

# PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA ADAPTACIÓN DEL PARÁMETRO DEL NÚMERO DE CURVA A LAS NUEVAS FUENTES DE DATOS

MONTSERRAT FERRER JULIA, JAVIER BLANCO, JOAQUÍN RAMÍREZ

Tecnosylva  
Pol.Ind. León  
CEEI, 24231 Onzonilla

## RESUMEN

El parámetro del  $P_0$  fue una adaptación del número de curva del SCS en España que hizo (1), teniendo en cuenta por un lado las características físicas del territorio (lo que supuso un cambio en los valores del número de curva), y, por otro, la disponibilidad de datos del momento. En los últimos años este número de datos ha incrementado enormemente, lo que ha supuesto que muchos hidrólogos tengan dudas respecto a las equivalencias que deben establecerse entre las nuevas clases de las variables que definen el parámetro y las originales. A continuación se propone una adaptación del número de curva a las nuevas fuentes de datos, en concreto a la nueva cartografía de usos de suelo. Debido a la amplia cobertura de la leyenda utilizada en esta temática en el *Proyecto Land Cover Corine* (CLC), no sólo en Europa sino en países de Latinoamérica, y a su continuidad temporal, en este artículo se propone una nueva tabla del número de curva en función de las clases de usos de suelo del CLC-2000 y de las variaciones propuestas para el  $P_0$ .

## 1. INTRODUCCIÓN

El modelo del número de curva es un modelo desarrollado por el *Soil Conservation Service* (SCS, actualmente *Natural Resources Conservation Service* - NRCS) de Estados Unidos durante los años 50 para su aplicación por todo el país (2). Su objetivo era estimar la escorrentía en pequeñas cuencas agrícolas con unas condiciones de cobertura y tipo de suelo determinados, y así analizar la influencia de los tratamientos agrícolas y cambios de uso del suelo (3). Posteriormente se desarrolló su aplicación también para áreas urbanas (2). En ambos casos se modelizó la pérdida de infiltración considerando únicamente los procesos que la controlan en la superficie, sin tener en cuenta los procesos de vertiente que controlan el flujo subsuperficial (4), y se hizo de forma aglada, obteniendo las pérdidas totales por infiltración de un evento.

En España la aplicación del número de curva se ha extendido bajo la variación que se conoce por el parámetro del umbral de escorrentía ( $P_0$ )(1), que en términos del SCS se corresponde con la abstracción inicial. Puesto que

$$S = \frac{P_0}{0.2} \quad (1)$$

sustituyendo la ecuación 1 en la función producción (P-Q) del SCS, (1) obtuvo la siguiente relación entre el parámetro  $P_0$  (expresado en mm) y el número de curva:

$$P_0 = 0.2S = 0.2 \left( \frac{25400}{NC} - 254 \right) = \frac{5080}{NC} - 50.8 \quad (2)$$

por lo que a partir de las tablas del número de curva puede obtenerse el  $P_0$  y viceversa.

La novedad que tiene esta adaptación del número de curva es precisamente la tabla que define el parámetro. En ella (1) incorporó dos tipos de variaciones: las primeras fueron una adaptación de las variables que requería el parámetro del número de curva a los datos disponibles en esa época en España, lo que facilitó enormemente su uso; las segundas fueron un cambio en algunos valores del propio parámetro.

Para adaptar las variables a los datos existentes, (1) eliminó la variable de condición hidrológica (al igual que otros autores han hecho posteriormente, como (5)) y estableció las siguientes equivalencias:

- *condiciones hidrológicas pobres* del SCS a la práctica de cultivo *máxima pendiente*, y
- *condiciones hidrológicas buenas* del SCS a la práctica de cultivo *siguiendo las curvas de nivel*

Asimismo, añadió la variable pendiente, clasificándola en dos grupos: aquellas áreas con pendientes  $< 3\%$  y aquellas con pendientes  $\geq 3\%$ . Esta variable equivalía en los cultivos agrícolas a la práctica de cultivo “aterrazamiento” descrita en las tablas del número de curva del SCS (pendientes  $< 3\%$  se consideraron cultivos en terrazas), mientras que en el caso de las praderas, las pendientes  $< 3\%$  equivalían a la clase de praderas del SCS que seguían las curvas de nivel. Así pues, la definición del parámetro  $P_0$  es función de las siguientes variables: el uso del suelo, el tipo de práctica con la que se cultiva, la pendiente del terreno, el grupo hidrológico de suelo y las condiciones de humedad antecedente del suelo.

Las variaciones en los valores del propio parámetro en algunos casos son muy pequeñas, de una o dos unidades, lo que cabe suponer que pudo deberse a (i) el redondeo de la conversión de valores resultante de la ecuación 2 y (ii) a que dicha ecuación se aplicó en muchas ocasiones generalizándola de la siguiente forma

$$P_0 = \frac{5000}{NC} - 50 \quad (2)$$

Sin embargo, en otros casos las variaciones en los valores del parámetro que (1) realizó son importantes. Es el caso de las praderas, algunos tipos de masas forestales y plantaciones regulares de aprovechamiento forestal. Estas variaciones se introdujeron debido a que los valores del número de curva del (6) eran demasiado bajos para poderse considerar reales. Asimismo, incorporó nuevos usos de suelo, como *rocas impermeables* y *rocas permeables*.

## **2. MÉTODO PARA ACTUALIZACIÓN DE LOS USOS DE SUELO EN LA DEFINICIÓN DEL $P_0$**

Si bien el parámetro del umbral de escorrentía tal y como fue concebido ha cumplido el objetivo para el que fue ideado, en la actualidad, dadas las nuevas fuentes de datos disponibles, debería replantearse estableciéndose nuevas equivalencias entre sus variables y los nuevos datos existentes. Tanto la pendiente como los grupos hidrológicos de suelo ya han sido analizados

desde esta perspectiva por (7) y (8). Falta entonces analizar las equivalencias de los usos de suelo con las nuevas cartografías y revisar la definición de la variable referente al estado de humedad del suelo. El presente artículo se va a centrar en el primero de estos objetivos.

## 2.1 Usos de suelo derivados del proyecto CORINE Land Cover

En los últimos años, la cartografía de usos de suelo de la Unión Europea ha realizado un importante avance con la puesta en marcha del Proyecto *Corine Land Cover (CLC)*. Su objetivo es la elaboración a escala 1:100.000 de un mapa con tres niveles de detalle (este tercer nivel de 44 clases homogéneas) para todo el territorio de la Unión Europea y con una revisión cada 10 años. Esto ha supuesto que en la actualidad se disponga de una cartografía a dicha escala con datos de ~1990 y de ~2000. En España, esta cartografía se ha ampliado hasta una jerarquía de 5 niveles, lo que ha supuesto que en el último mapa se trabaje con 85 clases distintas de usos de suelo. Este mayor detalle facilita la obtención del umbral de escorrentía.

El establecimiento de equivalencias entre usos de suelo de la cartografía CORINE y el  $P_0$  no es nuevo. En España, (9) ya lo realizó utilizando la cartografía de CLC-1990. Sin embargo, estas equivalencias presentan lagunas al no haberse incorporado los nuevos usos de suelo que estableció (2), especialmente los usos urbanos, así como algunos valores de (5). Asimismo, con la nueva cartografía de CLC-2000 se dispone de una descripción mucha más detallada de cada una de las clases de uso de suelo (10), lo que permite mejorar las equivalencias. En la tabla 1 se proponen estas nuevas equivalencias que, aunque analizadas desde la perspectiva de los usos de suelo en España, dada la amplia difusión que tiene el método del número de curva, pueden ser orientativas para el resto de los países cuya cartografía se base en la leyenda del CLC-2000.

Los usos de suelo de CLC-2000 utilizados en la tabla 1 presentan dos niveles de detalle, 3 y 5. En ambos casos, existen clases a las que se les han asignado equivalencias distintas dado que bajo una misma clase se dan usos con comportamientos hidrológicos muy distintos, por lo que para obtener un valor correcto del número de curva deberá conocerse el área de estudio. En el caso del nivel 3, normalmente se le ha asignado como equivalencia la clase mayoritaria que existe en España. Sin embargo, algunas clases (especialmente las agrícolas) pueden ser muy dispares por lo que se sugiere que la equivalencia se realice en cada zona teniendo en cuenta las equivalencias de los usos de suelo del nivel 5.

**Tabla 1.** Equivalencias de usos entre la leyenda del mapa de usos de suelo CLC-2000 y los usos de suelo utilizados para definir  $P_0$

Código	Uso de suelo de CLC-2000	Usos de suelo $P_0$
11100	Tejido urbano continuo	Calles y carreteras pavimentadas
11200	Tejido urbano discontinuo	Area urbana con cobertura herbácea <50%
11200	Urbanizaciones	Area urbana con cobertura herbácea <50%
11210	Estructura urbana abierta	Area urbana con cobertura herbácea <50%
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas	Area urbana con cobertura herbácea <50%
12100	Zonas industriales y comerciales	Zonas comerciales y de negocios
12100	Granjas agrícolas	Area urbana con cobertura herbácea <50%
12110	Zonas industriales	Zonas industriales
12120	Grandes superficies de equipamientos y servicios	Zonas comerciales y de negocios
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	Calles y carreteras pavimentadas
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados	Calles y carreteras pavimentadas

<b>Código</b>	<b>Uso de suelo de CLC-2000</b>	<b>Usos de suelo <math>P_0</math></b>
12220	Complejos ferroviarios	Zona industrial
12300	Zonas portuarias	Calles y carreteras pavimentadas
12400	Aeropuertos	Area urbana con cobertura herbácea <50%
13100	Zonas de extracción minera	Gravas
13200	Escombreras y vertederos	Basuras
13300	Zonas de construcción	Area urbana con cobertura herbácea <50%
14100	Zonas verdes urbanas	Area urbana con cobertura herbácea entre 50-75%
14200	Instalaciones deportivas y recreativas	Area urbana con cobertura herbácea >75%
14210	Campos de golf	Area urbana con cobertura herbácea >75%
14220	Resto de instalaciones deportivas y recreativas	Area urbana con cobertura herbácea entre 50-75%
21100	Tierras de labor en secano	Cereales de invierno
21100	Tierras de labor en secano	Area impermeable
21100	Tierras de labor en secano	Cultivos en hilera
21100	Tierras abandonadas	Barbecho
21200	Terrenos regados permanentemente	Rotación de cultivos densos
21210	Cultivos herbáceos en regadío	Rotación de cultivos densos
21220	Otras zonas de irrigación	Area impermeable
21300	Arrozales	Rotación de cultivos densos
22100	Viñedos	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22110	Viñedos en secano	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22120	Viñedos en regadío	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22200	Frutales y plantaciones de bayas	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
22210	Frutales en secano	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22220	Frutales en regadío	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
22221	Cítricos	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
22222	Frutales tropicales	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
22223	Otros frutales en regadío	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
22300	Olivares	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22310	Olivares en secano	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
22320	Olivares en regadío	Plantación regular de aprovechamiento forestal pobre
23100	Prados y praderas	Pradera buena
23100	Pastos en tierras abandonadas	Pradera pobre
23100	Prados arbolados	Pradera buena
24110	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano	Combinación de árboles con vegetación herbácea pobre
24120	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío	Combinación de árboles con vegetación herbácea buena
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	Rotación de cultivos pobres
24212	Mosaico de cultivos permanentes en secano	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre
24213	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano	Combinación de árboles con vegetación herbácea pobre
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	Rotación de cultivos densos

<b>Código</b>	<b>Uso de suelo de CLC-2000</b>	<b>Usos de suelo <math>P_0</math></b>
24222	Mosaico de cultivos permanentes en regadío	Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal medio
24223	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío	Combinación de árboles con vegetación herbácea buena
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío	Rotación de cultivos mixtos
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	Rotación de cultivos pobres
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	Rotación de cultivos densos
24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	Pradera buena
24400	Sistemas agro-forestales	Pradera media
24410	Pastizales, prados o praderas con arbolado adhesionado	Pradera media
24420	Cultivos agrícolas con arbolado adhesionado	Pradera media
31100	Bosques de frondosas	Masa forestal espesa
31110	Perennifolias	Masa forestal espesa
31120	Caducifolias y marcescentes	Masa forestal espesa
31130	Otras frondosas de plantación	Plantación regular de aprovechamiento forestal medio
31140	Mezclas de frondosas	Masa forestal espesa
31150	Bosques de ribera	Masa forestal media
31160	Laurisilva macaronésica	Masa forestal espesa
31200	Bosques de coníferas	Masa forestal espesa
31210	Bosques de coníferas de hojas aciculares	Masa forestal espesa
31220	Bosques de coníferas de hojas de tipo cupresáceo	Masa forestal espesa
31300	Bosque mixto	Masa forestal espesa
32100	Pastizales naturales	Pradera media
32100	Prados alpinos	Pradera buena
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas	Pradera buena
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos	Pradera buena
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos	Pradera pobre
32121	Otros pastizales templado oceánicos	Pradera media
32122	Otros pastizales mediterráneos	Pradera pobre
32200	Landas y matorrales mesófilas	Masa forestal media
32210	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila	Masa forestal media
32220	Fayal-brezal macaronésico	Masa forestal clara
32300	Vegetación esclerófila	Masa forestal clara
32311	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso	Masa forestal media
32312	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos	Masa forestal clara
32320	Matorrales xerófilos macaronésicos	Masa forestal muy clara
32400	Matorral boscoso de transición	Masa forestal media
32400	Claros de bosques	Masa forestal muy clara
32400	Zonas empantanadas fijas o en transición	Masa forestal clara
32410	Matorral boscoso de frondosas	Masa forestal media
32420	Matorral boscoso de coníferas	Masa forestal media
32430	Matorral boscoso de bosque mixto	Masa forestal media
33110	Playas y dunas	Playas y dunas
33120	Ramblas con poca o sin vegetación	Barbecho
33200	Roquedo	Afloramiento rocoso impermeable
33210	Rocas desnudas con fuerte pendiente	Afloramiento rocoso impermeable
33220	Afloramientos rocosos y canchales	Afloramiento rocoso impermeable
33220	Afloramientos rocosos y canchales	Afloramiento rocoso permeable
33230	Coladas lávicas cuaternarias	Afloramiento rocoso permeable

Código	Uso de suelo de CLC-2000	Usos de suelo $P_0$
33300	Espacios con vegetación escasa	Pradera pobre
33310	Xerosestepa subdesértica	Pradera pobre
33320	Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión	Barbecho
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	Pradera pobre
33400	Zonas quemadas	Barbecho
33500	Glaciares y nieves permanentes	Superficies de agua
41100	Humedales y zonas pantanosas	Afloramiento rocoso impermeables
41200	Turberas y prados turbosos	Pradera muy buena
42100	Marismas	Áreas impermeables
42200	Salinas	Salinas
42300	Zonas llanas intermareales	Zona llana intermareal
51100	Cursos de agua	Superficies de agua
51110	Ríos y cauces naturales	Superficies de agua
51120	Canales artificiales	Superficies de agua
51210	Lagos y lagunas	Superficies de agua
51210	Lagos y lagunas	Almacenamiento de agua
51120	Embalses	Superficies de agua
51120	Embalses	Almacenamiento de agua
52100	Lagunas costeras	Superficies de agua
52200	Estuarios	Superficies de agua
52300	Mares y océanos	Superficies de agua

En algunos casos, las equivalencias que se han establecido no son tanto por la correspondencia entre los usos sino por la correspondencia entre los comportamientos hidrológicos que tienen ambos usos. A continuación se describen las más conflictivas:

- *Complejos ferroviarios*. Se ha establecido la equivalencia con *zona industrial* porque de todas las situaciones urbanas que describe (2) esta es la que tiene una cobertura media impermeable más similar.
- *Zona de construcción*. Se ha considerado que tiene similitudes con las *áreas urbanas con cobertura herbácea menor del 50%* al ser zonas donde se ha desbrozado la vegetación y la tierra se ha compactado, además de estar próximas a calles pavimentadas y carreteras.
- *Tierras de labor en seco*. Bajo esta categoría se engloban cultivos con comportamientos hidrológicos distintos:
  - los cereales cuya equivalencia sería la clase *cereales de invierno*
  - las hortalizas, que se corresponderían con *cultivos en hilera*
  - los viveros, que se corresponderían con una nueva clase *áreas impermeables* cuyo valor sería **0** para cualquier tipo de suelo

Esto significa que dependiendo del área de estudio, se debe establecer la equivalencia según sea el uso mayoritario.

- *Tierras abandonadas*. Se considera que este uso es equivalente al *barbecho*, pero a diferencia de este último, no hay unos campos que sigan la máxima pendiente o las curvas de nivel. Por esta razón, únicamente se van a diferenciar las áreas de pendiente  $<3\%$  y  $\geq 3\%$ . Los valores de esta última clase serán el promedio de los números de curva que diferencian el *barbecho* según la práctica de cultivo.
- *Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en seco*. Se ha equiparado esta clase a la *rotación de cultivos pobres*, no tanto porque se sepa que en los cultivos anuales existe una rotación de cultivos sino porque sus valores de número de curva serían el promedio de las dos clases que componen el mosaico: los cultivos anuales en seco equivaldrían a *cereales de invierno* o *cultivos en hilera* y los prados en seco a *pradera pobre*.

- *Mosaico de cultivos mixtos en seco y regadío*. A este uso le corresponderían los valores medios de la rotación de cultivos pobres y buenos, por lo que se le ha asignado una nueva clase, *rotación de cultivos mixtos*.
- *Ramblas con poca o sin vegetación*. Equivalen a las áreas de *barbecho* con mayor escorrentía, es decir, como las áreas agrícolas en barbecho con pendientes  $\geq 3\%$  y que se aran siguiendo la máxima pendiente.
- *Playas y dunas*. Ni (2) ni (11) definieron una clase en la que pueda englobarse este uso de suelo. Únicamente lo han hecho (5), proponiendo un valor de **67** para cualquier grupo hidrológico. En la presente propuesta se va asignar este valor ya que se ajusta bien a los valores mínimos propuestos por (2) y (11).
- *Afloramientos rocosos y canchales*. Dependiendo del tipo de litología, del grado de alteración que tenga, de las fisuras, etc. será un *afloramiento de rocas permeables* o *impermeables*. Los canchales se considerarán como *permeables*. En caso de no disponer datos que permitan diferenciar una zona de otra, se asignará las condiciones mayoritarias del área de estudio.
- *Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión*. Al igual que las *ramblas con poca o sin vegetación*, este uso equivale al barbecho cuya pendiente es  $\geq 3\%$  y que se ara siguiendo la máxima pendiente.
- *Zonas quemadas*. Se aplica la misma equivalencia que la clase anterior.
- *Humedales, zonas pantanosas y marismas*. (5) consideran que estas áreas son completamente impermeables, es decir, que el valor de umbral de escorrentía que se les debería asignar es 0 ya que todo lo que precipita en ellas se convierte en escorrentía. Sin embargo, en España estas zonas no siempre están completamente saturadas, por lo que se ha considerado que se ajusta mejor a su situación los valores que (11) asignó a las áreas de *afloramiento rocoso impermeable* con pendiente  $\geq 3\%$ .
- *Turberas y prados turbosos*. Debido a su gran capacidad de absorción se considera que tienen un comportamiento de *pradera muy buena*.
- *Salinas*. Al igual que *playas y dunas*, las *salinas* carecen de valor en las tablas de número de curva del (2) y del umbral de escorrentía de (11). En el presente artículo se ha considerado que tiene un comportamiento similar al que pueden tener las *playas y dunas* por lo que se le ha asignado un valor de umbral de escorrentía de **67**, coincidiendo con el valor propuesto por (5).
- *Zonas llanas intermareales*. Estas áreas están completamente saturadas, por lo que todo lo que precipita se convierte en escorrentía, lo que significa un valor de  $P_0$  de **0**.
- *Superficies de agua*. En las superficies de agua se considera que todo lo que precipita se convierte en escorrentía por lo que el umbral de escorrentía es **0**. Únicamente esta situación varía cuando los *lagos y lagunas* son endorreicos o el *embalse* no está lleno. En este caso, el agua que precipita se almacena en estas áreas y, por tanto, el parámetro  $P_0$  que se ha de asignar es infinito, lo que se puede representar dados los valores de precipitación con un **1000**. Las lagunas costeras no se incluyen dentro de esta situación ya que suelen estar conectadas en algún punto con el mar.

A fin de facilitar el proceso de establecer equivalencias con algunos usos de suelo que presentan gran disparidad hidrológica, a continuación se propone mejorar las clases del CLC-2000 con otras fuentes de datos, como puede ser el mapa forestal.

## 2.2 Usos de suelo derivados del mapa forestal

El primer mapa forestal (MF) de España se realizó en 1985 a escala 1:200.000 y desde entonces cada 10 años se ha ido actualizando, lo que supone que existen datos de 1995 y 2005. El MF-

1995 se generó a dos escalas, 1:50.000 y 1:200.000, y se acompañó de una exhausta base de datos, tan detallada que en ocasiones es necesario realizar un proceso de reclasificación ya que es imposible trabajar con todos los datos: una leyenda de más de 5500 especies entre arbóreas, arbustivas y herbáceas, así como datos sobre el estado de crecimiento de los árboles, la fracción de cabida cubierta total (arbórea y arbustiva, *fcct*) y parcial (sólo arbórea. *fccarb*), etc. El problema es que las teselas a pesar de la escala cartográfica utilizada en general no son muy detalladas (si se compara con el CLC-2000, este último presenta mayor detalle). Asimismo se han detectado incoherencias entre los datos, por lo que se ha desestimado su uso.

La escala de trabajo del MF-2005 es 1:50.000 y a diferencia del anterior mapa presenta el detalle esperado para su escala. La base de datos asociada es menor, pero los datos están más elaborados lo que permite trabajar más fácilmente con ellos. Asimismo, no se han visto incoherencias relevantes, por lo que se ha seleccionado esta cartografía para actualizar el CLC-2000. El único problema que presenta es que sólo se detallan las teselas arbóreas, las correspondientes a matorrales se agrupan bajo un único código. Esto supone que la actualización del CLC-2000 propuesta a continuación afecta sólo a las áreas arbóreas y que las áreas de matorral son clasificadas directamente a partir de las equivalencias de la tabla 2.

La vegetación arbórea del MF-2005 puede clasificarse en tres grandes usos del parámetro del umbral de escorrentía:

- *masas forestales* cuando el campo estructura es *bosque* o cuando es una plantación de aprovechamiento regular con una fracción de cabida cubierta total de como mínimo 65%.
- *plantaciones de aprovechamiento regular* cuando el campo estructura es *bosque de plantación*
- *praderas* cuando el campo estructura es *dehesa*,

La caracterización de cada uno de estos usos se ha realizado a partir de los datos de la fracción de cabida cubierta según las normas de equivalencias que se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Reglas de definición de las masas forestales y las plantaciones regulares de aprovechamiento forestal (*fccarb* se refiere a la fracción de cabida cubierta de la masa arbórea y *fcct* a la fracción de cabida cubierta total)

Uso de suelo según $P_0$	Estructura en MF-2005	Tipo	Reglas de definición
Pradera	Dehesa	Media	$fccarb \leq 30$
		Buena	$fccarb > 30$
Plantación regular de aprovechamiento forestal	Bosque de plantación	Pobre	$fcct < 25\%$
		Media	$25 \leq fcct < 65$
Masa forestal	Bosque o bosque de plantación con $fcct \leq 65\%$	Muy clara	$fcct \leq 10\%$
		Clara	$10 < fcct \leq 30$
		Media	$30 < fcct \leq 65$
		Espesa	$65 < fcct \leq 90$
		Muy espesa	$fcct > 90$

Como se puede observar, mientras que las plantaciones y las masas forestales se caracterizan en función de la *fcct*, la pradera lo hace en función de la *fccarb*. Esto es debido a que en los dos primeros casos se considera que también interviene la cobertura de los matorrales, mientras que en la pradera es la fracción de cabida cubierta que diferencia el comportamiento hidrológico de una dehesa respecto a otra es la de los árboles. En teoría, dicha cobertura debería moverse entre los valores 5 y 20%, correspondiendo entonces con una *pradera media*, pero dado que existen bastantes anomalías se ha considerado que lo mejor era agrupar el resto de dehesas bajo la clase *pradera buena*. Los rangos utilizados en las reglas de definición de la tabla 2 son porcentajes habituales en la gestión forestal.



Asimismo, se han tenido en cuenta las teselas del MF-2005 que se mostraban como *áreas quemadas* asignándole el uso *barbecho*, tal y como se ha realizado con los datos del CLC-2000.

### 2.3 Incorporación de los datos del MF-2005 en el CLC-2000

Como se ha mencionado anteriormente, para mejorar las equivalencias con los usos de suelo del umbral de escorrentía que se han establecido a partir del mapa CLC-2000, se propone unir a este los datos del MF-2005. (12) realizaron una comparación entre los atributos de ambos mapas con una versión actualizada de 1997 del mapa CLC-1991 de Extremadura y el MF-1995. Estos autores mostraron las dificultades de unión entre estas dos cartografías al existir escasa coherencia entre sus datos, además de las dificultades propias de la unión de dos cartografías de distinta escala de trabajo. Por esta razón, para facilitar el proceso de unión a pesar de que el MF-2005 como ya se ha visto es mejor que el MF-1995, se propone trabajar en formato matricial. Se ha seleccionado como zona piloto la provincia de Zamora, en el oeste de la España peninsular (figura 1) y un tamaño de celda de 50m. Esta resolución espacial permite que las unidades mínimas cartografiadas en CLC-2000 (25 Ha) se mantengan, aunque las más pequeñas del MF-2005 desaparecen.

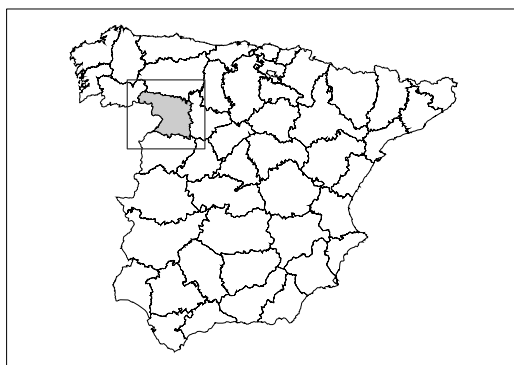


Figura 1. Localización del área piloto

Debido al detalle y a la aparente coherencia de los datos, se parte de la premisa que los datos de MF-2005 son fiables por lo que prevalecerán sobre los datos de CLC-2000. Así pues, el método propuesto de unión de ambos mapas es el siguiente:

1. Establecer equivalencias en el CLC-2000 según tabla 1.
2. Establecer equivalencias en MF-2005 según tabla 2.
3. Rasterización de los dos mapas en función del campo de usos de suelo del umbral de escorrentía.
4. Superposición de los dos mapas matriciales prevaleciendo los usos del mapa derivado del MF-2005.

De esta forma se introducen en el CLC-2000 las variaciones espaciales que las distintas masas forestales tienen.

### 2.4 La nueva tabla del parámetro del umbral de escorrentía

A partir del conjunto de equivalencias propuestas anteriormente, en la tabla 3 se presentan los nuevos valores del parámetro del umbral de escorrentía adaptados a la leyenda de usos del mapa CLC-2000 con tres niveles (que es la homogénea para el conjunto del territorio europeo) y cinco niveles. Asimismo, se han modificado los valores correspondientes a las *Praderas muy buenas*,

*Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal bueno y Masa forestal muy espesa sobre suelos del grupo hidrológico A debido al bajo valor que presentaban. Estos valores se han ajustado según las modificaciones realizadas en SCS (1986).*

**Tabla 3.** Valores del parámetro del umbral de escorrentía según los usos de suelo del CLC-2000. En los usos de suelo *N* significa que se cultiva siguiendo las curvas de nivel y *R* siguiendo la máxima pendiente. <sup>1</sup> Clases correspondientes a las praderas que para su gestión siguen las curvas de nivel (es decir, una pendiente <3%) y que fueron eliminadas en SCS (1986)

<b>CODIGO</b>	<b>Uso de suelo de CLC-2000</b>	<b>Pend</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
11100	Tejido urbano continuo		1	1	1	1
11200	Tejido urbano discontinuo		24	14	8	6
11200	Urbanizaciones		24	14	8	6
11210	Estructura urbana abierta		24	14	8	6
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas		24	14	8	6
12100	Zonas industriales y comerciales		6	4	3	3
12100	Granjas agrícolas		24	14	8	6
12110	Zonas industriales		12	7	5	4
12120	Grandes superficies de equipamientos y servicios		6	4	3	3
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados		1	1	1	1
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados		1	1	1	1
12220	Complejos ferroviarios		12	7	5	4
12300	Zonas portuarias		1	1	1	1
12400	Aeropuertos		24	14	8	6
13100	Zonas de extracción minera		16	9	6	5
13200	Escombreras y vertederos		20	11	8	6
13300	Zonas de construcción		24	14	8	6
14100	Zonas verdes urbanas		53	23	14	10
14200	Instalaciones deportivas y recreativas		79	32	18	13
14210	Campos de golf		79	32	18	13
14220	Resto de instalaciones deportivas y recreativas		53	23	14	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales) R	≥3	29	17	10	8
21100	Tierras de labor en secano (cereales) N	≥3	32	19	12	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales) R/N	<3	34	21	14	12
21100	Tierras de labor en secano (viveros)		0	0	0	0
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas) R	≥3	23	13	8	6
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas) N	≥3	25	16	11	8
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas) R/N	<3	29	19	14	11
21100	Tierras abandonadas	≥3	16	10	7	5
21100	Tierras abandonadas	<3	20	14	11	8
21200	Terrenos regados permanentemente R	≥3	37	20	12	9
21200	Terrenos regados permanentemente N	≥3	42	23	14	11
21200	Terrenos regados permanentemente R/N	<3	47	25	16	13
21210	Cultivos herbáceos en regadío R	≥3	37	20	12	9
21210	Cultivos herbáceos en regadío N	≥3	42	23	14	11
21210	Cultivos herbáceos en regadío R/N	<3	47	25	16	13
21220	Otras zonas de irrigación		0	0	0	0
21300	Arrozales		47	25	16	13
22100	Viñedos	≥3	62	26	15	10
22100	Viñedos	<3	76	34	19	14
22110	Viñedos en secano	≥3	62	26	15	10
22110	Viñedos en secano	<3	76	34	19	14
22120	Viñedos en regadío	≥3	62	26	15	10
22120	Viñedos en regadío	<3	76	34	19	14
22200	Frutales y plantaciones de bayas	≥3	79	34	19	14

22200	Frutales y plantaciones de bayas	<3	94	42	22	15
22210	Frutales en secano	≥3	62	26	15	10
22210	Frutales en secano	<3	76	34	19	14
22220	Frutales en regadío	≥3	79	34	19	14
22220	Frutales en regadío	<3	94	42	22	15
22221	Cítricos	≥3	79	34	19	14
22221	Cítricos	<3	94	42	22	15
22222	Frutales tropicales	≥3	79	34	19	14
22222	Frutales tropicales	<3	94	42	22	15
22223	Otros frutales en regadío	≥3	79	34	19	14
22223	Otros frutales en regadío	<3	94	42	22	15
22300	Olivares	≥3	62	26	15	10
22300	Olivares	<3	76	34	19	14
22310	Olivares en secano	≥3	62	26	15	10
22310	Olivares en secano	<3	76	34	19	14
22320	Olivares en regadío	≥3	62	26	15	10
22320	Olivares en regadío	<3	76	34	19	14
23100	Prados y praderas	≥3	70	32	18	13
23100	Prados y praderas <sup>1</sup>	<3	119	55	22	14
23100	Pastos en tierras abandonadas	≥3	24	14	8	6
23100	Pastos en tierras abandonadas <sup>1</sup>	<3	57	25	12	7
23100	Prados arbolados	≥3	70	32	18	13
23100	Prados arbolados <sup>1</sup>	<3	119	55	22	14
24110	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano	≥3	38	19	11	8
24110	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano	<3	67	27	16	11
24120	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío	≥3	67	27	16	11
24120	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío	<3	108	37	20	14
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano R	≥3	26	15	9	6
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano N	≥3	29	17	11	8
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano R/N	<3	30	19	13	10
24212	Mosaico de cultivos permanentes en secano	≥3	62	26	15	10
24212	Mosaico de cultivos permanentes en secano	<3	76	34	19	14
24213	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano	≥3	38	19	11	8
24213	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano	<3	67	27	16	11
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío R	≥3	37	20	12	9
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío N	≥3	42	23	14	11
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío R/N	<3	47	25	16	13
24222	Mosaico de cultivos permanentes en regadío	≥3	79	34	19	14
24222	Mosaico de cultivos permanentes en regadío	<3	94	42	22	15
24223	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío	≥3	67	27	16	11
24223	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío	<3	108	37	20	14
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío (R)	<3	31	17	10	8
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío (N)	≥3	34	20	13	10
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío (R/N)	<3	37	22	14	11
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano (R) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	≥3	26	15	9	6
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano (N) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	≥3	29	17	11	8
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano (R/N) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	<3	30	19	13	10
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío (R) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	≥3	37	20	12	9
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío (N) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	≥3	42	23	14	11
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío (R/N) con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	<3	47	25	16	13

24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	≥3	70	32	18	13
24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y semi-natural.	<3	119	55	22	14
24400	Sistemas agro-forestales	≥3	53	23	14	9
24400	Sistemas agro-forestales <sup>1</sup>	<3	79	35	17	10
24410	Pastizales, prados o praderas con arbolado adhesionado	≥3	53	23	14	9
24410	Pastizales, prados o praderas con arbolado adhesionado <sup>1</sup>	<3	79	35	17	10
24420	Cultivos agrícolas con arbolado adhesionado	≥3	53	23	14	9
24420	Cultivos agrícolas con arbolado adhesionado	<3	79	35	17	10
31100	Frondosas		90	47	31	23
31110	Perennifolias		90	47	31	23
31120	Caducifolias y marcescentes		90	47	31	23
31130	Otras frondosas de plantación	≥3	79	34	19	14
31130	Otras frondosas de plantación	<3	94	42	22	15
31140	Mezclas de frondosas		90	47	31	23
31150	Bosques de ribera		76	34	22	16
31160	Laurisilva macaronésica		90	47	31	23
31200	Bosques de coníferas		90	47	31	23
31210	Bosques de coníferas de hojas aciculares		90	47	31	23
31220	Bosques de coníferas de hojas de tipo cupresáceo		90	47	31	23
31300	Bosque mixto		90	47	31	23
32100	Pastizales naturales	≥3	53	23	14	9
32100	Pastizales naturales <sup>1</sup>	<3	79	35	17	10
32100	Prados alpinos	≥3	70	32	18	13
32100	Prados alpinos <sup>1</sup>	<3	119	55	22	14
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas	≥3	70	32	18	13
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas <sup>1</sup>	<3	119	55	22	14
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos	≥3	70	32	18	13
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos <sup>1</sup>	<3	119	55	22	14
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos	≥3	24	14	8	6
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos <sup>1</sup>	<3	57	25	12	7
32121	Otros pastizales templado oceánicos	≥3	53	23	14	9
32121	Otros pastizales templado oceánicos <sup>1</sup>	<3	79	35	17	10
32122	Otros pastizales mediterráneos	≥3	24	14	8	6
32122	Otros pastizales mediterráneos <sup>1</sup>	<3	57	25	12	7
32200	Landas y matorrales mesófilas		76	34	22	16
32210	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila		76	34	22	16
32220	Fayal-breza macaronésico		60	24	14	10
32300	Vegetación esclerófila		60	24	14	10
32311	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso		76	34	22	16
32312	Matorrales sub-arbustivos o arbustivos muy poco densos		60	24	14	10
32320	Matorrales xerófilos macaronésicos		40	17	8	5
32400	Matorral boscoso de transición		76	34	22	16
32400	Claros de bosques		40	17	8	5
32400	Zonas empantanadas fijas o en transición		60	24	14	10
32410	Matorral boscoso de frondosas		76	34	22	16
32420	Matorral boscoso de coníferas		76	34	22	16
32430	Matorral boscoso de bosque mixto		76	34	22	16
33110	Playas y dunas		152	152	152	152
33120	Ramblas con poca o sin vegetación		15	8	6	4
33200	Roquedo		2	2	2	2

33210	Rocas desnudas con fuerte pendiente		2	2	2	2
33220	Afloramientos rocosos y canchales	$\geq 3$	2	2	2	2
33220	Afloramientos rocosos y canchales	$< 3$	4	4	4	4
33220	Afloramientos rocosos y canchales	$\geq 3$	3	3	3	3
33220	Afloramientos rocosos y canchales	$< 3$	5	5	5	5
33230	Coladas lávicas cuaternarias	$\geq 3$	3	3	3	3
33230	Coladas lávicas cuaternarias	$< 3$	5	5	5	5
33300	Espacios con vegetación escasa	$\geq 3$	24	14	8	6
33300	Espacios con vegetación escasa	$< 3$	57	25	12	7
33310	Xerosesteпа subdesértica	$\geq 3$	24	14	8	6
33310	Xerosesteпа subdesértica	$< 3$	57	25	12	7
33320	Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión		15	8	6	4
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	$\geq 3$	24	14	8	6
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa	$< 3$	57	25	12	7
33400	Zonas quemadas		15	8	6	4
33500	Glaciares y nieves permanentes		0	0	0	0
41100	Humedales y zonas pantanosas		2	2	2	2
41200	Turberas y prados turbosos		248	99	25	16
42100	Marismas		2	2	2	2
42200	Salinas		152	152	152	152
42300	Zonas llanas intermareales		0	0	0	0
51100	Cursos de agua		0	0	0	0
51110	Ríos y cauces naturales		0	0	0	0
51120	Canales artificiales		0	0	0	0
51210	Lagos y lagunas		0	0	0	0
51210	Lagos y lagunas (endorreicos)		1000	1000	1000	1000
51120	Embalses		0	0	0	0
51120	Embalses (almacenamiento de agua)		1000	1000	1000	1000
52100	Lagunas costeras		0	0	0	0
52200	Estuarios		0	0	0	0
52300	Mares y océanos		0	0	0	0

### 3. RESULTADOS

Se ha obtenido el mapa del número de curva en el área de estudio mediante dos fuentes de datos distintas. La primera únicamente a partir de las equivalencias propuestas para el CLC-2000 y la segunda a partir del CLC-2000 mejorado con el MF-2005 (Figura 2 y 3). Los valores promedio que se obtienen para el conjunto de la provincia de Zamora son:

- 21, según el mapa de  $P_0$  obtenido a partir del mapa CLC-2000
- 23, según el mapa de  $P_0$  obtenido a partir de los mapas CLC-2000 y MF-2005

A partir de estos valores puede deducirse que si bien la variación no es muy elevada en el conjunto de la provincia, si el estudio se centra en las áreas donde existe una mayor masa forestal, los valores de  $P_0$  pueden ser bastante dispares. En la Figura 4 se muestra un mapa con las diferencias en los valores de  $P_0$  según sea la fuente de datos de los usos de suelo. Como puede observarse, la distribución de las diferencias sigue dos patrones espaciales distintos:

1. Existen píxeles dispersos que muestran diferencias muy elevadas en los valores de  $P_0$  de variación entre ambos mapas. Estos píxeles coinciden con los perímetros de distintos usos de suelo según el mapa CLC-2000 a los que les corresponde un valor de  $P_0$  extremo,

como son los embalses y las áreas urbanas, y que coinciden con áreas forestales en MF-2005.

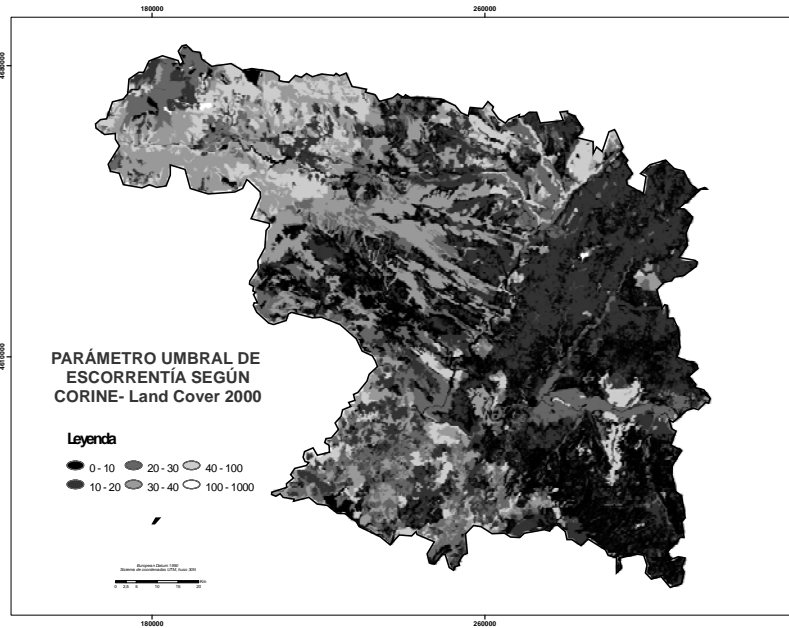


Figura 2. Mapa del parámetro  $P_0$  generado a partir de CLC-2000

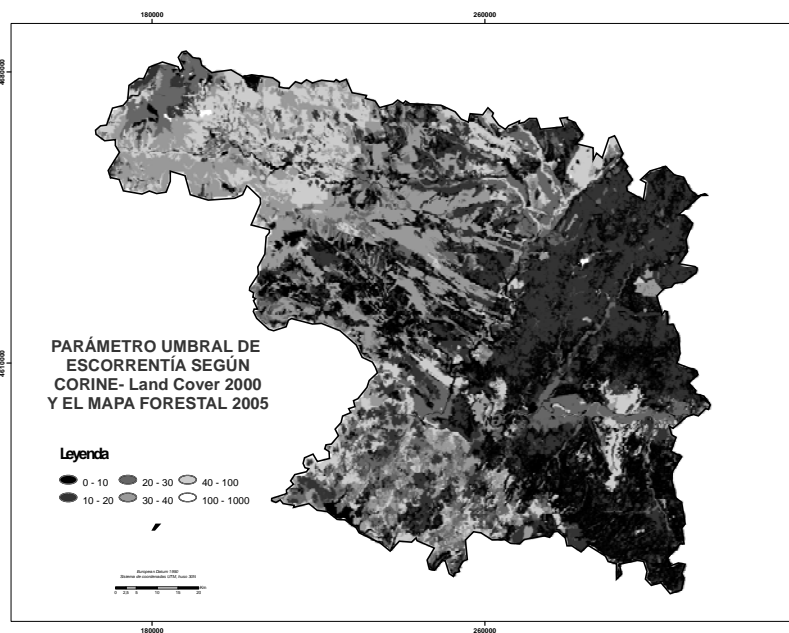
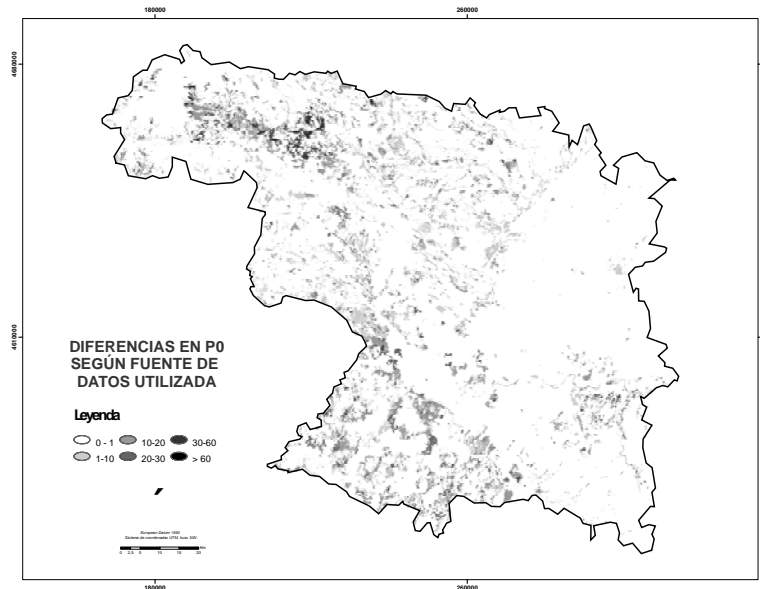


Figura 3. Mapa del parámetro  $P_0$  generado a partir de CLC-2000 y MF-2005

2. Existen áreas amplias en las que los valores de la diferencia de  $P_0$  es homogénea. Estas áreas aparecen como masas forestales tanto en el mapa CLC-2000 como en el MF-2005, lo único que debido a la mayor información que tiene este último se pueden ajustar mejor las equivalencias y por tanto, los valores del  $P_0$  varían. En general estas diferencias son mucho menores que en el caso anterior.



**Figura 4.** Diferencia entre el mapa de  $P_0$  generado a partir de CLC-2000 y el mejorado con MF-2005

## 4. CONCLUSIONES

En este artículo se presenta el método utilizado para la actualización de la tabla del parámetro de número de curva en base a la cartografía CLC-2000 y a la adaptación que realizó (11) de dicho parámetro en España. La leyenda de usos que presenta dicho mapa permite establecer equivalencias en muchos casos de forma directa con los usos presentados por (11), aunque en algunos otros las equivalencias deben establecerse de forma local, ya que bajo un mismo uso de suelo se engloban comportamientos hidrológicos muy distintos siendo los usos forestales uno de los que mayor disparidad espacial presenta. A fin de evitar estos problemas, es posible mejorar los datos de usos de suelo a partir de cartografías de mayor detalle. En España esta mejora puede realizarse con datos del mapa forestal MF-2005 lo que permite una mejora sustancial de las equivalencias en usos forestales, tanto naturales como antropizados.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Témez, J. R. (1977). Modelo matemático de transformación precipitación-aportación. *ASINEL*.
- (2) SCS (1986). Urban hydrology for small watersheds, USDA.
- (3) Hawkins, R. H. (1978). Runoff curve numbers with varying site moisture. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 104(4): 389-398.
- (4) Smith, R. E. (1997). Discussion to "Runoff curve number: has it reached maturity?". *Journal of Hydrologic Engineering*, 2(3): 145-147.
- (5) Smith, P. N. y Maidment, D. R. (1995). Hydrologic data development system. Center of Research in Water Resources, <http://www.ce.utexas.edu/prof/maidment/gishydro/docs/reports/smith/sect2.pdf>
- (6) SCS (1954). Hydrology guide for use in watershed planning, USDA.
- (7) Ferrer Juliá (2003). Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección. CEDEX, Monografía C48.
- (8) Ferrer Juliá, M, Estrela Monreal, T., Sánchez del Corral Jiménez, A, García-Meléndez, E. (2004). Constructing a saturated hydraulic conductivity map of Spain using pedotransfer functions and spatial prediction. *Geoderma*, 123: 257-277.
- (9) CEDEX (1997). Utilización de la Teledetección para la estimación del parámetro hidrológico del número de curva. *Informe Interno del Centro de Estudios Hidrográficos(CEDEX)*.
- (10) IGN (2002). CORINE 2000. Descripción de la nomenclatura del CORINE Land Cover al nivel 5. [http://www.fomento.es/MFOM/LANG\\_CASTELLANO/DIRECCIONES\\_GENERALES/INSTITUTO\\_GEOGRAFICO/Teledetecion/corine/clc2000/documentos/doc\\_tecnica/021213Nomenclatura5\\_descrip-doc.htm](http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Teledetecion/corine/clc2000/documentos/doc_tecnica/021213Nomenclatura5_descrip-doc.htm)
- (11) Témez, J. R. (1987). Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU, Dirección General de Carreteras, 111 pp.
- (12) Felicísimo, A.M. y Sánchez Gago, L.M. (2002). Thematic and spatial accuracy: a comparison of the Corine Land Cover with the Forestry Map of Spain. 5<sup>th</sup> AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma (Balearic Islands, Spain) April, 25<sup>th</sup>-27<sup>th</sup> 2002, 109:118