

# Adaptación de las tablas del Número de Curva para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (isla de La Palma, España)

J. Mongil Manso

Grupo de Hidrología y Conservación. Universidad Católica de Ávila. Canteros s/n. 05005-Ávila.  
ghidrologia@yahoo.es

## RESUMEN

El modelo del Número de Curva sirve para estimar la escorrentía superficial que genera un determinado aguacero. Su aplicación práctica consiste en localizar en una tabla el número de curva, que depende principalmente del uso del suelo o tipo de vegetación, de la condición hidrológica y del tipo de suelo. Con este número se calcula la escorrentía mediante la ecuación propuesta por el modelo. Las mencionadas tablas están elaboradas para los tipos de suelos y vegetación de los Estados Unidos. En este trabajo se realiza una adaptación de las tablas del Número de Curva para las formaciones vegetales del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente (isla de La Palma, España), mediante el análisis de los factores que condicionan el número de curva.

Palabras clave: Canarias, ciclo del agua, escorrentía, infiltración, número de curva

## ***Adjustment of SCS Curve Number tables for forest covers of the “Caldera de Taburiente” National Park (La Palma island, Spain)***

### ABSTRACT

*SCS Curve Number Method estimates superficial runoff that a rainfall generates. Its practical application consists of locating in a table the curve number, which depends principally on soil use or type of vegetation, hydrological condition and type of soil (hydrologic soil groups). With this curve number, runoff is calculated through the equation proposed by the model. The mentioned tables are elaborated for the types of soils and vegetation of the United States. In this work, an adjustment of SCS Curve Number tables for forest covers of the “Caldera de Taburiente” National Park (La Palma island, Spain) is realized, through an analysis of factors that establish curve number.*

*Key words: Canarias, infiltration, runoff, SCS Curve Number Method, water cycle*

## Introducción

El Método del Número de Curva, o de los Complejos Hidrológicos, es un modelo conceptual de pérdidas de precipitación, cuyo objetivo es calcular la precipitación neta o escorrentía generada por un aguacero en una cuenca de pequeñas dimensiones (López Alonso, 2001; Mishra y Singh, 2003). Ha sido desarrollado por el Soil Conservación Service (SCS) –llamado desde 1994 National Resources Conservation Service (NRCS)- del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), para cuencas no aforadas en las que se deseen estimar los caudales circulantes por métodos hidrometeorológicos. La primera versión apareció en el National Engineering Handbook del SCS en 1954, habiéndose publicado revisiones posteriores hasta 1997 (NRCS, 1997), y versiones de ámbito reducido para usos del suelo y

vegetación locales (Ponce, 2009). Existe, asimismo, una adaptación a cuencas urbanas (SCS, 1986).

El modelo se asienta en dos hipótesis generales formuladas a partir de un gran número de exámenes de la escorrentía directa con respecto a la precipitación caída en cuencas naturales. Estas hipótesis son:

- 1<sup>a</sup>) La escorrentía superficial se inicia una vez alcanzado un cierto umbral de escorrentía, denominado  $P_0$ .
- 2<sup>a</sup>) El cociente entre la retención de agua real y la retención máxima es igual al cociente entre la escorrentía directa y la escorrentía superficial máxima:

$$\frac{\text{retención real de agua}}{\text{retención máxima}} = \frac{\text{escorrentía superficial real}}{\text{escorrentía superficial máxima}}$$

Los conceptos que intervienen en esta definición se explican seguidamente:

- La retención real de agua ( $R_r$ ) es la parte de la precipitación caída que no escurre, o lo que es lo mismo, el agua que se infiltra una vez alcanzado el umbral de escorrentía:

$$R_r = P - E_s - P_0$$

Esta expresión tiene su origen en la ecuación de continuidad:

$$P = Q + P_0 + R_r$$

siendo:

$P$  = Precipitación del aguacero (mm). Si el episodio de lluvia tiene una duración superior a 24 horas debe ser dividido en precipitaciones diarias; en tal caso hay que variar las condiciones previas de humedad diariamente.

$Q = E_s$  = Escorrentía superficial real (mm).

$P_0$  = Umbral de escorrentía previa al encharcamiento, es decir, la cantidad de agua necesaria para que se inicie la escorrentía superficial (mm).  $P_0$  se corresponde con la cantidad inicial de agua retenida por intercepción, embalse superficial e infiltración antes de iniciarse la escorrentía.

- La retención máxima posible ( $S$ ) es un parámetro del modelo que depende del tipo de suelo, de su humedad inicial antes del aguacero, de la vegetación que sustenta y del tratamiento cultural que se realice. Representa el potencial máximo de retención de agua que tiene el complejo suelo-vegetación analizado.
- Escorrentía superficial real ( $E_s = Q$ ).
- Escorrentía superficial máxima ( $P - P_0$ ) es lo que llueve menos el umbral de escorrentía (extracciones iniciales que son inevitables de acuerdo con el modelo).

Con la nomenclatura establecida, la segunda hipótesis queda así:

$$\frac{R_r}{S} = \frac{P - Q - P_0}{S} = \frac{Q}{P - P_0}$$

Por lo tanto:

$$Q = \frac{(P - P_0)^2}{P - P_0 + S}$$

Con la obligación de que siempre se ha de cumplir:

$$Q \leq P - P_0$$

$$R_r \leq S$$

En su versión original, el método del número de curva es un modelo biparamétrico, siendo  $P_0$  y  $S$  sus dos parámetros. Después de numerosas experiencias, el USDA estableció una relación entre  $P_0$  y  $S$ , a saber:

$$P_0 = 0,2 \cdot S \quad \text{ó bien,} \quad S = 5 \cdot P_0$$

mediante la cual se llega a la conocida ecuación del método del número de curva (en su versión uniparamétrica):

$$Q = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0} \quad \text{si } P > P_0$$

$$Q = 0 \quad \text{si } P \leq P_0$$

La relación entre  $P_0$  y  $S$  puede interpretarse como que el 20 % de la retención máxima posible es equivalente al umbral de escorrentía. El 80 % restante se produce por infiltración una vez que ha comenzado la escorrentía y siempre que el aguacero sea "suficientemente largo" (el ajuste del modelo se ha hecho con datos de precipitaciones diarias).

El parámetro  $P_0$  (o  $S$ ) se determina mediante la utilización de unas tablas. En ellas se ofrece un número adimensional ( $CN$ ), denominado número de curva, que puede tomar valores comprendidos entre 0 y 100:

- $CN = 0$ , si la cuenca o el terreno es tan permeable que no escurre agua ante ningún aguacero (esta es una situación extrema, imposible en la práctica).
- $CN = 100$ , si la cuenca es totalmente impermeable, es decir, que escurre todo lo que llueve, como en el caso de superficies de agua, tejados o carreteras asfaltadas.

A mayor  $CN$ , mayor escorrentía superficial cabe esperar ante un mismo aguacero.

La relación entre  $P_0$  (o  $S$ ) y  $CN$  es la siguiente (mm):

$$S = \frac{25.400 - 254 \cdot CN}{CN}$$

$$P_0 = 0,2 \cdot \frac{25.400 - 254 \cdot CN}{CN}$$

Para el caso de cuencas o terrenos heterogéneos (con diferentes usos del suelo, tipos de suelo o condiciones hidrológicas) hay que efectuar una ponderación para obtener el número de curva correspondiente a la cuenca en conjunto. Para ello se divide la cuenca en complejos hidrológicos (superficies con

características hidrológicas homogéneas), asignando a cada una de estas superficies ( $S_i$ ) el número hidrológico más apropiado ( $CN_i$ ). El número de curva promedio de la cuenca ( $CN$ ) se calcula ponderando según superficies:

$$CN = \frac{\sum CN_i \cdot S_i}{S}$$

siendo:

$S_i$  = Superficie de la cuenca a la que corresponde un número hidrológico  $N_i$

$S$  = Superficie total de la cuenca.

La utilización práctica del modelo consiste en localizar un número de curva en las tablas correspondientes (se pueden consultar, por ejemplo, en Martínez de Azagra y Navarro, 1996), según el uso del suelo o vegetación, el tipo hidrológico del suelo y la condición hidrológica de la ladera. A partir de este número puede estimarse de forma sencilla la escorrentía:

- Umbral de escorrentía (mm):

$$P_0 = 0,2 \cdot \frac{25.400 - 254 \cdot CN}{CN}$$

- Escorrentía superficial (mm):

$$Q = \frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0}$$

Uno de los principales problemas de la utilización del modelo del número de curva es que las tablas del número de curva están construidas para la vegetación y usos del suelo de Estados Unidos. Aunque se hizo una adaptación de las tablas para nuestro país (Témez, 1987), los tipos de vegetación que recoge no guardan gran correspondencia con los que aparecen en las Islas Canarias, tan diferentes a los de la España peninsular. Por este motivo, es muy necesario realizar una adaptación de las tablas del número de curva a las formaciones vegetales de la Isla de la Palma, y especialmente del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente.

La determinación de los números de curva debe hacerse mediante la instalación de parcelas experimentales con un aforador de escorrentía (véanse por ejemplo: Descheemaecker *et al.*, 2008 y Huang *et al.*, 2006). Sin embargo, con costes mucho menores, es posible hacer una adaptación de las tablas del número de curva por analogía de tipos de vegetación, como ya hiciera Martínez de Azagra (1996) para las zonas áridas del sureste de la Península Ibérica.

El objetivo de este trabajo es determinar los núme-

ros de curva de las principales formaciones vegetales o usos del suelo del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente, mediante la adaptación de las tablas del número de curva existentes. Se trata de una primera aproximación para la asignación de los valores del número de curva en las mencionadas condiciones. Determinar los números de curva servirá para estimar volúmenes de escorrentía y caudales máximos de avenida como respuesta a una precipitación.

## Zona de estudio

El Parque Nacional de la Caldera de Taburiente está situado en el centro de la isla de La Palma, en las Islas Canarias (figura 1). Como ocurrió con el resto del archipiélago, la isla de La Palma emergió desde el fondo del océano gracias a varias erupciones volcánicas. La Caldera de Taburiente es una gran depresión de origen erosivo y rodeada por un circo de cumbres de 8 km de diámetro, en el que se encuentran las mayores altitudes de la isla, como son por ejemplo: Roque de los Muchachos (2.426 m), Pico de la Cruz (2.351 m), Piedra Llana (2.321 m), Pico de la Nieve (2.236 m), Punta de los Roques (2.085 m), entre otros. Desde estas cotas, el relieve desciende radicalmente hacia el interior de la Caldera en escarpes prácticamente verticales de más de 800 m, hasta alcanzar la cota 430 m en su punto más bajo, lo que supone unos desniveles cercanos a los 2.000 m (MMAMRM, 2009a). Al suroeste, la Caldera de Taburiente se abre hacia el mar a través del Barranco de las Angustias, que es el desagüe natural de los numerosos arroyos y barrancos del Parque. El interior de la Caldera está surcado por una gran cantidad de profundos barrancos (barrancos de las Través, Bombas de Agua, Hoyo Verde, Los Cantos de Turugumay, Verduras de Alfonso, Los Guanches, Altaguna, la Faya, Rivanceras, Huanauao, etc.) que terminan confluyendo en los dos principales, Taburiente y Almendro Amargo, cuya unión en Dos Aguas dará lugar al Barranco de las Angustias. Entre los barrancos, como resultado de la erosión se elevan numerosas crestas y roques, entre los que hay que destacar el Roque Idefe y el Roque del Huso. Algunos barrancos son cursos permanentes de agua, como el de Taburiente y el del Almendro Amargo. La erosión genera continuos cambios en la Caldera, muy patentes a simple vista. La aparición y desaparición de cascadas, y los desprendimientos son muy frecuentes en los desniveles del Parque. La Caldera posee un caudal de agua considerable, y cuenta con más de 70 manantiales y galerías. No obstante, debido a la densa red de canales, acequias y tuberías que parten de ella para el

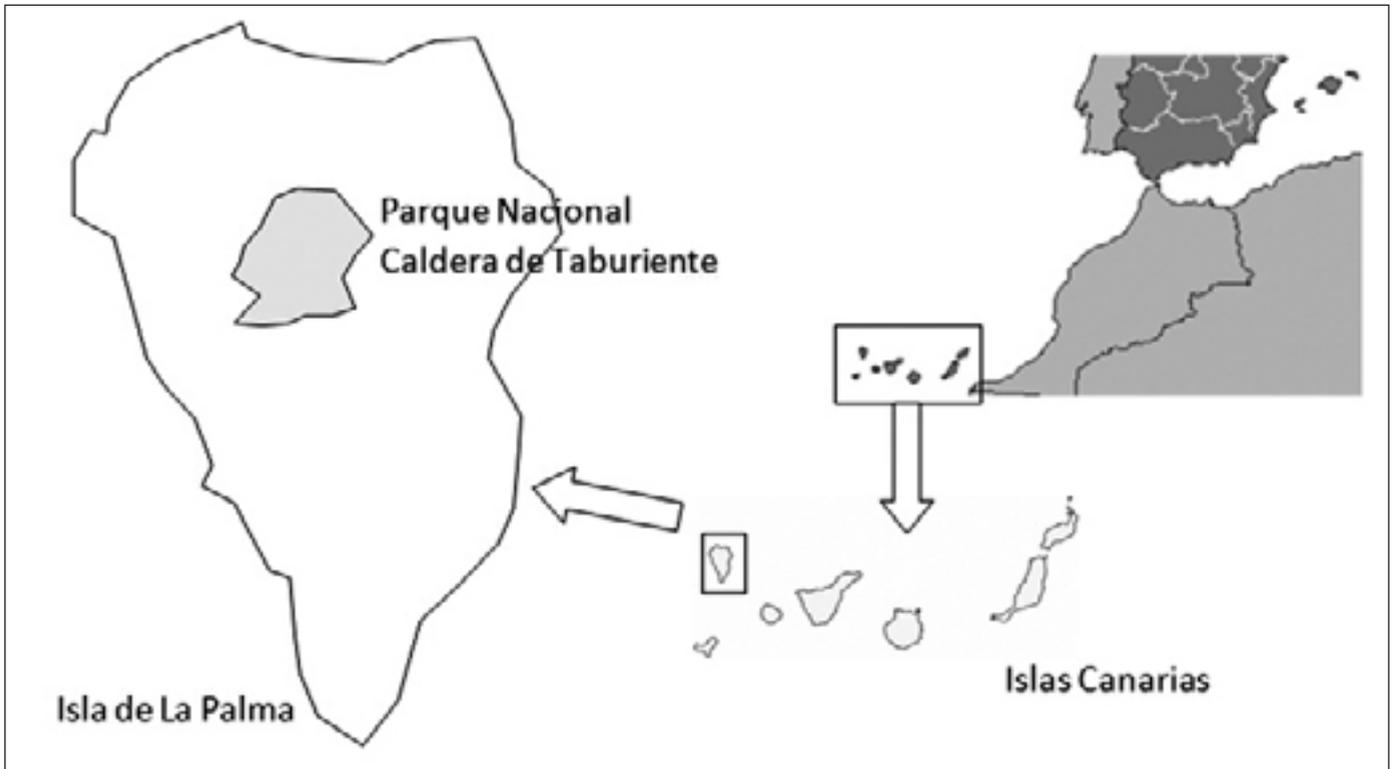


Figura 1. Situación del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente  
Figure 1. Location of "Caldera de Taburiente" National Park

aprovechamiento de agua para abastecimiento a poblaciones o regadío, el caudal del barranco de las Angustias ya no tiene carácter permanente.

La Caldera de Taburiente posee un clima de tipo mediterráneo, pero modificado por la latitud, la altitud y la orientación. Los factores que determinan el clima de la isla de La Palma son, además de la latitud, la circulación de los vientos alisios, el relieve, la cercanía del continente africano y la corriente fría del Atlántico. En el interior de la Caldera se encuentran ligeras variaciones climáticas en función de la altitud:

- Zona baja (400-800 m): Sin heladas, precipitaciones escasas y sin nieblas.
- Zona media (800-1.500 m): Clima más contrastado en temperaturas, nieblas abundantes y no suele helar.
- Zona alta (por encima de 1.500 m): Nieblas menos habituales y temperaturas frescas. Por encima de 2.000 m suele nevar todos los años en invierno, y a veces se produce cencellada debido a los vientos del norte, que traen hielo, y pueden alcanzarse -10 °C. La cumbre se caracteriza por baja humedad relativa, lluvias torrenciales en otoño e invierno y luego periodos de sequía.

La precipitación media anual es de 966 mm en la estación de Taburiente (106U). Según la clasificación de Allué, los tipos fitoclimáticos que aparecen en la zona son Mediterráneo semiárido fresco (IV'7), Mediterráneo árido con inviernos cálidos (IV(III)') y subsahariano (III'2).

### Metodología

La metodología ha consistido en analizar los diferentes factores que influyen en el modelo del Número de Curva, mediante transectos seguidos en el interior del Parque Nacional. Para realizar los transectos se han utilizado los principales senderos existentes, dada la dificultad para el desplazamiento por otras zonas. En estos recorridos se fueron anotando datos sobre: tipos de vegetación (formaciones arboladas, de matorral o herbáceas, indicando especies y espesuras), afloramientos rocosos, suelos (descripción del perfil, roca madre, espesor de restos vegetales y de humus, toma de muestras), condiciones hidrológicas (para la infiltración y escorrentía) y pendientes. El análisis se apoyó en la cartografía temática disponible (de vege-

tación, litología y suelos), facilitada por la dirección del Parque Nacional, y en las ortofotografías aéreas del Sigpac (MMAMRM, 2009b).

### Resultados y discusión

Se muestra seguidamente la valoración de los diferentes factores que afectan al número de curva (tipos de vegetación, condición hidrológica, tipo de suelo, condición previa de humedad y pendiente), así como las tablas del número de curva adaptadas a las formaciones vegetales de la Caldera de Taburiente.

#### Tipos de vegetación

El Parque Nacional cuenta con casi cuatrocientas especies catalogadas de plantas vasculares. Dos de ellas, *Helianthemum cirae* Santos ined. y *Bencomia exstipulata* Svent., están incluidas en el Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (MMAMRM, 2009a). La vegetación de las cumbres es posiblemente la más interesante, debido a los numerosos endemismos y especies en peligro de extinción como el retamón (*Genista benehoavensis* (Svent.) Arco), la violeta (*Viola palmensis* Webb & Berth), *Bencomia exstipulata* Svent. y *Echium gentianoides* Webb ex Coincy, estos tres últimos considerados prioritarios en la directiva Hábitat. Sin embargo, la formación más característica de La Caldera consiste en el pinar de *Pinus canariensis* Chr. Sm. Ex DC, acompañado por especies como el amagante (*Cistus symphytifolius* Lam.). El pinar presenta diferentes densidades de arbolado que van desde unos pocos pies/ha hasta unos 2.500 Pies/ha. Existen también en La Caldera laderas desprovistas de vegetación con diferentes tipos de suelo (materiales volcánicos finos, pedregales, paredes rocosas).

Para el establecimiento de unas tablas del número de curva para La Caldera, se ha realizado la corres-

pondencia hidrológica de tipos de vegetación, que aparece en la tabla 1. Para los pinares de pino canario se parte de una hipótesis de correspondencia hidrológica con las masas de *Pinus ponderosa* (Douglas ex P. & C. Lawson) del oeste de los Estados Unidos, concretamente de los estados de Oregón y Washington, basada en consideraciones fitoclimáticas y morfológicas. Estos pinares están situados sobre los terrenos volcánicos de Cascade Range y poseen un clima con sequía estival. Es claramente apreciable su similitud estructural e hidrológica con los pinares de La Palma, incluso las formas de erosión y el aspecto paisajístico es similar. Las tablas de estos pinares están definidas sólo para suelos tipo B y C, por lo que posteriormente se han deducido los números de curva para los suelos A y D, mediante relaciones de proporcionalidad, considerando que para cada condición hidrológica, la diferencia entre los números de curva con suelo A y suelo B, y entre los números de curva con suelo C y suelo D, es igual a la que existe entre los números de curva con suelo B y suelo C.

Por otro lado, los matorrales de la Caldera se han hecho equivalentes hidrológicamente a los matorrales con herbáceas de las tablas generales del número de curva. Los terrenos sin vegetación (pedregales y roquedos) se han considerado rocas permeables o impermeables, según la modificación que hace Ferrer-Julia (2003) de las tablas de Témez (1987).

#### Condición hidrológica

La condición hidrológica se basa en una combinación de factores que afectan a la infiltración y a la escorrentía superficial. Estos factores son, en general, la densidad y fracción de cubierta vegetal de la vegetación, el grado de cubierta vegetal a lo largo del año, el porcentaje de residuos vegetales cubriendo el suelo y el grado de rugosidad del suelo. La condición hidrológica es pobre si los factores antes indicados

VEGETACIÓN DE LA CALDERA	VEGETACIÓN EQUIVALENTE
Pinar de <i>Pinus canariensis</i>	Pinar de <i>Pinus ponderosa</i> del Oeste de EEUU
Matorrales	Matorral con vegetación herbácea
Terrenos desprovistos de vegetación (pedregales, roquedos)	Rocas permeables o impermeables

Tabla 1. Correspondencia de tipos de vegetación para las tablas del número de curva  
Table 1. Correspondence of vegetation types for curve number tables

dificultan la infiltración y facilitan la escorrentía superficial; y es buena en la situación contraria.

Para terrenos forestales la determinación de la condición hidrológica suele hacerse en función de la profundidad y el grado de consolidación de las capas de mantillo del bosque, de modo que cuanto mayor sea el espesor de dichas capas y menos compactas e impermeables aparezcan tanto mejor será la condición hidrológica resultante para la infiltración. Se establecen así cinco o seis clases de condición hidrológica, según los autores (Ponce, 1989; Martínez de Azagra, 1996; SCS, 1985), a las que se llega empleando ábacos como el de Morey (Udall y Dominy, 1966) o el de Mishra y Singh (2003).

En las tablas del número de curva para los pinares de pino canario en La Caldera, se proponen cuatro clases hidrológicas dependientes sólo de la fracción de cabida cubierta (20, 40, 60 y 80 %), puesto que la cantidad de humus y pinocha acumulada depende fundamentalmente de la espesura del arbolado. Para las superficies de matorral se han considerado fracciones de cabida cubierta de < 50 %, 50-75 % y > 75 %.

### **Tipos de suelo**

Los suelos presentes en La Caldera son Litosoles (suelos minerales brutos) sobre rocas magmáticas volcánicas (basaltos, lavas y fonolitas, por un lado, y rocas piroclásticas por otro) y magmáticas plutónicas (sienitas y microsienitas). Según la Soil Taxonomy, se puede hablar de suelos perteneciente al orden Entisoles (suelos con perfil poco diferenciado, de tipo AR, AC o ACR; epipedión ócrico y sin endopedión de diagnóstico), suborden Orthent (entisoles en pendiente o con presencia de fragmentos de roca).

El método del Número de Curva establece cuatro tipos o grupos de suelo desde el punto de vista de su comportamiento hidrológico (NRCS, 2002):

- Grupo A.- Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aún cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos y con texturas gruesas (arenosa o areno-limosa). El nivel freático debe quedar a una profundidad mayor de 150 cm permanentemente.
- Grupo B.- Suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje. Sus texturas van de moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa). El nivel freático debe quedar permanentemente a una profundidad mayor de 60 cm.

- Grupo C.- Suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco-arcillosa o arcillosa). También se incluyen aquí suelos que presenten horizontes someros bastante impermeables. El nivel freático se encuentra siempre a una profundidad mayor de 60 cm.
- Grupo D.- Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por lo tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con nivel freático alto (a una profundidad menor de 60 cm).

En el caso de La Caldera, al tratarse como se ha dicho de suelos muy poco evolucionados y de escasa profundidad, la asignación a un determinado grupo de suelo depende fundamentalmente del comportamiento hidrológico de la roca madre. Así, las sienitas y fonolitas son rocas bastante impermeables, siendo fácil presumir que los suelos formados sobre ellas se asignarán a los grupos C o D. Por el contrario, las rocas piroclásticas suelen poseer elevada capacidad de infiltración, por lo que se deben asignar a los grupos A y B.

En cualquier caso, lo más habitual en la aplicación del método del número de curva es determinar la textura mediante un análisis del suelo y de esa manera determinar el grupo de suelo empleando un diagrama triangular (Ferrer-Julià, 2003), o bien, conociendo la clase textural USDA (tabla 2). Para la realización de este estudio se ha realizado el análisis de un suelo situado en la margen derecha del Barranco de Taburiente, a unos 100 m de la orilla del cauce, y a unos 300 m del Centro de Servicios Taburiente, en dirección a Hoyo Verde. La vegetación es de pinar y el perfil del suelo es de tipo AC, con 20 cm de pinocha acumulada y 10 cm de humus en el horizonte A. Los principales resultados del análisis se muestran en la tabla 3. Con los datos granulométricos, se puede concluir que el suelo analizado pertenece al grupo B.

### **Condición previa de humedad**

Se refiere a la condición de humedad que tiene el suelo justo antes del aguacero que se pretende analizar. El modelo distingue tres situaciones diferentes:

- Condición II.- El suelo está en condición de humedad media, alejado de la capacidad de campo y del punto de marchitez permanente. Los números de curva que figuran en las tablas se refieren a esta

TEXTURA	GRUPO DE SUELO
Arenosa (A)	A
Arenoso-franca (AF)	A
Arcillosa (C)	D
Arcillo-arenosa (CA)	C
Arcillo-limosa (CL)	D
Franca (F)	C
Franco-arenosa (FA)	B
Franco-arcillosa (FC)	C
Franco-arcillo-arenosa (FCA)	C
Franco-arcillo-limosa (FCL)	C
Franco-limosa (FL)	C
Limosa (L)	D

Tabla 2. Equivalencias entre las clases texturales del USDA y los grupos hidrológicos (Ferrer-Julà, 2003)

Table 2. Equivalences between USDA textural classes and hydrological groups

situación. La ponderación del número de curva según superficies a la que se hizo alusión anteriormente debe realizarse siempre en esta condición.

- Condición I.- El suelo está muy seco pero sin llegar al punto de marchitamiento. Suele ser la situación ideal para realizar las labores agrícolas.
- Condición III.- El suelo se encuentra muy húmedo, saturado o próximo a la saturación. También es aplicable a suelos algo húmedos pero que estén helados.

Estas condiciones de humedad vienen definidas por las siguientes consideraciones estadísticas (Hjemfelt *et al.*, 1982): "en el 10 % de las ocasiones suelo más húmedo", define la condición III; "en el 50 % de las ocasiones suelo más húmedo", define la condición II; y "en el 10 % de las ocasiones suelo más seco", define la condición I.

La determinación de las condiciones previas de humedad se realiza en función de la precipitación acumulada en los cinco días previos al aguacero (120 horas antes), distinguiéndose también entre el periodo vegetativo y el de reposo (tabla 4). No obstante, la

FRACCIÓN	PORCENTAJE
Elementos gruesos	48,4
Arcilla USDA	11,2
Limo USDA	28,4
Arena USDA	60,4

Tabla 3. Principales resultados del análisis granulométrico de la muestra de suelo tomada en la Caldera de Taburiente, en las proximidades del Centro de Servicios Taburiente

Table 3. Principal results of granulometric analysis of soil sample taken in the "Caldera de Taburiente", near Services Center "Taburiente"

aplicación en España de esta clasificación no ha dado buenos resultados, por lo que prácticamente no se utiliza. Algunos autores han desarrollado algunas alternativas para estimar la condición previa de humedad (Fernández de Villarán, 2006; Brocca *et al.*, 2008). Por estas razones, sería necesario en el futuro realizar una revisión del ajuste en la zona de estudio.

### Pendiente

Según Williams (1995), los valores del número de curva obtenidos en las tablas para condición II de humedad corresponden a pendientes de hasta el 5 %, por lo que para pendientes superiores es necesario ajustar el número de curva en función de la pendiente mediante la siguiente fórmula:

$$CN_{IS} = \frac{(CN_{II} - CN_{III})}{3} \cdot [1 - 2 \cdot e^{-13,86 \cdot p}] + CN_{II}$$

Donde:

$CN_{IS}$  = Número de curva modificado por la pendiente en condición II de humedad

$CN_{II}$  = Número de curva sin modificar en condición II de humedad

$CN_{III}$  = Número de curva sin modificar en condición III de humedad

CONDICIÓN	LLUVIA TOTAL DURANTE LOS CINCO DÍAS ANTERIORES	
	Reposo vegetativo	Periodo vegetativo
I	menos de 12,5 mm	menos de 35,5 mm
II	de 12,5 a 28 mm	de 35,5 a 53 mm
III	más de 28 mm	más de 53 mm

Tabla 4. Determinación de las condiciones iniciales de humedad, para la aplicación del método del número de curva

Table 4. Determination of antecedent soil moisture conditions, for application of SCS Curve Number method

$pt$  = Pendiente media de la ladera o cuenca en tanto por uno

curva de las tablas 5 y 6 con las siguientes ecuaciones (Ponce y Hawkins, 1996):

**Tablas del número de curva**

En la tabla 5 se muestran los números de curva en condición previa de humedad II para las formaciones vegetales de La Caldera de Taburiente, con pendiente menor o igual del 5 %. Para pendientes superiores a este valor es necesario corregir el número de curva que aparece en la tabla con la expresión indicada anteriormente.

En la tabla 6 aparecen los números de curva en condición II de humedad previa para los terrenos sin vegetación (pedregales y roquedos).

Para condiciones previas de humedad distintas a la condición II, deben modificarse los números de

$$N(I) = \frac{N(II)}{2,281 - 0,01281 \cdot N(II)}$$

$$N(III) = \frac{N(II)}{0,427 + 0,00573 \cdot N(II)}$$

**Conclusiones**

La determinación de unas tablas del número de curva requiere de parcelas experimentales en las que se afore la escorrentía generada en respuesta a varios aguaceros. No obstante, es posible establecer una

TIPO DE VEGETACIÓN	FCC (%)	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Pinares de <i>Pinus canariensis</i>	20	56	67	78	89
	40	47	60	72	85
	60	40	55	69	84
	80	34	50	66	83
Matorrales	< 50	48	67	77	83
	50 – 75	35	56	70	77
	> 75	30	48	65	73

FCC = Fracción de cabida cubierta (%).

Tabla 5. Determinación del número de curva en condición II de humedad y  $P_0 = 0,2 \cdot S$ , con pendiente  $\leq 5\%$ , para las formaciones vegetales de La Caldera de Taburiente

Table 5. Determination of curve number in antecedent soil moisture condition II and  $P_0 = 0,2 \cdot S$ , with slope  $\leq 5\%$ , for forest covers of the "Caldera de Taburiente" National Park

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE (%)	TIPO DE SUELO			
		A	B	C	D
Rocas permeables	$\geq 3$	94			
	< 3	91			
Rocas impermeables	$\geq 3$	96			
	< 3	93			

Tabla 6. Determinación del número de curva en condición II de humedad y  $P_0 = 0,2 \cdot S$ , para los terrenos sin vegetación (pedregales, roquedos) de La Caldera de Taburiente

Table 6. Determination of curve number in antecedent soil moisture condition II and  $P_0 = 0,2 \cdot S$ , for stony and rocky lands of the "Caldera de Taburiente" National Park

aproximación de los números de curva para diversos tipos de vegetación, y en concreto para las masas de *Pinus canariensis*, los matorrales y los terrenos sin vegetación de La Caldera de Taburiente, por comparación con tipos de vegetación similares, que posean comportamientos hidrológicos análogos. Por lo tanto, las tablas elaboradas en este trabajo deben tomarse como aproximadas, mientras no se compruebe su validez mediante ensayos experimentales en campo.

Las equivalencias de números de curva establecidos en este trabajo tienen una importancia añadida, no sólo para la isla de la Palma sino también para el resto de las islas Canarias, puesto que debido a su peculiaridad, la vegetación canaria suele quedar excluida de los estudios generales sobre este tema que se realizan para todo el país. Sería deseable, por lo tanto, extender trabajos de este tipo al resto de las formaciones vegetales del Archipiélago.

## Agradecimientos

A la Dirección del Parque Nacional de la Caldera de Taburiente por la autorización y facilidades dadas para la realización de este trabajo. A la Guardería y empleados del Parque y a César Méndez, por su colaboración. A Juan Andrés Oría de Rueda (Universidad de Valladolid) por las informaciones aportadas sobre vegetación.

## Referencias

- Brocca, L., Melone, F., Moramarco, T. 2008. On the estimation of antecedent wetness conditions in rainfall-runoff modeling. *Hydrol. Process*, 22, 629-642.
- Descheemaeker, K., Poesen, J., Borselli, L., Nyssen, J., Raes, D., Haile, M., Muys, B. y Deckers, J. 2008. Runoff curve numbers for steep hillslopes with natural vegetation in semi-arid tropical highlands, northern Ethiopia. *Hydrol. Process*, 22, 4097-4105.
- Fernández de Villarán, R. 2006. *Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del Número de Curva y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido*. Tesis doctoral. Universidad de Huelva, Huelva.
- Ferrer-Julà, M. 2003. *Análisis de nuevas fuentes de datos para la estimación del parámetro número de curva: perfiles de suelos y teledetección*. Cuadernos de investigación, CEDEX, Madrid.
- Hjermfelt, A.T., Kramer, L.A. y Burwell, R.E. 1982. Curve numbers as random variables. En: V.P. Singh (Ed.). 1982. *Rainfall-runoff relationship*. Proceedings of the International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling held May 18-21 (1981) at Mississippi State University, Littleton, Colorado, Water Resources Publication.
- Huang, M., Gallichand, J., Wang, Z. y Goulet, M. 2006. A modification to the Soil Conservation Service curve number method for steep slopes in the Loess Plateau of China. *Hydrol. Process.*, 20, 579-589.
- López Alonso, R. 2001. Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. *Montes*, 66, 92-97.
- Martínez de Azagra, A. 1996. *Diseño de sistemas de recolección de agua para la repoblación forestal*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Martínez de Azagra, A. y Navarro, J. 1996. *Hidrología forestal. El ciclo hidrológico*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Valladolid, Valladolid.
- Mishra, S.K. y Singh, V.P. 2003. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) methodology*. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht.
- MMAMRM. 2009a. *Parque Nacional de la Caldera de Taburiente*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. <http://reddeparquesnacionales.mma.es/parques/taburiente/index.htm> (9/10/2009)
- MMAMRM. 2009b. *Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC)*. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. <http://www.mapa.es/es/sig/pags/sigpac/intro.htm> (9/10/2009)
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. y King, K.W. 2002. *Soil and water assessment tool. Theoretical documentation (SWAT, 2000 v.)*. Texas Water Resources Institute, College Station, Texas.
- NRCS 1997. *Part 630. Hydrology. National Engineering Handbook*. NRCS, Washington D.C.
- NRCS 2002. *Part 630. Hydrology. National Engineering Handbook*. NRCS, Washington D.C.
- Ponce, V.M. 1989. *Engineering hydrology. Principles and practices*. Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Ponce, V.M. 2009. *Prof. Victor Miguel Ponce Website*. <http://ponce.sdsu.edu> (9/10/2009).
- Ponce, V.M. y Hawkins, R.H. 1996. Runoff curve number: Has it reached maturity?. *Journal of hydrologic engineering, January 1996*.
- SCS 1985. *National Engineering Handbook, Section 4-Hydrology*. USDA-SCS. Washington, D.C.
- SCS 1986. *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release-55, SCS, Washington D.C.
- SCS 1991. *Engineering field handbook. Chapter 2*, SCS, Washington D.C.
- Témez, J.R. 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. MOPU, Dirección General de Carreteras, Madrid.
- Udall, S.L. y Dominy, F.E. 1966. *Diseño de presas pequeñas*. Ed. Continental, México D.F.
- Williams, J.R. 1995. Chapter 25. The EPIC Model. En: *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, Highlands Ranch CO.

Recibido: octubre 2009

Revisado: diciembre 2009

Aceptado: enero 2010

Publicado: abril 2010

