las cabeceras permeables, en los abanicos sin encostrar y en las llanuras, relacionados con los fluvisoles. En la cuenca de Poyo aparece ligado a suelos poco desarrollados (luvisoles y leptosoles). Por último, el grupo D (suelos mal drenados) está ampliamente representado en la cuenca de Poyo, ocupando las zonas de litología margo-arcillosa y las zonas de limos de albufera (gleisoles) próximos a la desembocadura.

Tabla 1
PROPUESTA DE ASIGNACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO
A PARTIR DEL MAPA LITO-GEOMORFOLÓGICO Y DEL MAPA EDAFOLÓGICO

	Arenosol	Fluvisol	Calcisol	Cambisol	Luvisol	Regosol	Leptosol	Gleisol
Arenas y gravas no consolidadas	A	A	A	A	A	A	A	D
Roquedo calcáreo	A	B	B	B	B	B	C	D
Areniscas	A	B	B	B	B	B ^{+/C*}	C	D
Areniscas facies Röt	A	B	B	B	C	C	C/D*	D
Abanicos encostrados	A	B	B	B	C	C	D	D
Abanicos sin encostrar	A	B ^{+/C}	B/C ⁺ *	B/C ⁺ *	C	C	D	D
Limos no consolidados de albufera	A/B	B ^{+/C}	C ^{+/D}	C/D ⁺	D	D	D	D
Arcillas/limos/margas	B	C	C/D ⁺ *	C/D ⁺ *	D	D	D	D

(*) Asignación correspondiente a la cuenca de Carraixet.

(+) Asignación correspondiente a la cuenca de Poyo.

En cuanto a los tipos de uso del suelo, tal y como se comentó en el apartado anterior, han sido reinterpretados en términos de escorrentía y adaptados a las categorías que propone Témez (1978) para el posterior cálculo de la producción de escorrentía (tabla 2).

Finalmente la combinación de los mapas de pendientes, usos del suelo y grupo hidrológico del suelo según el modelo descrito en la figura 2 permitieron obtener los mapas de umbral de escorrentía. Los valores calculados se corrigieron multiplicándolo por un factor de 2'75, siguiendo las directrices de Témez (1978, 1991) para el área concreta donde se sitúa la cuenca.

Dado que los usos del suelo son una variable dinámica en el tiempo, se han obtenido 3 mapas de umbral de escorrentía, utilizando los mapas de 1956, 1991 y 1998 para cada una de las cuencas. La comparación de estos mapas dos a dos, mediante las funciones de SIG nos ha permitido cuantificar los cambios ocurridos en la producción de escorrentía debidos a las variaciones en los usos del suelo que se describen en el apartado IV.3.

Tabla 2
RECLASIFICACIÓN DE LOS USOS DEL SUELO ORIGINALES A LAS CATEGORÍAS
PROPUESTAS POR TÉMEZ (1978) PARA LA ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA

Usos del suelo	Usos del suelo (Témez, 1978)
Huerta, arrozal	Rotación de cultivos densos
Viñedo, cultivo arbóreo de secano	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
Cítricos, cultivo arbóreo regadío	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
Matorral mediterráneo	Masa forestal media
Bosque de coníferas	Masa forestal espesa
Cursos de agua, lagunas litorales, suelo urbanizado	Zonas impermeables
Playa, dunas y arenales	Barbecho
Cultivos herbáceos de secano	Cereales de invierno

IV. RESULTADOS

A continuación se presenta, de forma secuenciada, los resultados obtenidos en cada uno de los análisis realizados, partiendo de la detección de las principales transformaciones ocurridas en las cuencas hasta llegar a la valoración de su influencia en la producción de escorrentía.

1. Dinámica de usos del suelo

Las figuras 3 y 4 muestran, respectivamente, los mapas de usos del suelo obtenidos para las cuencas de Poyo y Carraixet en cada una de las fechas analizadas. Junto a los mapas se incluye una gráfica de evolución que muestra el porcentaje de suelo ocupado por cada uso en cada fecha.

En la **cuenca de Poyo**, en 1956 más de la mitad de la superficie de la cuenca (58 %) estaba ocupada por cultivos de secano y viñedos, las formaciones de matorral mediterráneo ocupaban un 20 % localizadas en la cabecera, los cultivos de huerta el 11 % en el llano de inundación y la superficie dedicada a frutales o cítricos el 9 % en torno a las terrazas del curso medio del río.

Los mapas de 1991 y 1998 muestran una mayor diversificación de los usos, produciéndose cambios porcentualmente importantes. Los cultivos de secano siguen siendo el uso mayoritario de la cuenca pero su extensión se reduce casi a la mitad, pasando a ocupar el 35 % de la superficie total de la cuenca en 1991 y el 30 % en 1998. También se reduce la superficie ocupada por cultivos de huerta que pasan a ocupar el 7 % en 1991 y 5 % en 1998. El abandono de los secanos contrasta con el incremento de la superficie dedicada a frutales de regadío y cítricos, que pasan a ocupar el 21.6 % en 1991 y el 29 % de la superficie total en 1998. Resulta llamativa la evolución experimentada por la zona de matorral y bosque en la cabecera de la cuenca. En 1991 la superficie ocupada por el matorral desciende ligeramente pero se incrementan las extensiones boscosas por las repoblaciones forestales de los años 70 (Pascual, 2001). Posteriormente, en 1998, la superficie de bosque ha descendido debido a los incendios forestales de principios de los 90. El descenso de la superficie boscosa va ligado al incremento de nuevo de la superficie ocupada por el matorral, por lo que la situación en 1998 se asemeja bastante a la de 1956. Finalmente, merece destacarse el incremento que experimenta la categoría de «zonas impermeables» que se multiplica por un factor superior a 10 (de 0.81 % en 1956, pasa a ocupar el 9.7 % en 1991 y 10 % en 1998), debido fundamentalmente a la expansión de los núcleos de población y la aparición de nuevas zonas residenciales que ocupan amplios espacios tanto en el curso medio de la cuenca como en la llanura aluvial.

La **cuenca de Carraixet** muestra una evolución similar, aunque con algunas particularidades. En 1956 el uso del suelo más extendido en el conjunto de la cuenca es, también, el secano arbolado y los viñedos (38.6 %) que ocupan el sector de abanicos y la plataforma calcárea de Burjassot-Llíria en la parte media de la cuenca. En segundo lugar, la superficie boscosa que representa el 21.4 % en la zona de cabecera. Los cultivos de huerta, en el llano, representan un 15 %. El matorral, el 13.5 %. En esta época los cultivos de cítricos apenas alcanzan el 9 % del territorio y la superficie de suelo urbanizado es muy reducida (Figura 4).

Figura 3
 DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DE POYO EN 1956, 1991 Y 1998. EL DIAGRAMA DE BARRAS MUESTRA EL % DE SUPERFICIE OCUPADA POR CADA USO EN CADA FECHA

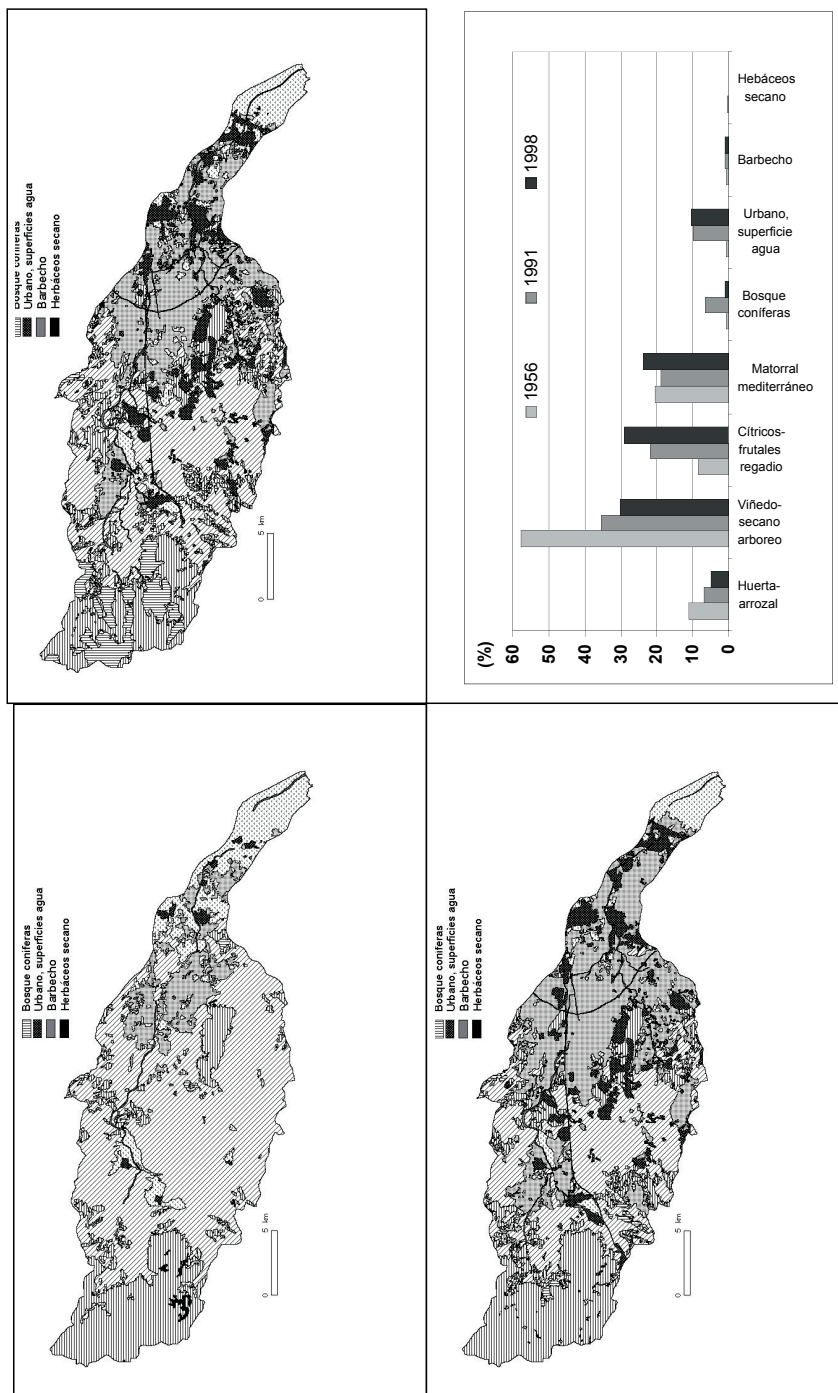
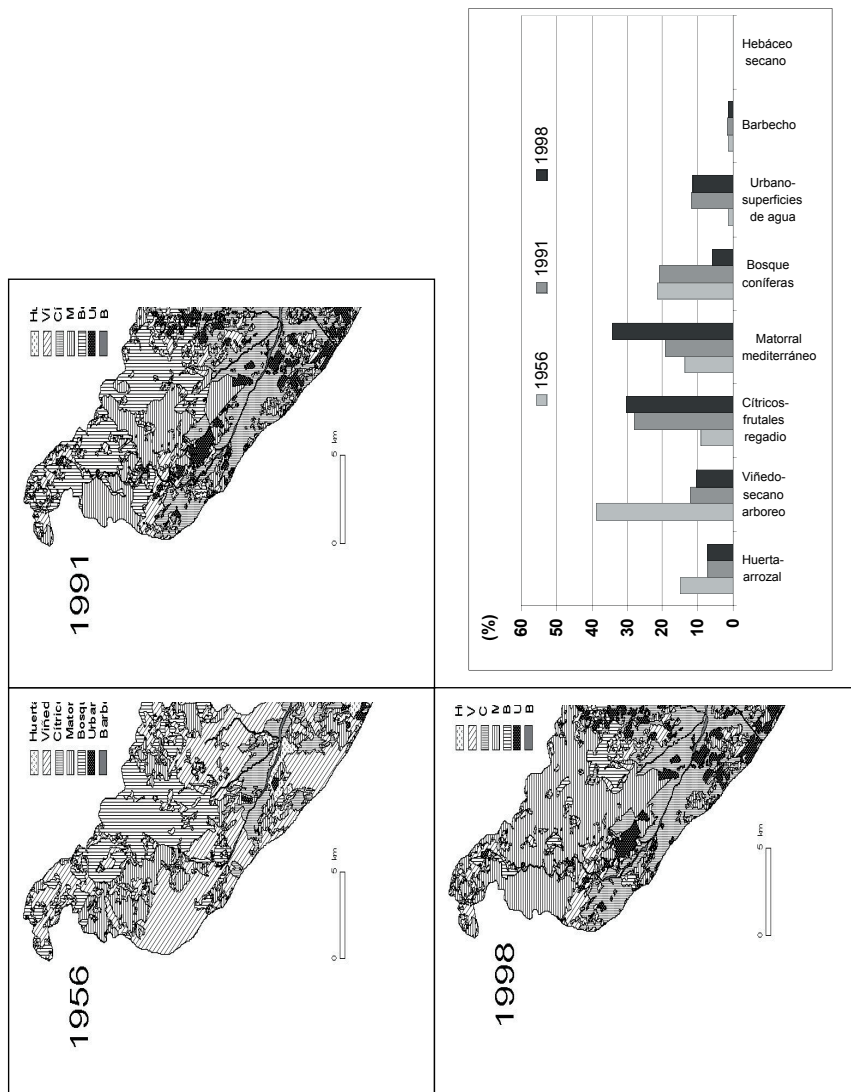


Figura 4
DISTRIBUCIÓN DE LOS USOS DEL SUELO EN LA CUENCA DE CARRAIXET EN 1956, 1991 Y 1998. EL DIAGRAMA DE BARRAS MUESTRA EL % DE SUPERFICIE OCUPADA POR CADA USO EN CADA FECHA



Al igual que en la cuenca de Poyo, en 1991 y 1998 destaca la disminución espectacular de los cultivos de secano (algarrobo, olivos, viñedos...) que reducen su presencia casi una cuarta parte, pasando de representar el 38.6 % de la cuenca en 1956 al 10 % en 1998. Las formaciones boscosas densas siguen teniendo una presencia importante en 1991 (21%) pero en 1998 se han reducido significativamente ocupando solamente el 5.7 % de la cuenca, debido a la ocurrencia de incendios forestales (Urios, 2004). La disminución de las masas forestales, especialmente en la década de los 90 contrasta con el incremento de la superficie ocupada por el matorral mediterráneo (del 13.5 % en 1956 pasan a representar el 19.2 % en 1991 y el 34 % en 1998) causado tanto por la propia degradación del bosque como por el abandono del los cultivos de secano, dando lugar al fenómeno denominado «matorralización» en la sierra (Urios, 2004). En 1998, la superficie de matorral es el uso más extendido en el conjunto de la cuenca.

También en la cuenca de Carraixet el abandono del secano contrasta con el incremento de los cultivos de cítricos que pasan a ser el uso más extendido en 1991 (28 %) y ocupan el 30 % de la cuenca en 1998, sustituyendo al secano, el matorral y también, en parte, a los espacios anteriormente dedicados a cultivos de huerta. Finalmente, y al igual que ocurría en la cuenca de Poyo, se observa un acusado incremento de la superficie urbanizada o de suelo industrial, superando en 1998 el 10 % del total de la cuenca.

En resumen, los cambios más significativos observados en ambas cuencas durante el total del período son: disminución de los cultivos de secano, incremento de las zonas dedicadas a cítricos, y extensión de los espacios urbanizados. La evolución de las masas forestales varía entre una cuenca y otra, observándose un ligero incremento del matorral en la cuenca de Poyo y, una pérdida importante de zonas boscosas en la cabecera de la cuenca de Carraixet, sustituida por el matorral que llega a ser el uso mayoritario en 1998.

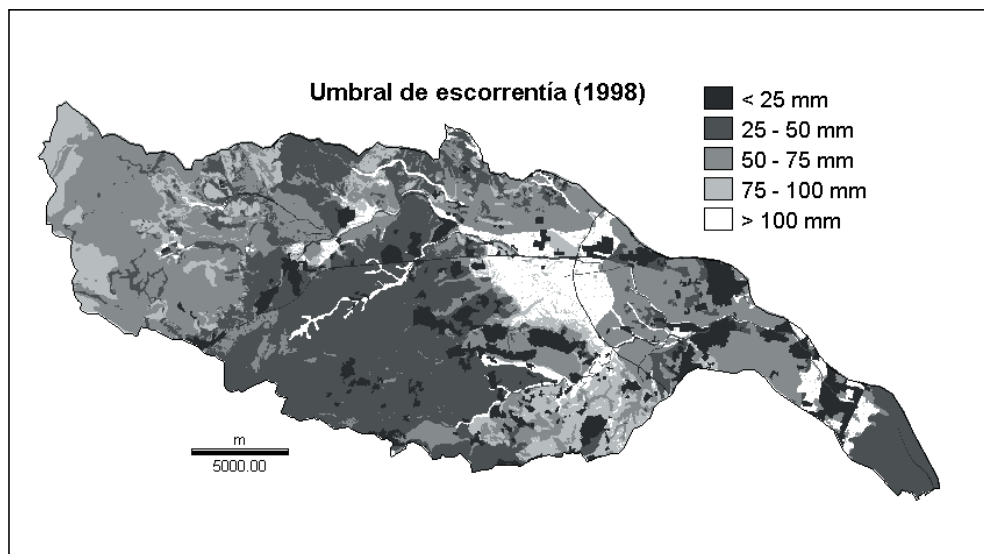
2. Dinámica de los umbrales de escorrentía medios por cuenca

Las figuras 5 y 6 muestran, a modo de ejemplo, los mapas de umbral de escorrentía, obtenidos para el año 1998 en la cuenca de Poyo y Carraixet, respectivamente. Los mapas se han calculado según el método descrito en el apartado III.2 (Figura 2) bajo condiciones medias de humedad.

El mapa de umbral de 1998 (el más cercano a la situación actual), muestra cómo en la cuenca de Poyo (Figura 5), las zonas con umbrales altos (>125 mm) se restringen a los fondos de cauce ocupados por sedimentos gruesos, ya que en esta cuenca la presencia de sedimentos gruesos (gravas y arenas) es escasa y no existen arenosoles. Predominan las zonas con umbrales por debajo de la media, fundamentalmente en las zonas de arcillas y margas de la cuenca media y en la zona de la marjal junto a la desembocadura. Los sectores con mayores umbrales se localizan en las calizas de cabecera, asociadas a luvisoles y a una masa forestal media, y en los fluvisoles desarrollados sobre abanicos sin encostrar y con cultivos de cítricos.

En la cuenca de Carraixet (Figura 6) los mayores valores (>100 mm) aparecen ligados a zonas de alta permeabilidad, bien por ubicarse sobre gravas y arenas, bien por contar con una formación de bosque denso, con suelos profundos y bien desarrollados. Los valores por encima de la media se localizan en zonas de poca pendiente y litología permeable, como la

Figura 5
UMBRAL DE ESCORRENTÍA (P0) EN LA CUENCA DE POYO (1998)

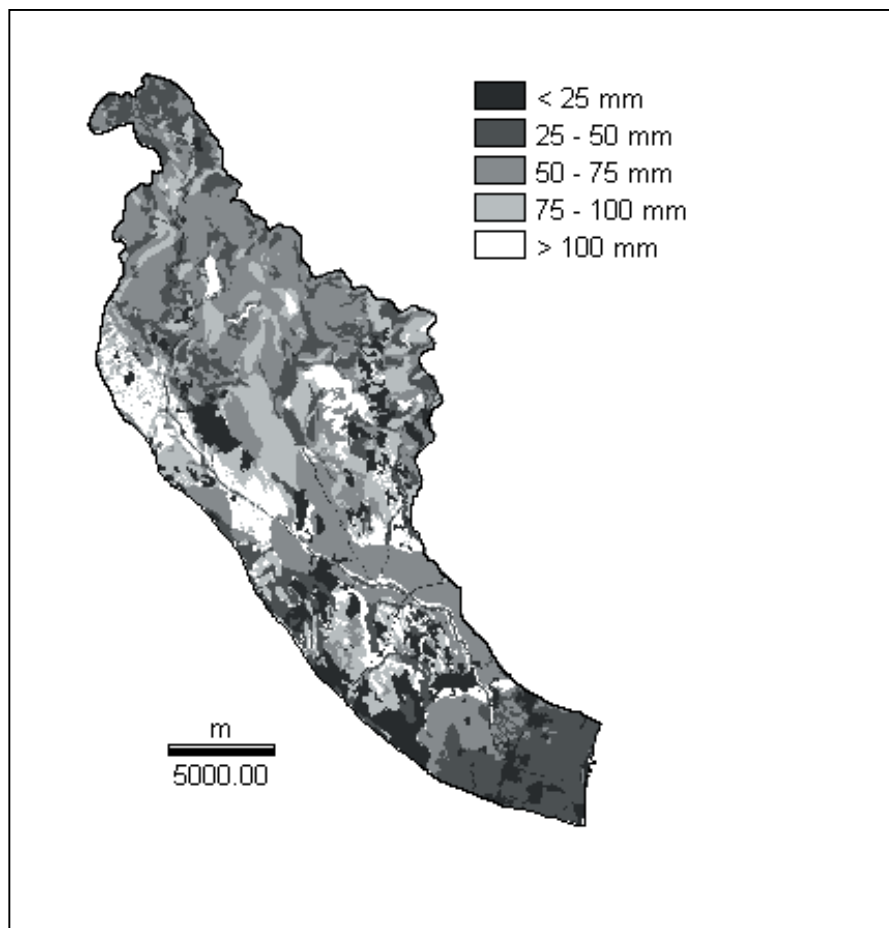


Plataforma calcárea de Burjassot-Llíria y en el sector de abanicos encostrados con cultivo de cítricos (piedemonte de Bétera). Umbrales en torno a la media y ligeramente por debajo se encuentran en el sector serrano, de gran pendiente y suelos más pobres y en las partes distales de los abanicos sin encostrar, con abundante matriz arcillosa y mejores suelos. Los umbrales más bajos están asociados a zonas de suelo urbano e industrial, afloramientos de litología impermeable en las cabeceras y al llano de inundación, de arcillas y limos.

Además del mapa de umbrales de 1998 se han elaborado también los mapas de 1956 y 1991. En base a esta cartografía se ha realizado una estimación global del parámetro de escorrentía para cada cuenca (Figura 7). De acuerdo a esta estimación, el Barranc del Carraixet presenta valores medios de 68.4 mm en 1956, 66.9 mm en 1991 y 63.6 mm en 1998. La cuenca de Poyo presenta valores entorno a los 57 mm en las tres fechas. Estos resultados son coherentes con los obtenidos por otros autores, mediante métodos diversos, para zonas comparables. Así, Camarasa (1995) propone valores inferiores en la cuenca de Poyo (46.5 mm) que en Carraixet (57.3 mm); Segura (1990) maneja umbrales medios entorno a los 65 mm para las ramblas del norte del País Valenciano. Mateu (1982) habla de unos 60 mm mantenidos durante 5 ó 6 horas. Camarasa y Segura (1996) estudian los umbrales en varias ramblas valencianas y proponen un umbral medio entre 65 y 80 mm.

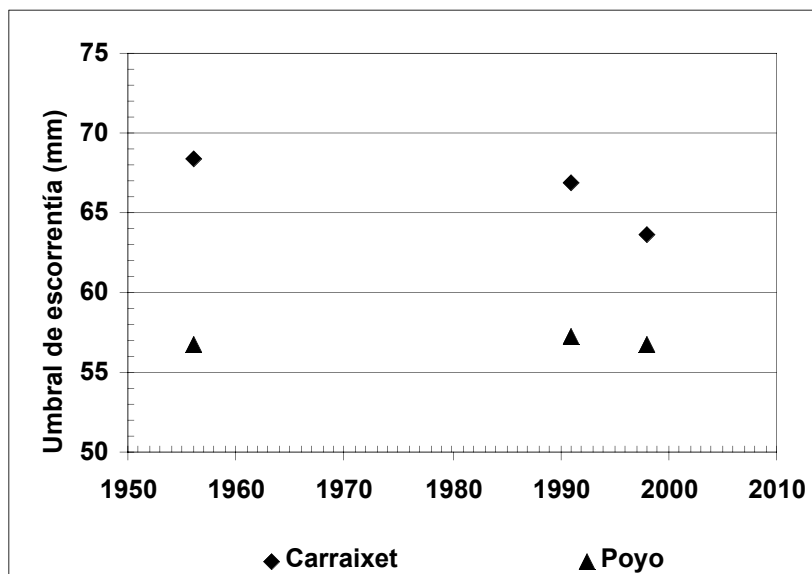
El hecho que Carraixet presente mayores umbrales que Poyo es debido, en gran medida, a que la cuenca de Poyo presenta una litología más impermeable que Carraixet. Gran parte de las cabeceras meridionales de la cuenca de Poyo se han desarrollado sobre arcillas y margas terciarias. Además, la parte final de la cuenca corresponde a limos de albufera.

Figura 6
UMBRAL DE ESCORRENTÍA (P0) EN LA CUENCA DE CARRAIXET (1998)



La evolución temporal del umbral medio por cuenca aparece representada en la figura 7. En ella podemos observar que, pese a los cambios en los usos del suelo en la cuenca de Poyo, el umbral de escorrentía se mantiene estable. Sin embargo, en la cuenca de Carraixet se aprecia una tendencia reciente a la disminución del umbral de escorrentía, lo que indica un incremento global en la producción de circulación superficial. No obstante, dada la variabilidad espacial para cada cuenca del parámetro de escorrentía, y teniendo en cuenta la dinámica espacio-temporal de los usos del suelo antes comentada, interesa analizar las variaciones diacrónicas de dicho umbral en los distintos sectores de la cuenca, ya que los valores medios pueden estar enmascarando alteraciones de distinto signo, dependiendo de la zona de la cuenca. Estas variaciones se analizan en el apartado siguiente.

Figura 7
 EVOLUCIÓN DEL UMBRAL DE ESCORRENTÍA (P_0) PARA EL PERÍODO 1956-98 EN LAS CUENCAS DE POYO Y CARRAIXET. VALORES MEDIOS OBTENIDOS PARA EL CONJUNTO DE LA CUENCA



3. Dinámica de la producción de escorrentía en función de los usos del suelo

El empleo de los SIG en este estudio nos ha permitido obtener mapas dinámicos que muestran los cambios en la producción de escorrentía durante el período analizado en la cuenca de Poyo (Figura 8) y de Carraixet (Figura 9). Estos mapas se han calculado mediante la resta de los mapas de umbral de escorrentía para los períodos 1956-1991, 1991-1998 y como síntesis del período los cambios entre 1956-1998. La disminución en el umbral de escorrentía (P_0) se interpreta como aumento en la producción de escorrentía, y viceversa.

Si bien los mapas originales nos permiten conocer para cada lugar de la cuenca el valor (en mm) de aumento o descenso de la producción de escorrentía, los mapas presentados en las figuras 8 y 9 resumen la tendencia general (aumento o disminución) de cada sector. No obstante, cada mapa incluye un diagrama donde se ha indicado para el conjunto del período (1956-1998) el porcentaje de la cuenca que permanece estable y la superficie que incrementa o disminuye la producción de escorrentía, discriminando, en este caso, las variaciones por intervalos: 0-15 mm, 15-30 mm, y >30 mm.

En la **cuenca de Poyo**, los valores medios de P_0 calculados globalmente indicaron que en el período 1956-98 la producción de escorrentía permanece estable (Figura 7), pero el análisis de las variaciones espaciales (Figura 8) muestra que solamente permanece estable en

Figura 8
 EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DE POYO EN EL PERÍODO ANALIZADO. EL DIAGRAMA CIRCULAR REPRESENTA PARA EL CONJUNTO DEL PERÍODO (1956-98) LA SUPERFICIE DE LA CUENCA (%) AFECTADA POR LAS VARIACIONES, INDICANDO LA INTENSIDAD DEL CAMBIO SEGÚN INTERVALOS DE 15 MM

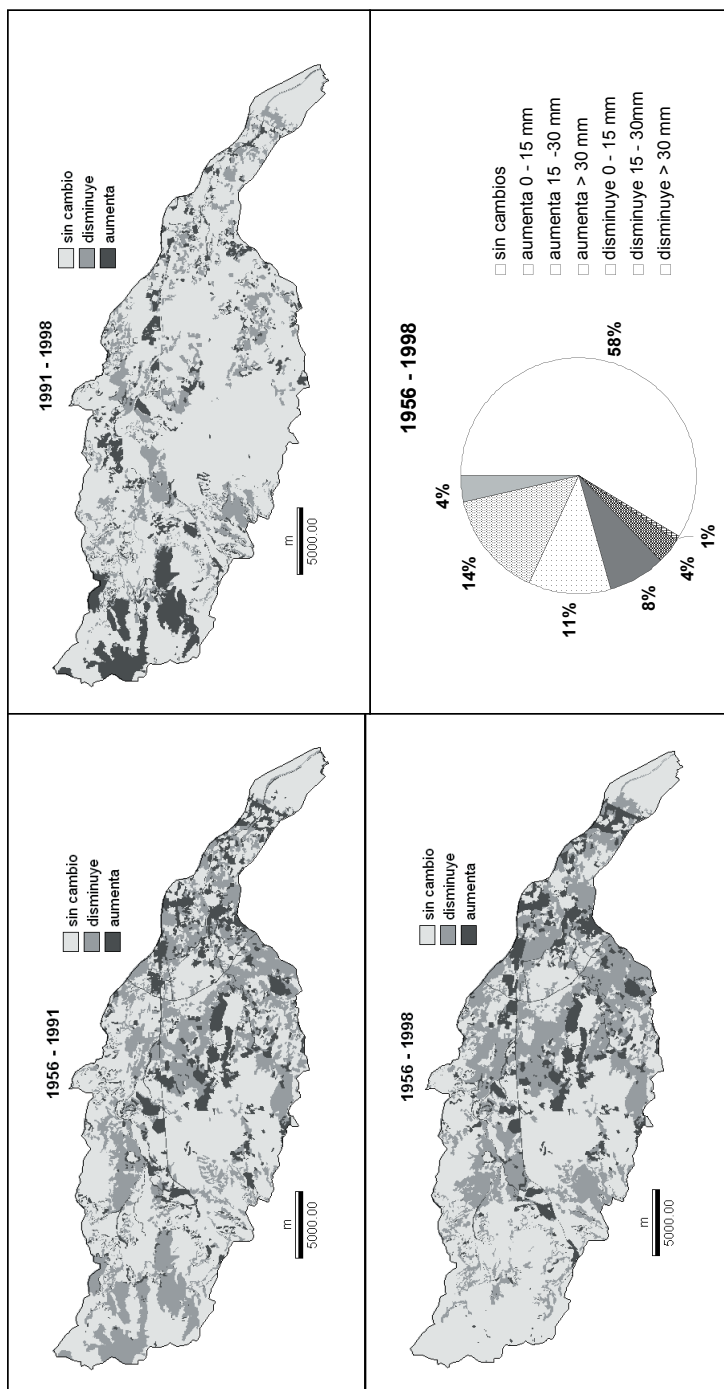
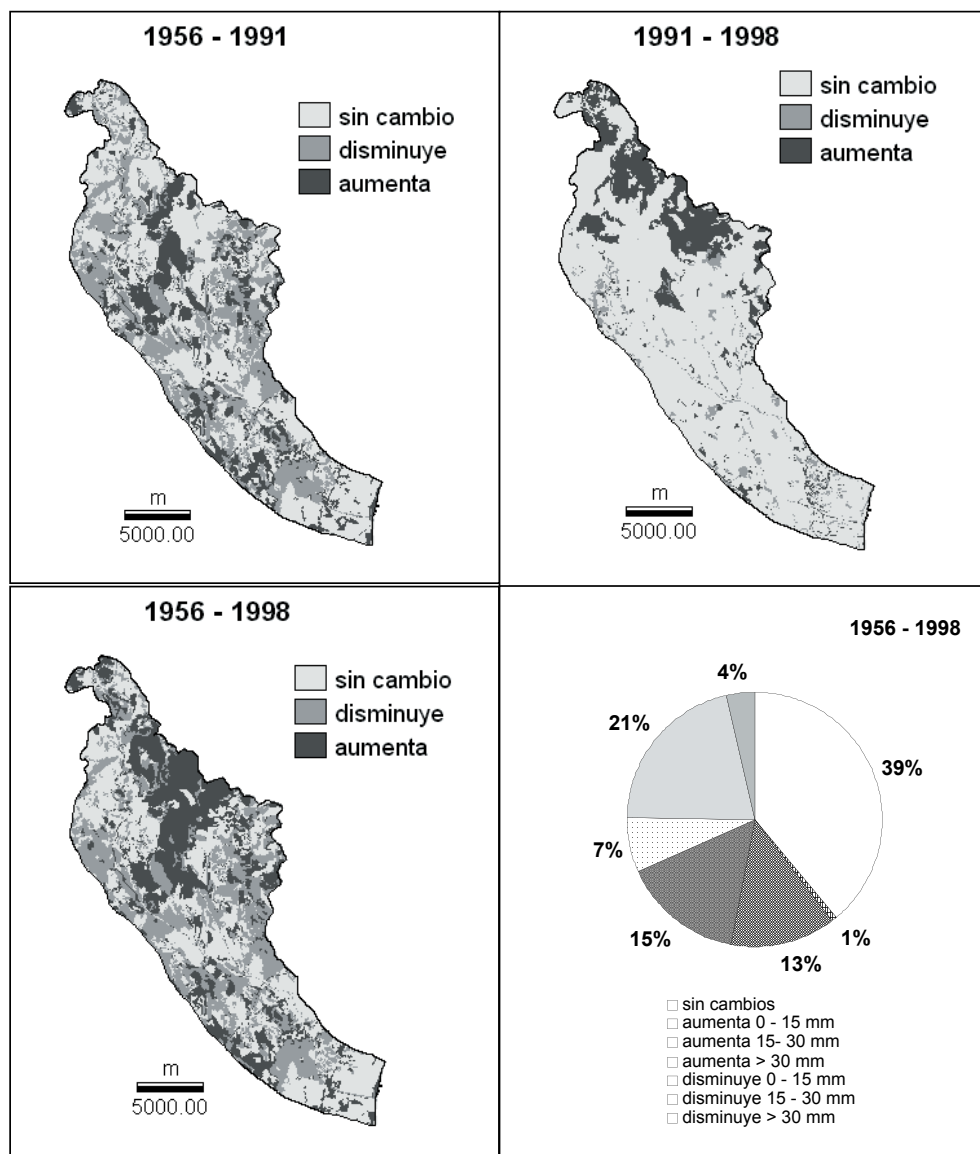


Figura 9

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DE CARRAIXET EL PERÍODO ANALIZADO. EL DIAGRAMA CIRCULAR REPRESENTA PARA EL CONJUNTO DEL PERÍODO (1956-98) LA SUPERFICIE DE LA CUENCA (%) AFECTADA POR LAS VARIACIONES, INDICANDO LA INTENSIDAD DEL CAMBIO SEGÚN INTERVALOS DE 15 MM



el 58 % de la cuenca ya que un 13 % de la superficie incrementa la producción de escorrentía y el 29 % restante disminuye. Si nos fijamos en la magnitud de las variaciones, observamos que más de la mitad de la superficie que incrementa la escorrentía, lo hace por encima de 30 mm (8 %), mientras que la mayor parte de las zonas donde disminuye lo hace en valores menores (11 % entre 0 y 15 mm y 14 % entre 15 y 30 mm).

En la **cuenca de Carraixet**, se observó una tendencia clara al aumento en la producción de escorrentía, ya que los valores medios del umbral (P_0) descienden durante el período 1956-98 (Figura 7). El análisis de las variaciones muestra que solamente el 39 % de la superficie de la cuenca permanece estable mientras en el 32 % disminuye la producción de escorrentía y en el 29 % restante aumenta. También en esta zona la mitad de la superficie que incrementa la producción de escorrentía lo hace con valores superiores a 30 mm (15 %) o con valores entre 15 y 30 mm (13 %), mientras que los descensos afectan mayoritariamente a las zonas con disminuciones menos intensas (7 % entre 0 y 15 mm y 21 % entre 15 y 30 mm).

La interpretación de las variaciones en la producción de escorrentía en función de los cambios de usos se facilita si comparamos, mediante tablas cruzadas, los mapas dinámicos de usos del suelo y los mapas dinámicos de variación en la producción de escorrentía. Así, es posible analizar el efecto que los distintos cambios de usos del suelo experimentados en cada zona han tenido respecto al aumento o disminución en la producción de escorrentía. La tablas 3 y 4, muestran los resultados obtenidos para el conjunto del período 1956-1998 para las cuencas de Poyo y Carraixet respectivamente. Solamente se han recogido en la tabla aquellos cambios de uso que han afectado a una superficie de terreno superior a 1 km², por lo tanto bajo el epígrafe «otros cambios» se engloban variaciones de uso de suelo que afectan individualmente a superficies reducidas. La última columna de la tabla permite identificar, porcentualmente, la superficie afectada por cada uno de los cambios de uso de suelo mientras que la última fila nos indica la superficie afectada por el incremento o descenso en la producción de escorrentía según intervalos de 15 mm.

En la **cuenca de Poyo** (tabla 3), los cambios más importantes son el abandono del secano y su conversión a cítricos o a matorral. Un 17.2 % de la superficie total de la cuenca se convierte de secano a cítricos (que requieren suelos más profundos y acondicionados) lo que tiene como consecuencia un descenso en la producción de escorrentía, fundamentalmente con valores bajos (menos del 15 mm) y en el rango de 15 - 30 mm. El 5.7 % de la cuenca son secanos abandonados transformados espontáneamente en matorral que han producido también un descenso en la producción de escorrentía. Aproximadamente el 5 % de la cuenca son zonas de huerta que pasan a cítricos donde también se produce un descenso en la producción de escorrentía. Por el contrario, las zonas de incremento en la producción de escorrentía corresponden, en su mayor parte, a las transformaciones de secano, huerta, matorral o cítricos a suelo urbanizado, provocando incrementos de escorrentía de gran magnitud, generalmente superiores a 30 mm.

En la **cuenca de Carraixet** (tabla 4) los cambios de uso más importantes han sido la degradación de zonas boscosas a matorral (15.3 %) en la cabecera de la cuenca que han tenido como consecuencia un incremento en la producción de escorrentía en el rango de 15-30 mm fundamentalmente. Al igual que en Poyo, también destacan el abandono de secanos sustituidos ya sea por plantaciones de cítricos (14.5 %) o por matorrales (8.9 %) lo que supone el descenso en la producción de escorrentía en el rango de 0 a 30 mm, así como las

Tabla 3
CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO Y PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DE POYO EN EL PERÍODO 1956-1998

USOS DEL SUELO		PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA RAMBLA DE POYO							
1956	1998	sin cambio	disminuye			aumenta			total
	sin cambios	1-15 mm	15-30 mm	< 30 mm	1-15 mm	15-30 mm	> 30 mm		
		58.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.3	
Viñedo-secano arbolado	Citricos-frutales regadio	0.0	10.6	5.9	0.7	0.0	0.0	17.2	
Viñedo-secano arbolado	Matorral mediterráneo	0.0	0.1	5.4	0.1	0.0	0.0	5.7	
Viñedo-secano arbolado	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.5	4.6	
Huerta-arrozal	Citricos-frutales regadio	0.0	0.4	2.3	1.9	0.0	0.0	4.6	
Huerta-arrozal	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.8	1.8	
Matorral mediterráneo	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	1.5	
Citricos-frutales regadio	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2	
Matorral mediterráneo	Viñedo-secano arbolado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	
otros cambios		0.2	0.3	0.8	0.8	0.6	0.7	4.2	
total		58.5	11.4	14.4	3.6	0.6	3.7	100.0	

Tabla 4
CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO Y PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DE CARRAIXET EN EL PERÍODO 1956-1998

USOS DEL SUELO		PRODUCCIÓN DE ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DE CARRAIXET										
1956	1998	sin cambio	disminuye					aumenta				
			0-15mm	15-30 mm	< 30 mm	0-15 mm	15-30 mm	> 30 mm	total			
	sin cambios	37.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.5	
Bosque coníferas	Matorral mediterráneo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Viñedo-secano arbolado	Citricos-frutales regadio	0.0	5.5	8.8	0.2	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	15.3	
Viñedo-secano arbolado	Matorral mediterráneo	0.6	0.3	7.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	
Huerta-arrozal	Citricos-frutales regadio	0.0	1.0	3.6	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.9	
Viñedo-secano arbolado	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	5.6	
Huerta-arrozal	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.7	
Viñedo-secano arbolado	Bosque coníferas	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	
Matorral mediterráneo	Urbano	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.7	
Bosque coníferas	Viñedo-secano arbolado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.4	
Matorral mediterráneo	Citricos-frutales regadio	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	1.4	
otros cambios		0.2	0.2	0.4	0.6	0.4	0.4	0.9	2.2	4.9	4.9	
total		39.0	7.0	20.9	3.7	0.8	13.4	15.1	100.0			

transformaciones de huerta a cítricos (5.6 %) con consecuencias en el mismo sentido. Finalmente, y al igual que en la cuenca de Poyo, destacan las transformaciones de secano, huerta y matorral a superficies urbanas como las zonas donde se detecta un aumento en la producción de escorrentía de mayor intensidad (> 30 mm).

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Este trabajo analiza el efecto de los cambios recientes en los usos del suelo en la génesis de escorrentía utilizando un SIG. Para el cálculo de la producción de escorrentía se ha utilizado el método desarrollado por el S.C.S. modificado por Témez (1978) que combina los mapas de pendientes, usos del suelo y grupo hidrológico del suelo. Se ha aplicado una adaptación del método propuesta por Camarasa *et al.* (2006) basado en la interpretación hidrogeomorfológica de la cuenca para la estimación del grupo hidrológico de suelo. El empleo de los SIG facilita el cálculo del umbral de escorrentía y su análisis dinámico ya que este parámetro varía en función de los cambios en los usos del suelo. El estudio analiza la evolución espacio-temporal de la producción de escorrentía.

Los resultados obtenidos muestran que existe una variabilidad espacial y temporal importante en la dinámica de producción de escorrentía, de forma que los valores promedio obtenidos para el conjunto de una cuenca no son buenos indicadores ya que enmascaran comportamientos diferentes según los sectores y dependiendo del período de tiempo considerado. Así, en la cuenca de Poyo, la producción de escorrentía para el período 1956-1998 se muestra estable si tomamos los valores globales de la cuenca calculados en las tres fechas consideradas. Sin embargo, cada uno de los mapas dinámicos obtenidos muestran diferentes tendencias según los sectores de la cuenca y según el período de tiempo analizado. Entre 1956 y 1991 se observa una tendencia a disminuir la producción de escorrentía en la cabecera debido a las repoblaciones forestales de los años 70, sin embargo, en la década de 1991-98 se invierte la tendencia y se observa un incremento de la producción de escorrentía por la degradación de las masas forestales debido a los incendios. Analizando el período globalmente (1956-1998) estas variaciones pasan inadvertidas puesto que la evolución global indica una situación estable.

Los cambios de usos del suelo que mayores implicaciones tienen desde el punto de vista de producción de escorrentía son la extensión de la superficie ocupada por cítricos y por matorral que produce descenso en la producción de escorrentía, el incremento de la superficie urbanizada que tiene como consecuencia el incremento en la producción de escorrentía, y la degradación de las masas forestales a matorral que provocan un incremento en la producción de escorrentía.

Tanto en la cuenca de Poyo como de Carraixet los mayores incrementos en la producción de escorrentía, con valores superiores a 30 mm, corresponden a transformaciones de usos (secano, huerta, bosque o matorral) a suelo urbanizado. Si bien porcentualmente el incremento de la superficie urbanizada no constituye la transformación más importante en ninguna de las cuencas, sí que se constata que en mm de escorrentía estos cambios suponen los mayores incrementos (superiores a 30 mm). Las transformaciones a cítricos o matorral, que suponen un descenso en la producción de escorrentía, lo hacen con valores menores (entre 0 y 30 mm).

En la cuenca de Carraixet se ha constatado una tendencia general al incremento de la producción de escorrentía ya que el umbral de escorrentía desciende, de 68.4 mm en 1956 a 63.6 mm en 1998. Este incremento se debe, por un lado a la degradación de las zonas boscosas de la cabecera de la cuenca, y por otro al incremento del suelo urbanizado que tiene lugar, sobre todo, en la parte baja de la cuenca.

Este trabajo pone de manifiesto que la variabilidad espacial en los cambios de usos de suelo produce cambios en la producción de escorrentía (incremento o descenso) que pueden quedar compensados para el conjunto de la cuenca pero que generan diferencias según los sectores. Es, por ello, importante disponer de una cartografía dinámica que registre y actualice las transformaciones de usos y sus consecuencias en la producción de escorrentía distinguiendo entre los sectores de génesis de escorrentía (cuenca alta) y los sectores donde predomina el riesgo de inundación (llanos aluviales). Los SIG proporcionan herramientas de análisis muy importantes puesto que permiten actualizar los cambios de usos y calcular su implicación en la producción de escorrentía.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto del Plan Nacional I+D+I «Riesgo de Inundación en Ramblas Mediterráneas. Umbrales hidrogeomorfológicos de crecida (RIU-MED), REN2003-07171, financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia, cofinanciado por fondos FEDER. Deseamos agradecer especialmente la colaboración del Dr. J. A. Pascual al proporcionarnos los mapas digitales de usos del suelo, litológicos y de suelos utilizados en este estudio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALMOROX, J.; HONTORIA, CH. y SAA, A. (2001): «Utilización de los Sistemas de Información Geográfica para la estimación automática de la escorrentía directa», *Ingeniería del Agua*, vol. 8, (3), págs. 295-304.
- BESCÓS, A. y CAMARASA, A.M. (2000): «Elaboración de cartografía de zonas inundables. Aplicación al llano de inundación del río Arga (Navarra)», *Serie Geográfica*, n^o 9. Dpto. Geografía, Universidad de Alcalá, págs. 219-236.
- BHUYAN, S.J.; MANKIN, K.R. y KOELLIKER, J.K. (2003): «Watershed-Scale AMC selection for hydrologic Modeling», *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 46 (2), págs. 303-310.
- BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J.I., LORENTE, A. SEEGER, M. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2003): «Assessing the effect of climate oscillations and land-use on streamflow in the central Spanish Pyrenees», *Ambio* n^o 32, págs. 283-286.
- BOSCH, J.M. y HEWLETT, J.A. (1982): «A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration», *Journal of Hydrology*, n^o 55, págs. 3-23.
- CAMARASA, A. M. (1995): *Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas: Barranc del Carraixet y Rambla de Poyo*. MOPT-Confederación Hidrográfica del Júcar, 252 pp.

- CAMARASA, A.M. y GARCÍA-BARTUAL, R. (1991): «Estimación del hidrograma de crecida a partir de un modelo conceptual de base geomorfológica», *Tecnología del agua*, nº 81, págs. 49-55.
- CAMARASA, A.M. y SEGURA (1996): «Balances hídricos de crecidas en ramblas mediterráneas: pérdidas hídricas». En Marzol, M.V., Dorta, P., Valladares, P. (eds.): *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*, págs. 235-246.
- CAMARASA, A.M.; BESCÓS, A. y SANCHO COMÍNS, J. (1998): «Evaluación del riesgo de erosión en relación con la dinámica ocupacional del suelo a partir de sistemas de información geográfica», en *Investigaciones Recientes de la Geomorfología Española*, págs. 579-592.
- CAMARASA, A.M. y SEGURA, F. (2001): «Flood events in Mediterranean ephemeral streams (ramblas) in Valencia region, Spain», *Catena*, nº 45, págs. 229-249.
- CAMARASA, A.M.; SALAS, J. y CHUVIECO, E. (2001): «Información geográfica y riesgos naturales», *El Campo de las Ciencias y las Artes*, BBVA, págs. 103-136.
- CAMARASA, A.M., LÓPEZ GARCÍA, M.J. y PASCUAL, J.A. (2006): «Análisis mediante SIG de los parámetros de producción de escorrentía», En: *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*, Universidad de Granada, Granada, págs. 49-63.
- CUENA, J. (1996): «El tratamiento de emergencias por inundación mediante sistemas de inteligencia artificial integrados en sistemas de información», En: *Curso sobre métodos para el cálculo hidrológico de crecidas*. CEDEX, MOPTMA (sin paginar).
- DEFRIES, R. y K.N. ESHLEMAN (2004): «Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future», *Hydrological processes* nº 18, págs. 2183-2186.
- DOMINGO, C. Y. LÓPEZ GARCÍA, M.J. (2004): «Castelló de la Plana, 1950-2000: La transformació de un paisatge», En: *Historia, clima y paisaje*, Universitat de València, Universidad Autónoma de Madrid, Universitat d'Alacant, Valencia, págs. 457- 468.
- FERRER POLO, J. (1993): *Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de Avenidas*, CEDEX, monografía nº 37, 76 pp.
- FERRER, M. (2002): *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva del modelo hidrológico del SCS: datos de perfiles de suelos y teledetección*, Tesis doctoral inédita, Universidad de Salamanca, Departamento de Geografía.
- FERRER, M.; RODRÍGUEZ, J. y ESTRELA, T. (1995): «Generación automática del Número de Curva con Sistemas de información Geográfica», *Ingeniería del Agua*, vol. 2, nº 4, págs. 43-58.
- FRANCÉS, F. y BENITO, J. (1995): «La modelación distribuida con pocos parámetros de las crecidas», *Ingeniería del Agua*, vol. 2, nº 4, págs. 7-24.
- FRANCÉS, F.; MARCO, J.B. y LLORENS, V. (2000): «Un ejemplo de análisis regional del riesgo de inundación en el marco de la planificación territorial», *Serie Geográfica*, nº 9. Depto. Geografía, Universidad de Alcalá, págs. 237-249
- GARCÍA RUÍZ, J.M., ARNÁEZ, J., BEGUERÍA, S., SEEGER, M., MARTÍ-BONO, C., REGÜÉS, D., LANA-RENAULT, N. y WHITE, S. (2005): «Runoff generation in an intensively disturbed, abandoned farmland catchment, Central Spanish Pyrenees», *Catena*, nº 59, págs. 79-92.
- GRAFF, W.L. (1988): *Fluvial Processes in dryland river*, Berlin, 354 pp.
- HJELMFELT, A.T. (1991): «Investigation of Curve Number Procedure», *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 117, nº 6, págs. 725-737.

- HORNBECK, J.W., PIERCE, R.S. y FEDERER, C.A. (1970): «Streamflow changes after forest clearing in New England», *Water Resources Research*, n^o 6, págs. 1124-1132.
- LÓPEZ-MORENO, J.I., BEGUERÍA, S. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2006): «Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change?», *Hydrological Sciences*, n^o 51, págs. 1039-1050.
- MATEU BELLES, J.F. (1989): «Rios y ramblas mediterráneos». En: *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*. Instituto universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del mediterráneo, págs. 133-150.
- MATEU, J. (1982): *El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral*, Universitat de Valencia, 285 pp.
- MEIJERINK, A.M.J.; BROUWER, H.A.M.; MANNAERTS, C.M. y VALENZUELA, C.R. (1994): *Introduction to the use of Geographic Information System for practical hydrology*, UNESCO-International Hydrological Program & International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Publicación n^o 23. Holanda.
- MYELES, E.W., WILLIAMS, A., TERNAN, L. y DOWD, J. (2002): «Runoff generation in relation to soil moisture patterns in a small Dartmoor catchment, Southwest England», *Hydrological Processes*, n^o 17, págs. 251-264.
- OLIVARES, A. (2004): «Modelación hidrológica pseudo-distribuída del Barranc del Carraixet: aplicación al episodio de octubre de 2000», *Cuadernos de Geografía*, n^o 76, págs. 155-182.
- OSBORN, H.B. y LANE, L.J. (1969): «Precipitation-runoff relation for very small semiarid rangeland watersheds», *Water Resource Research*, n^o 5, (2), págs. 419-425.
- PASCUAL, J.A. (2001): *Cambios de usos del suelo y régimen hídrico en la rambla de Poyo y el barranc de Carraixet*. Tesis doctoral, Universitat de València, 307 pp.
- PASCUAL, J.A. (2004): «Dinámica reciente de usos del suelo en el continuo metropolitano de Valencia (1956-1998)», *Cuadernos de Geografía*, n^o 76, págs.183-202.
- PERRONE, J. y MADRAMOOTOO, C.A. (1998): «Improved curve number selection for runoff prediction», *Journal Civil Engineers*, n^o 25, págs. 728-734.
- SEGURA, F. (1990): *Las ramblas valencianas*, Valencia, Universitat de Valencia, 229 pp.
- SILVEIRA, L.; CHARBONNIER, J. y GENTA, J.L. (2000): «The antecedent soil moisture condition of the curve number procedure», *Hydrological Sciences Journal*, n^o 45 (1), págs. 3-12.
- SIMANTON, J.R.; HAWKINS, M.; MOHSENI-SARAVI, M. y RENARD, K.G. (1996): «Runoff Curve Number variation with drainage area, Walnut Gulch, Arizona», *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 39 (4), págs. 1391-1394.
- SULLIVAN, A., TERNAN, J.L. y WILLIAMS, A.G. (2004): «Land use change and hydrological response in the Camel catchment, Cornwall», *Applied Geography* n^o 24, págs. 119-137.
- TÉMEZ, J. R. (1978): *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU Dirección General de Carreteras, 113 pp.
- TÉMEZ, J.R. (1991): «Extended and improved Rational Method. Version of the Highways Administration of Spain», *Proc. XXIV Congress*, vol. A, págs. 33-40.
- URIOS, J.I. (2004): «Análisis del régimen de incendios forestales en los montes de Portaceli durante el siglo XX (Serra, Valencia)», *Cuadernos de Geografía*, n^o 76, págs. 219-238.
- US Soil Conservation Service (1972): *National Engineering Handbook*, sec 4, sup. A, Hydrology.