



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-278

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Asignación de grupo hidrológico del suelo a partir de clasificaciones edáficas de base morfométrica

GÓMEZ-SANZ, V. y ROLDAN SORIANO, M.

Grupo de Investigación ECOFESFOR. Universidad Politécnica de Madrid.
E.U.I.T. Forestal. Ciudad Universitaria s/n. 28040. Madrid.

Resumen

La determinación de escorrentía superficial mediante el método del número de curva, como paso previo a la evaluación de los caudales generados en una cuenca, necesita de la identificación de la variabilidad espacial del comportamiento superficial ante la infiltración, tarea que tradicionalmente se ha abordado asignando un grupo hidrológico a cada uno de los tipos edáficos identificados. La falta de información generalizada, homologable y de fácil acceso sobre el suelo dificulta considerablemente esta labor, en la que, a su vez, ha sido frecuente la escasa consideración de la información litológica básica, a pesar de su comprobada trascendencia en los procesos de infiltración. Con el objeto de solventar esta carencia y aportar una herramienta de grado de aproximación suficiente y fácil aplicación, se presenta en esta comunicación el desarrollo conceptual de un método de asignación de grupo hidrológico, a partir de la interpretación de la información que los elementos de diagnóstico del perfil (propiedades, materiales y horizontes) con trascendencia en el proceso de estudio utiliza el sistema de clasificación del suelo con base morfométrica auspiciado por la FAO-UNESCO.

Palabras clave

Escorrentía superficial, número de curva, infiltración, grupo de suelo de referencia, WRB-2006.

1. Introducción

Del conjunto de procesos que rigen el ciclo hidrológico, la infiltración juega un papel central, puesto que de él derivan trascendentes consecuencias en el comportamiento ecológico general del sistema atmósfera-suelo. Este proceso es especialmente complejo, estando condicionado por un conjunto de factores muy diversos (MARTÍNEZ DE AZAGRA *et al.*, 2006), que van desde las características intrínsecas de la precipitación, hasta la heterogénea disposición espacial de la superficie terrestre (con un amplio abanico de situaciones fisiográficas y de cubierta vegetal), pasando inevitablemente por el suelo como sujeto activo, dada su condición de medio poroso y absorbente.

Cuando se supera la cantidad máxima de agua que puede ser infiltrada por un suelo (capacidad de infiltración) o la tasa de infiltración (volumen de agua por unidad de tiempo incorporado al sistema suelo) es insuficiente para absorber el volumen de agua aportado, la consecuencia inmediata es la generación de escorrentía. El modelo de número de curva estima, de forma empírica, la escorrentía superficial generada por un aguacero. Desarrollado a mediados del siglo XX por el *Soil Conservation Service* (SCS) del USDA, es frecuentemente utilizado para la modelización de caudales en hidrología, con múltiples aplicaciones en el ámbito de la ingeniería, la planificación del territorio y la evaluación del impacto ambiental (HAWKINS *et al.*, 2000).

En la base del método está la clasificación el suelo respecto de su comportamiento esperado en relación a la generación de escorrentía, bajo unas condiciones homologables de cobertura vegetal y precipitación (NRCS, 1999). La clasificación original data de 1955 y es obra de Musgrave, si bien posteriormente se ha ido modificando, ajustando las definiciones y delimitaciones de las categorías consideradas en la misma (MONGIL y NAVARRO, 2012), conocidas en su conjunto como grupos hidrológicos.

Del conjunto de variables necesarias para la determinación del parámetro del número de curva, es precisamente la tarea de identificación del grupo hidrológico de los diferentes suelos incluidos en el área de estudio la que presenta más dificultades. A pesar de su uso frecuente, y a excepción de en los Estados Unidos, los grupos hidrológicos se hallan pobremente definidos y se carece de protocolos e instrucciones específicas para determinarlos (HAWKINS *et al.*, 2009). De esta forma, el proceso clasificatorio resulta una tarea basada en la interpretación subjetiva de ciertas propiedades edáficas, apoyándose en una información del suelo frecuentemente escasa, difusa y poco estandarizada. Esto ha llevado a que la mayor parte de las aplicaciones del método se hayan realizado predominantemente en base a datos litológicos exclusivamente (CAMARASA, 1995; FRANCÉS y BENITO, 1995) o a equivalencias con la conectividad hidráulica saturada (NRCS, 1993; NEARING *et al.*, 1996; FERRER, 2003) o con las clases texturales definidas por el USDA (RAWLS *et al.*, 1993; TÉMEZ, 1987; MOPT, 1992; FERRER, 2003).

Paralelamente, a la hora de utilizar cartografías edáficas en la asignación de grupos hidrológicos se presentan también carencias importantes. La cartografía edáfica convencional apenas incorpora datos de las propiedades hidrológicas del suelo. Si a ello añadimos que no hay una uniformidad en el uso de sistemas clasificatorios, ni en las escalas de aproximación, su uso ha resultado bastante limitado. Los sistemas clasificatorios de suelos con mayor implantación internacional son el propuesto por el USDA-NRCS, conocido como “Keys of soils taxonomy (ST)”, cuya última revisión oficial es de 2010, y el auspiciado por la FAO-UNESCO bajo el nombre de “World Reference Base for Soil Resources (WRB)”, con una segunda edición publicada en 2006 (revisada en 2007).

2. Objetivos

Los sistemas de clasificación edáficos de base morfométrica pueden aportar información de especial interés para poder abordar una asignación robusta, coherente y suficientemente objetiva de grupos hidrológicos a los suelos de un territorio.

A partir de esta idea, el objetivo de este trabajo es aportar una aproximación conceptual para fundamentar la asignación de Grupo Hidrológico a los suelos (en cuanto a su capacidad para generar escorrentía) a partir de la designación de suelos aportada por una clasificación de base morfométrica, como es la propuesta por la FAO-UNESCO, conocida como WRB-2006.

3. Material y método

La escorrentía superficial aparece cuando el suelo se satura de agua (la gran mayoría del volumen de los macroporos está relleno de agua, por lo que no es posible incorporar más agua al sistema), o bien, el aguacero aporta una cantidad de agua en superficie superior a la capacidad del suelo para infiltrar ésta (la intensidad de precipitación supera la tasa de infiltración). Para un suelo en capacidad de campo (ha escurrido toda el agua gravitacional de

escurrimiento rápido), la capacidad potencial que muestra para generar escorrentía depende básicamente del valor de su conductividad hidráulica y de su capacidad de absorción.

La conductividad hidráulica del suelo es una propiedad intrínseca que viene determinada por la organización espacial de la fase sólida de la cual deriva un volumen de huecos (porosidad), que con el tiempo se hallan más o menos rellenos de agua en función de la evolución del estado hídrico del suelo. La porosidad efectiva para el drenaje del suelo (macroporosidad o porosidad estructural) es definida por la combinación de dos atributos edáficos, textura (tamaño de los materiales de la fase sólida) y la estructura (forma de agregación, resultado de la acción de diferentes agentes, entre los que juega un papel destacado la materia orgánica incorporada al suelo –humus-).

Por otro lado, la capacidad de absorción del suelo en un momento dado (volumen de agua que el suelo es capaz de incorporar hasta su saturación) va a depender del estado de humedad previo del suelo, de su grado de porosidad y de la posible existencia de limitaciones físicas para el desplazamiento interno del agua gravitacional (percolación o infiltración), fundamentalmente en sentido descendente. Concretamente, estas limitaciones van a generar una profundidad “efectiva” para el almacén de agua en el suelo, que es respuesta a la presencia de:

- un sustrato geológico poco permeable (roca coherente y dura, con un reducido grado de fisuración). El tipo de roca madre en cuanto a porosidad y grado de fracturación va a determinar su capacidad para la evacuación del agua que sobre ella se acumule por percolación, determinando por extensión, el tiempo de saturación del suelo construido sobre ella. Ambas propiedades vienen muy determinadas por su génesis, y de acuerdo con ella, los materiales litológicos más frecuentes pueden ordenarse en cuanto a su permeabilidad potencial según lo expresado en la tabla nº 1.

Tabla 1. Grupos litológicos en función de su grado de permeabilidad potencial (ordenados de menor, I, a mayor, IV)

MATERIALES PETROGÉNICOS	GRUPO LITOLÓGICO
Rocas sedimentarias detríticas coherentes Rocas sedimentarias detríticas incoherentes de clastos finos (arcillas y limos) Rocas metamórficas foliadas de grano fino (pizarras y lutitas) Rocas ígneas volcánicas piroclásticas	I
Rocas ígneas plutónicas, filonianas y volcánicas masivas Rocas metamórficas foliadas de grano grueso y no foliadas	II
Rocas sedimentarias químicas (carbonatadas, evaporitas, silíceas,...)	III
Rocas sedimentarias detríticas incoherentes de clastos gruesos (arenas y gravas)	IV

- agua freática (cuyo límite superior viene definido por el nivel freático). La situación más desfavorable es la de un nivel freático, de carácter más o menos permanente, y

próximo a la superficie, manteniendo en aireación deficiente los horizontes humíferos. En el otro extremo, la ausencia de agua freática a lo largo de todo el perfil edáfico facilitará la percolación del agua a profundidades extraedafológicas, amortiguando la generación de escorrentía.

- un horizonte edáfico genético endurecido (básicamente por precipitación química) o con acumulación de arcillas y/o de materia orgánica, especialmente si viene asociado a cambio relativamente abrupto de la textura en relación al horizonte suprayacente.

La combinación de ambos factores, conductividad hidráulica y profundidad “efectiva”, supone la base teórica de la definición y delimitación de los distintos grupos hidrológicos considerados:

- ✓ Grupo A. Suelos con un potencial muy bajo para generar escorrentía. Derivado de la alta profundidad “efectiva” (no hay limitaciones físicas para la percolación del agua), con buenas tasas de infiltración (velocidad de transmisión elevada por elevada macroporosidad de marcado carácter litológico).
- ✓ Grupo B. Suelo con potencial generador de escorrentía bajo. Su capacidad de infiltración es moderada, al presentar una profundidad “efectiva” superior a 1 m, con buena porosidad estructural (resultante de un elevado contenido en materia orgánica de los horizontes superficiales).
- ✓ Grupo C. Suelos con potencial medio para provocar escorrentía. El reducido contenido en materia orgánica o la presencia de materiales litológicos de texturas finas llevan a unas tasas de infiltración bajas, con independencia de la concurrencia o no de limitaciones físicas para la percolación a partir de los 25 cm.
- ✓ Grupo D. Suelo con alto potencial para provocar escorrentía. La infiltración está muy dificultada por la reducida macroporosidad que presenta el horizonte superficial o por el escaso valor de profundidad “efectiva” (inferior a 25 cm).

El sistema clasificatorio de suelos que ofrece la FAO-UNESCO con la WRB - 2006) se fundamenta en la identificación y designación de tipologías edáficas por combinación jerarquizada y progresiva de propiedades de diagnóstico (rasgos que pueden observarse o medirse en campo o en laboratorio y que reflejan resultados generalizados, comunes, de los procesos de formación de suelos (BRIDGES, 1997)), materiales de diagnóstico (conjunto de materiales, minerales u orgánicos, que influyen de forma trascendente en los procesos pedogenéticos) y horizontes de diagnóstico –HD- (horizontes genéticos que reúnen una combinación de atributos morfométricos íntimamente ligados a los procesos edáficos de formación y diferenciación).

De esta forma, las diferentes situaciones edáficas, organizadas en las dos categorías en las que se estructura la clasificación: Grupos de Suelos de Referencia (GSR) y calificadores, pueden ser descritas con datos morfométricos extraíbles de los elementos de diagnóstico que han llevado a su diferenciación y clasificación. A partir de su interpretación es posible una valoración suficientemente robusta y coherente de aspectos muy determinantes de la infiltración, sobre la cual apoyar la asignación del correspondiente grupo hidrológico. Estos aspectos son la abundancia de materia orgánica del horizonte superior, la textura dominante

(en algunos suelos), la existencia de horizontes de acumulación más o menos cementados, o la posición aproximada del nivel freático o la masa rocosa.

Para ello se ha procedido previamente a identificar qué factores que determinan el proceso de infiltración pueden estar relacionados con los elementos de diagnóstico asociados a cada Grupo de Suelo de Referencia (FAO-UNESCO, 2006). Identificadas las posibles relaciones, el resultado ha permitido asociar a cada GSR su grupo hidrológico más coherente y probable. Consecuentemente, el método que se propone consiste en atribuir el tipo de grupo hidrológico al suelo en función del GSR asignado previamente en una tarea clasificatoria.

3. Resultados

La capacidad descriptiva del conjunto de elementos de diagnóstico que incluye el sistema clasificatorio propuesto por la FAO-UNESCO permite identificar atributos edáficos morfométricos que expresan relaciones trascendentes con el proceso hidrológico de infiltración.

- a) La profundidad “efectiva”. Se incluyen aquí aquellos elementos de diagnosis que informan de la existencia de una limitación física para el drenaje vertical del agua gravitacional. Los más frecuentes en los suelos españoles son:
- Material mineral consolidado subyacente al suelo, con un grado de fisuración moderado o bajo - Propiedad: Roca continua.
Excluye los horizontes genéticos fuertemente cementados (*petrocálcico*, *petrogípsico* y *petrodúrico*), incluidos en el calificador *pétrico*. Si la roca se sitúa entre 25 y 100 cm, se identifica con el calificador *léptico*.
 - Tonalidades azul-verde (colores reductimórficos) que reflejan condiciones permanentemente saturadas de agua, habitualmente de carácter freático - Propiedad: Condiciones reductoras / Patrón de color gléyico.
Cuando se presenta dentro de los 100 cm desde la superficie, se aplica el calificador *gléyico*.
 - Incremento muy marcado en el contenido de arcilla en un horizonte genético (si el contenido en arcilla es inferior al 20 %, debe duplicar el contenido en arcilla respecto al horizonte suprayacente a él; si es superior al 20 %, el incremento tiene que ser superior a 20 puntos) - Propiedad: Cambio textural abrupto.
 - Moteados de tonos pardo-rojizos a amarillentos resultantes de un encharcamiento alterno asociado a la impermeabilidad de un horizonte edáfico o de la roca madre subyacente - Propiedad: Patrón de color estágnico.
 - Horizonte intermedio que muestra un contenido en arcilla claramente superior al del horizonte suprayacente y un espesor superior a 7,5 cm - Horizonte de diagnóstico Árgico / Nátrico.

- Horizonte intermedio con un contenido en carbono orgánico claramente superior al del horizonte suprayacente y un espesor superior a 2,5 cm - Horizonte de diagnóstico Espódico.
 - Horizonte intermedio de espesor superior a 15 cm y con claras evidencias de alteración respecto de los horizontes subyacentes - Horizonte de diagnóstico Cámbico.
 - Horizonte cálcico cementado (endurecido) por carbonatos y de más de 10 cm de espesor - Horizonte de diagnóstico Petrocálcico.
 - Horizonte cementado por acumulaciones secundarias de yeso y de espesor superior a 10 cm - Horizonte de diagnóstico Petrogípsico.
 - Horizonte cementado principal por sílice secundaria y de espesor superior a 1 cm - Horizonte de diagnóstico Petrodúrico (duripan).
- b) El grado de permeabilidad de los horizontes superficiales y subsuperficiales (tasa de infiltración). Contiene este grupo aquellos elementos que reflejan condiciones texturales especiales, junto con una especial abundancia de materia orgánica humificada (efectivo agente creador de estructuras favorecedoras de la infiltración) o acumulada en superficie con un bajo grado de descomposición.
- Contenido elevado en arcillas expandibles (más de un 30 %) –aparecen grietas de retracción características en el período seco - Propiedades vérticas.
 - Material de recurrente depósito formado por sedimentos fluviales, sobre todo, marinos y lacustres - Material flúvico.
 - Productos piroclásticos no consolidados (tefra) de erupciones volcánicas o de depósitos meteorizados y mezclados con otros materiales (depósitos téfricos) - Material téfrico.
 - Horizonte superficial de un espesor superior a 10 cm que contiene material orgánico pobremente aireado (saturado de agua más de 30 días consecutivos al año) - Horizonte de diagnóstico Hístico.
 - Horizonte superficial de un espesor superior a 10 cm que contiene material orgánico bien aireado - Horizonte de diagnóstico Fólico.
 - Horizonte superficial relativamente espeso (habitualmente superior a 25 cm) y moderado a alto contenido en materia orgánica - Horizonte de diagnóstico Móllico / Úmbrico.
 - Horizonte superficial o subsuperficial somero que contiene enriquecimiento en sales más solubles que el yeso. Habitualmente exhibe estructuras esponjosas - Horizonte de diagnóstico Sálico.

Focalizando sobre GSR de la WRB-2006, como integradores de los elementos seleccionados, se ha realizado la asignación de grupo hidrológico a la tipología edáfica más frecuente en el ámbito territorial español. La tabla nº 2 recoge el resultado de este proceso.

Tabla 2. Grupos de Suelos de Referencia más frecuentes en el ámbito ecológico español, no modificados intensamente por el hombre, y grupo hidrológico asignado.

GSR (FAO-UNESCO, 2006)		GRUPO HIDROLÓGICO
<i>Histosol</i>	Suelos orgánicos o turbosos. HD hístico	D
<i>Gleysol</i>	Suelos con patrón de color gleyco dentro de los 50 cm superficiales	
<i>Leptosol</i>	Roca continua a una profundidad inferior o igual a 25 cm.	
<i>Calcisol pétrico / Gipsisol pétrico / Durisol pétrico / Solonchack petrosálico</i>	Suelos con horizonte superficial o subsuperficial fuertemente cementados por precipitación química	
<i>Vertisol</i>	Suelos con propiedades vérticas	
<i>Andosol</i>	Suelos desarrollados sobre material téfrico	
<i>Calcisol / Gipsisol</i>	Suelos con HD cálcico / gípsico. Textura frecuentemente limosas y arcillosas por disolución	
<i>Alisol / Luvisol / Acrisol / Lixisol / Solonetz</i>	Suelos con HD árgico	
<i>Planosol</i>	Suelos con HD árgico y/o cambio textural abrupto	
<i>Solonchack</i>	Suelos con HD sálico	B
<i>Podzol</i>	Suelos con HD espódico	
<i>Kastanozem / Phaeozem</i>	Suelos con HD superficial móllico (rico en MO)	
<i>Umbrisol</i>	Suelos con HD superficial úmbrico (rico en MO)	
<i>Cambisol</i>	Suelos con HD cámbico (estructural)	
<i>Fluvisol / Regosol</i>	Suelos sin HD intermedio y de texturas francas dominantes	
<i>Arenosol</i>	Suelos sin HD intermedio y de textura arenosa dominante	A

4. Discusión

El grupo de suelos que muestra una mayor potencialidad de generación de escorrentía (Grupo Hidrológico D) está integrado por aquellos GSR que muestran algún tipo de limitación física para la percolación entre los 0 y 25 cm más superficiales. Esta limitación puede ser debida a:

- la existencia de un nivel freático superficial o subsuperficial, que afecta de manera permanente (o casi permanente) bien a los horizontes humíferos: horizonte de

diagnóstico Hístico (*Histosol*), bien a los horizontes minerales adyacentes a ellos: patrón de color gleyco (*Gleysol*).

- la presencia de roca coherente y dura, o material mineral especialmente gravoso (*Leptosol*).
- el desarrollo edafogenético de horizontes cementados en climas con régimen de humedad ascensional, a partir de materiales carbonatados (*Calcisol pétrico*), yesíferos (*Gipsisol pétrico*), ricos en sílice (*Durisol pétrico*) o en sales (*Solonchack petrosálico*).
- la especial abundancia de arcillas expandibles con bajo contenido en materia orgánica: horizonte de diagnóstico vértico (*Vertisol*).

El incremento en la profundidad “efectiva”, superior a los 25 cm superficiales, pudiendo alcanzar los 100 cm, lleva a considerar un nuevo grupo de suelos con capacidad moderada para provocar escorrentía (Grupo Hidrológico C). En este conjunto se incluyen situaciones edáficas como son:

- suelos desarrollados sobre materiales minerales cuya meteorización y edafización da lugar a texturas finas. Este es el caso de los materiales volcánicos piroclásticos (horizonte de diagnóstico ándico, *Andosol*) y los materiales sedimentarios químicos carbonatados (horizonte de diagnóstico cálcico, *Calcisol*) o evaporíticos (horizonte de diagnóstico gípsico, *Gipsisol*).
- perfil que muestra un horizonte de diagnóstico intermedio o profundo árgico, subyacente a otro(s) con escaso contenido en materia orgánica (*Alisol*, *Luvisol*, *Acrisol* y *Lixisol*). Si aparece un cambio textural abrupto, es muy probable la presencia asociada de indicios de encharcamiento alterno (patrón de color estágnico, *Planosol*). Si además existe acumulación de sales, se refuerza el papel “impermeabilizante” de las arcillas (*Solonetz*).

Los suelos con un mayor contenido en materia orgánica en el horizonte superficial conforman el siguiente grupo, dado que mejora sensiblemente la estructura edáfica, posibilitando la construcción de macroporosidad, con mejora de la permeabilidad y, por extensión, con reducción de la capacidad de generar escorrentía (Grupo Hidrológico B). Quedan enclavados en este grupo los suelos con:

- horizonte de diagnóstico superficial fólico, móllico (*Kastanozem* y *Phaeozem*), y úmbrico (*Umbrisol*).
- horizonte de diagnóstico intermedio espódico, es decir, acumulación de quelatos en profundidad, bajo condiciones frías y/o ácidas –bajas tasas de descomposición de despojos orgánicos- o materiales cuarzosos de texturas gruesas –arenas silíceas- (*Podzol*).
- horizonte de diagnóstico intermedio cámbico, en el que el predominio de las partículas de alteración (horizonte estructural) lleva predominantemente a la aparición de texturas francas con matices arenosos (*Cambisol*).

- perfil con ausencia de horizontes intermedios y de texturas variadas aunque en el entorno de lo franco, resultado de un depósito recurrente de materiales (*Fluvisol*), o de un escaso grado de evolución edáfico sobre materiales detríticos incoherentes (*Regosol*).

Por último, los suelos con texturas arenosas dominantes, clasificados como *Arenosoles*, integrarían el Grupo Hidrológico A, en los que es esperable una respuesta muy débil en cuando a su capacidad de generar escorrentía (altas tasas de infiltración).

5. Conclusiones

Los sistemas de clasificación de suelos con base morfométrica suponen una estupenda oportunidad de aplicación de información edafológica homologada, más allá del mero proceso clasificatorio. Entre las posibles utilidades está la de fundamentar protocolos de asignación objetiva de cada grupo hidrológico a la variabilidad de Grupos de Suelo de Referencia identificados en el área de estudio correspondiente

En el caso concreto de la WRB-2006 (FAO-UNESCO), la interpretación de propiedades edáficas relacionadas con la generación potencial de escorrentía, a partir de los elementos de diagnóstico definitorios de cada Grupo de Suelo de Referencia, ha permitido asignar a éstos de manera fundada el grupo hidrológico más coherente.

El método propuesto se revela, por tanto, como una herramienta útil, de aproximación suficiente para el empleo de cartografía edáfica, elaborada a diferentes escalas, para la implementación del método del número de curva en el cálculo de caudales.

6. Referencias bibliográficas

BRIDGES, E.M.; 1997. World Soils. 3ed edition. Cambridge University Press. Cambridge, UK.

CAMARASA, A.M.; 1995. Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranc de Carraixet y Rambla del Poyo. MOPTMA. Confederación Hidrográfica del Júcar. 252 pp. Madrid.

FERRER, M.; 2003. Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección. CEDEX. 346 pp. Madrid,

FRANCÉS, F.; BENITO, J.; 1995. La modelización distribuida con pocos parámetros de las crecidas. Ingeniería del Agua, 2(4): 7-24.

HAWKINS, R.H.; WARD, T.; WOODWARD, D.E.; VAN MULLEN, J.A.; 2009. Curve Number Hydrology. State of the practice. ASCE, Reston.

MÁRTINEZ DE AZAGRA, A.; PANDO, V.; NAVARRO, J.; DEL RIO, J.; 2006. Aproximación al conocimiento de la infiltración a través del análisis bidimensional. Ecología, 20: 453-470.

MONGIL, J.; NAVARRO, J.; 2012. Infiltración y grupos hidrológicos de suelos en las laderas de los páramos (Valladolid). Cuadernos de Investigación Geográfica, 38(1): 131-153.

MOPT; 1992. Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología. MOPT. 809 pp. Madrid.

NEARING, M.A.; LIU, B.; RISSE, L.M.; ZHANG, X.; 1996. Curve number and Green Ampt effective hydraulic conductivities. Water Resources Bulletin, 32(1): 125-136.

NRCS; 1993. Soil survey manual. <http://www.nhq.nrcs.usda.gov/JDV/ssmnew>.

NRCS; 1995. National Soil Survey Handbook. <http://www.statlab.iastate.edu/soils/nssh>.

RAWLS, W.J.; AHUJA, L.R.; BRAKENSIEK, D.; SHIRMOHAMMADI, A.; 1993. Infiltration and soil movement. En: MAIDMENT, D.R; (Ed). Handbook of Hydrology. cap 5. McGraw Hill.

TÉMEZ, J.R.; 1987. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU, Dirección General de Carreteras. 111 pp. Madrid.