

Particularización al método de los coeficientes de escorrentía

1.- Introducción

La escorrentía superficial provocada por un aguacero (E_s) puede compararse con la precipitación caída (P). Al cociente entre ambos valores se le denomina coeficiente de escorrentía (C).

$$C = \frac{E_s}{P}$$

El coeficiente de escorrentía depende de numerosos factores: del tipo de precipitación (lluvia, nieve o granizo), de su cantidad, de su intensidad y distribución en el tiempo; de la humedad inicial del suelo; del tipo de terreno (granulometría, textura, estructura, materia orgánica, grado de compactación, pendiente, microrrelieve, rugosidad), del tipo de cobertura vegetal existente; de la intercepción que provoque; del lapso de tiempo que consideremos (minutos, duración del aguacero, horas, días, meses, un año), etcétera. El coeficiente de escorrentía puede tomar valores comprendidos entre cero y uno.

$$0 \leq C \leq 1$$

En el caso de la lluvia, su intensidad resulta fundamental en el proceso de producción de escorrentía superficial. No así para el granizo y la nieve, pues es la velocidad de fusión quien regula el fenómeno.

El tipo de terreno influye sobremanera en C . Las dos propiedades físicas del suelo que mejor explican la formación de escorrentía superficial durante un aguacero son la capacidad de infiltración y la permeabilidad. Así, se puede definir el coeficiente de escorrentía instantáneo ($C(t)$) como:

$$C(t) = \frac{i(t) - f(t)}{i(t)} \quad (\text{Martínez de Azagra \& Navarro, 1996})$$

siendo: $i(t)$ = la intensidad de lluvia en el instante t
 $f(t)$ = la tasa de infiltración en dicho instante t .

La humedad inicial del suelo y su evolución a lo largo del aguacero influyen notablemente. Baste con mencionar la tendencia decreciente de la tasa de infiltración hasta alcanzar un valor asintótico que se relaciona con la permeabilidad (o conductividad hidráulica) del terreno.

En los primeros minutos de un episodio de lluvia, la intercepción altera la intensidad del aguacero que incide sobre el suelo, de manera que si hacemos intervenir este efecto en la definición del coeficiente de escorrentía instantáneo, podemos escribir:

$$C(t) = \frac{i(t) - i_t(t) - f(t)}{i(t)}$$

siendo $i_t(t)$ la interceptación instantánea. Su valor decrece hasta hacerse muy reducido en aguaceros largos e intensos, como puede comprobarse analizando modelos de interceptación (Kittredge (1948), Rutter *et al.* (1971), Gash (1979), etc.)

Antes de nada y sobre todo, la presencia de vegetación, su densidad, estructura, altura, tiempo de instalación y permanencia son determinantes en el proceso de infiltración (o en su reverso: la formación de escorrentía superficial). La velocidad de infiltración en suelos forestales es muy superior a la que presentan los suelos agrícolas correspondientes, que –a su vez– es muy superior a la de los suelos urbanos. Ello se debe al elevado contenido en materia orgánica de los suelos que soportan vegetación natural evolucionada, a la acción de las raíces primarias y secundarias creando innumerables canalillos hasta el subsuelo, al aumento de oportunidad de infiltración por disminuir la vegetación la velocidad de escurrido y a la imposibilidad de que se formen encostramientos superficiales (tastanas) en el suelo gracias a la acción protectora de la tamuja u hojarasca. En el extremo opuesto se encuentran los terrenos más antropizados (suelos urbanos e industriales, o vías de comunicación), que incluyen proporciones elevadas de suelos impermeabilizados (Martínez de Azagra & Navarro, 1996).

La pendiente aumenta el coeficiente de escorrentía, pues una misma microtopografía embalsa más agua en terrenos tendidos que en terrenos empinados (como se aprecia en la figura 1). A su vez, al aumentar la escorrentía superficial, crece la erosión hídrica, que lima el microrrelieve del terreno, alisando la ladera y reduciendo las microdepresiones. Ambos motivos explican la dependencia del coeficiente de escorrentía (C) de la pendiente. Conviene añadir, que los dos efectos señalados no inciden en superficies prácticamente lisas (tejados, zonas asfaltadas, etc.), de manera que en tales superficies no cabe esperar tal dependencia.

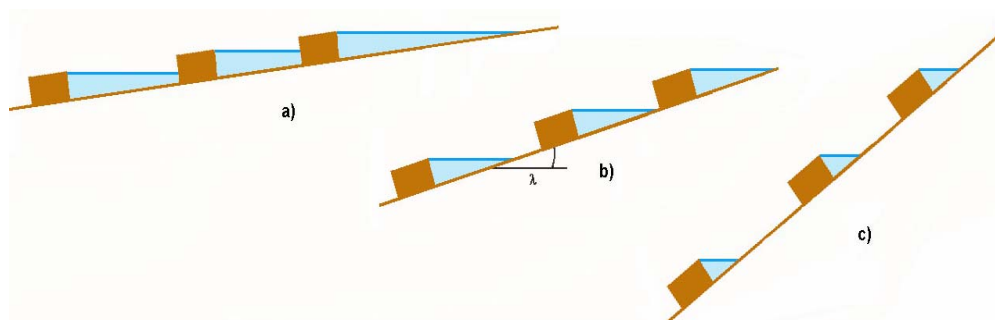


Figura 1: La pendiente incide sobre el coeficiente de escorrentía

El lapso de tiempo al que se refiere el coeficiente de escorrentía hace variar su valor (y hasta su significado). Así, cabe hablar de coeficiente de escorrentía instantáneo ($C(t)$), de coeficiente de escorrentía instantáneo máximo

($\max(C(t))$); de coeficiente de escorrentía medio; de coeficiente de escorrentía anual, etcétera.

El coeficiente de escorrentía instantáneo es nulo desde el comienzo del aguacero hasta que se alcanza el tiempo de encharcamiento. Sus máximos instantáneos se corresponden con los momentos de máxima intensidad de lluvia y/o con las partes finales del chubasco (en las que el suelo muestra la menor tasa de infiltración, al estar muy húmedo).

El coeficiente de escorrentía medio ($C_m(t)$) se define mediante la integral:

$$C_m(t) = \int_0^t C(t) \cdot dt = \int_0^t \frac{i(t) - i_t(t) - f(t)}{i(t)} \cdot dt$$

Representa el coeficiente de escorrentía medio desde el comienzo del aguacero ($t=0$) hasta un instante dado t . Para un aguacero de intensidad constante va en aumento según transcurre el tiempo, tomando el valor máximo al final del episodio de lluvia. El comportamiento del coeficiente de escorrentía medio para aguaceros intensos reales (en los que $i(t) \neq \text{cte}$) suele ser similar. A su vez, dicho coeficiente toma valores tanto mayores cuanto mayor sea el chubasco (o dicho de otra manera: cuanto mayor sea su periodo de retorno).

La expresión inicial que nos ha servido para introducir el concepto de coeficiente de escorrentía ($C = \frac{E_s}{P}$) se corresponde con el coeficiente de escorrentía medio desde el comienzo hasta el final del aguacero, es decir: con $C_m(D)$, siendo D la duración del aguacero.

Otra forma habitual de introducir el concepto de coeficiente de escorrentía consiste en acudir a la expresión del método racional para estimar caudales máximos (Chow *et al.*, 1988; Singh, 1988):

$$Q_{max} = 0,28 \cdot \bar{C} \cdot i \cdot S$$

siendo Q_{max} el caudal máximo o punta (en m^3/s), i la intensidad de lluvia que lo provoca (en mm/h), \bar{C} el coeficiente (máximo) de escorrentía superficial para la intensidad de lluvia considerada, y S la superficie de la cuenca (en km^2). A partir del método racional se puede definir \bar{C} como un cociente entre el caudal punta y la intensidad de lluvia:

$$\bar{C} = \frac{1}{0,28 \cdot S} \cdot \frac{Q_{max}}{i} = k \cdot \frac{Q_{max}}{i}$$

En muchos tratados y aplicaciones prácticas de Hidrología se confunde C ($= \frac{E_s}{P}$) con \bar{C} . Sin embargo, no conviene identificar ambos cocientes, pues difieren tanto conceptualmente como en su valor numérico.

Acudiendo al excelente y clásico libro de Hidrología de Vijay P. Singh (1988), el coeficiente de escorrentía \bar{C} es el cociente entre el caudal punta en la sección de cierre y la intensidad media de lluvia caída en la cuenca. Representa la fracción del aguacero que se convierte en escorrentía superficial en el área de drenaje de la cuenca. Dicha fracción depende de características del aguacero y de la topografía e infiltración de la cuenca. Se trata de un coeficiente de escorrentía medio máximo, referido al intervalo de tiempo T_c (el tiempo de concentración de la cuenca), es decir:

$$\bar{C}_{t_1} = \int_{t_1}^{t_1+T_c} \frac{i(t) - i_t(t) - f(t)}{i(t)} \cdot dt$$

y

$$\bar{C} = \max(\bar{C}_{t_1})$$

La mayor parte de las tablas y ábacos que permiten fijar coeficientes de escorrentía (véase el apartado 5 de este mismo trabajo), se refieren al coeficiente \bar{C} , pues han sido desarrollados para su utilización en el método racional de estimación de caudales punta (o en alguna de sus múltiples variantes). Su utilización para estimar el coeficiente de escorrentía medio ($C = C_m(D)$) es conceptualmente incorrecta (pues $\bar{C} \neq C$) aunque constituya una simplificación que suele estar del lado de la seguridad (ya que habitualmente: $\bar{C} > C$).

Podemos ver aquí cómo la Hidrología Clásica y la Hidrología de Conservación de Aguas difieren. En cierto modo hasta se contravienen. En el primer caso, la Hidrología Clásica, afanada –como está– en estudiar el agua que se va, utiliza un coeficiente de escorrentía relacionado con los caudales punta, en vez de con los volúmenes de escorrentía superficial a infiltrar (¡ \bar{C} en vez de C !).

En muchas publicaciones de Hidrología (sobre todo para la estimación del caudal máximo provocado por un aguacero en pequeñas cuencas hidrográficas urbanas) figuran tablas que orientan sobre el coeficiente de escorrentía (\bar{C}) a elegir. Estos valores suelen ser bastante conservadores para que puedan ser usados en el diseño del alcantarillado o de las cunetas con un buen margen de seguridad, es decir: dan valores por exceso. Además y en muchos casos, las tablas ofrecen un amplio rango de valores. Así, el ingeniero debe elegir el coeficiente de escorrentía (\bar{C}) acudiendo a su buen criterio y experiencia, lo que ha terminado por desprestigiar el método racional, como bien expone Singh

(1988). Por último, aquéllos autores que igualan \bar{C} con C incorporan una imprecisión adicional nada desdeñable.

El caso extremo opuesto al de coeficiente de escorrentía instantáneo ($C(t)$) lo constituye el coeficiente de escorrentía anual (e), que se obtiene dividiendo la aportación específica de la cuenca (a) entre la precipitación anual ponderada caída en la cuenca (\bar{P}). En este caso, la aportación específica se debe a la escorrentía superficial, hipodérmica y subterránea que alcanzan la sección de cierre de la cuenca (Martínez de Azagra y Navarro, 1996).

$$e = \frac{a}{\bar{P}}$$

El modelo del coeficiente de escorrentía es muy intuitivo y sencillo de aplicar. Resulta muy ilustrativo pero sus resultados suelen ser poco fiables. El problema radica en conseguir fijar el coeficiente de escorrentía (C) de forma precisa. Hasta la fecha no se han desarrollado tablas de validez contrastada para terrenos agrícolas y forestales. Sólo existen tablas orientativas, diversas y muy dispares, lo que aumenta la inseguridad de quien las aplica y siempre referidas a \bar{C} (en vez de a C). Al respecto, consúltese el apartado 5 y compárense los valores dados en las diferentes tablas para comprobar las fuertes discrepancias que encierran.

2.- Ecuaciones particularizadas

Pese a las limitaciones evidentes que posee el método del coeficiente de escorrentía para los objetivos que perseguimos, vamos a particularizar las ecuaciones generales a este modelo, pues -además de ilustrativas- pueden llegar a tener su interés en el futuro, si se desarrollaran tablas específicas precisas para terrenos degradados.

Las ecuaciones generales se concretan para el método de los coeficientes de escorrentía en las siguientes páginas:

$$PIMP = P - E_{s1} = P - CI \cdot P = P \cdot (1 - CI)$$

en donde:

$PIMP$ = Disponibilidad hídrica en el área de impluvio (mm)

P = Precipitación del aguacero (mm)

CI = Coeficiente de escorrentía en el área de impluvio (adimensional)

$$DESP = P + E_{s1} - E_{s2} = P + CI \cdot P \cdot \frac{S_1}{S_2} - \begin{cases} 0 & \text{si } MAX \leq CAPA \\ \frac{MAX - CAPA}{S_2} & \text{si } MAX > CAPA \end{cases}$$

MAX se calcula según el caso, dependiendo de los valores relativos del coeficiente de escorrentía en el área de impluvio (CI) y en el área de recepción (CR):

$$\begin{cases} MAX = CM \cdot P \cdot (S_1 + S_2) & \text{si } CI \geq CR \\ MAX = CR \cdot P \cdot S_2 + CI \cdot P \cdot S_1 & \text{si } CI < CR \end{cases}$$

en donde:

$DESP$ = Disponibilidad hídrica en el área de recepción (mm)

S_1 = Superficie del área de impluvio (m²)

S_2 = Superficie del área de recepción (m²)

MAX = Escorrentía máxima que puede escapar de la sistematización para alcorque nulo (l)

$CAPA$ = Capacidad del microembalse (l)

CI = Coeficiente de escorrentía en el área de impluvio (adimensional)

CR = Coeficiente de escorrentía en el área de recepción (adimensional)

CM = Coeficiente de escorrentía medio en la unidad sistematizada y que puede obtenerse ponderando según superficies, es decir:

$$CM = \frac{CI \cdot S_1 + CR \cdot S_2}{S_1 + S_2}$$

Con esta expresión del coeficiente de escorrentía medio (CM), las dos ecuaciones dadas para calcular MAX coinciden, por lo que se puede prescindir de una de ellas, quedando:

$$MAX = CR \cdot P \cdot S_2 + CI \cdot P \cdot S_1 \quad \text{en cualquier situación}$$

Si se desea calcular la precipitación límite de la unidad sistematizada ($P2$) hay que establecer la igualdad entre $CAPA$ y MAX .

$$MAX = CAPA \Leftrightarrow \begin{cases} P2 = \frac{CAPA}{CM \cdot (S_1 + S_2)} & \text{si } CI \geq CR \\ P2 = \frac{CAPA}{CI \cdot S_1 + CR \cdot S_2} & \text{si } CI < CR \end{cases}$$

Con la expresión adoptada para el coeficiente de escorrentía medio (CM) se igualan ambas ecuaciones, de manera que se puede escribir abreviadamente:

$$P2 = \frac{CAPA}{CI \cdot S_1 + CR \cdot S_2} \quad \text{en cualquier situación}$$

La disponibilidad hídrica promedio ($PROM$) en la unidad sistematizada se estima por ponderación:

$$PROM = \frac{S_1 \cdot PIMP + S_2 \cdot DESP}{S_1 + S_2}$$

Para calcular el coeficiente de escorrentía promedio (CP) en la ladera sistematizada ante una precipitación (P), vale la siguiente ecuación:

$$CP = \frac{P - PROM}{P} = 1 - \frac{PROM}{P}$$

CP será nulo si la lluvia ha sido inferior o igual a la precipitación límite (pues $PROM = P$), y tomará un valor comprendido entre cero y uno en caso contrario.

Si el coeficiente de escorrentía del área de recepción resulta superior al del área de impluvio ($CR > CI$) la unidad sistematizada tenderá a funcionar de manera inversa, es decir: el área de recepción aportará escorrentía al área de impluvio (en vez de al contrario). Para corregir esta tendencia, hay que dotar al área de recepción de un alcorque que posea un tamaño mínimo ($CAPMIN$). Dicho valor se obtiene igualando $DESP$ con $PIMP$.

Si $CR > CI$ entonces, al imponer que $DESP = PIMP$ se tiene:

$$P + E_{s1} - E_{s2} = P + CI \cdot P \cdot \frac{S_1}{S_2} - \frac{MAX - CAPMIN}{S_2} = P - E_{s1} = P - CI \cdot P$$

Operando: $CAPMIN = (CR - CI) \cdot P \cdot S_2$, tamaño que depende de la precipitación (P) considerada.

Para evaluar la disponibilidad hídrica en la ladera antes de la sistematización (ANTES) se utiliza la siguiente ecuación:

$$ANTES = P - CA \cdot P = P \cdot (1 - CA)$$

en donde:

$ANTES$ = Cantidad de agua que se infiltra en la ladera degradada antes de la sistematización (mm)

P = Precipitación del aguacero (mm)

CA = Coeficiente de escorrentía en la ladera degradada antes de la intervención (adimensional)

Notas:

- Las ecuaciones anteriores son válidas bajo la premisa de que todo lo que no escurra superficialmente se infiltre.
- Este planteamiento incorpora unas mejoras respecto del modelo MAUCO (Lemus *et al.*, 2003) al distinguir entre tres coeficientes de escorrentía (CA , CI y CR) e incorporar al área de recepción en los cálculos (S_2). De ahí que lo denominemos MAUCO GENERALIZADO.
- En una intervención (o preparación del suelo) habitual se cumplirá: $CA = CI$ y $CI \leq CR$. La primera igualdad será cierta siempre que no modifiquemos las características del área de impluvio respecto de la situación original de partida en la ladera. La segunda relación plantea el hecho de que al abrir la zanja de infiltración, el suelo que aflora en el área de recepción deja de ser el superficial por lo que suele ofrecer peores características hidrológicas (en cuyo caso: $CI < CR$).

- El método de los coeficientes de escurrimiento tropieza con una muy importante limitación práctica: que no existan tablas precisas (ni tan siquiera orientativas) para fijar coeficientes de escurrentía (o coeficientes de infiltración: $1-C$) . Así el modelo ofrece la solución al problema pero incorporando tres dudas (tres incógnitas) que, hoy por hoy, son insolventables: ¿Cuánto valen CA , CI y CR ?

3.- Relaciones entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva

Por definición, el coeficiente de escorrentía medio final de un aguacero vale: $C = \frac{E_s}{P}$.

La escorrentía superficial (E_s) que genera cualquier aguacero (P) se puede cuantificar mediante el método del número de curva (o de los complejos hidrológicos). Admitiendo la relación habitual: $P_0 = 0,2 \cdot S$, se tiene que:

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

siendo la escorrentía superficial nula si la precipitación no supera el umbral de escorrentía ($E_s = 0$ mm si $P \leq P_0$).

Sustituyendo en el cociente que calcula C :

$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{\frac{(P - P_0)^2}{P + 4 \cdot P_0}}{P} = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0} = \frac{P^2 - 2 \cdot P \cdot P_0 + P_0^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0} = \frac{\left(\frac{P}{P_0} - 1\right)^2 \cdot P_0^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0}$$

A su vez, el umbral de escorrentía (P_0) es función del número de curva:

$$P_0 = 0,2 \cdot \frac{25.400 - 254 \cdot N}{N} = \frac{5080 - 50,8 \cdot N}{N}$$

Al combinar estas dos últimas ecuaciones, se observa que el coeficiente de escorrentía depende de la precipitación analizada y del número de curva. Como éste es, a su vez, función del tipo de cubierta vegetal, del tratamiento o explotación del terreno, de sus condiciones hidrológicas, del tipo de suelo, y del grado de humedad del terreno al comienzo del aguacero, podemos escribir de forma abreviada que:

$$C = F(P, P_0) = F(P, N) = F(P, VV, TT, HH, TS, GH)$$

siendo:

- F = la función que hemos obtenido desarrollando el quebrado E_s/P
- P = la precipitación del aguacero considerado
- P_0 = el umbral de escorrentía del lugar
- N = el número de curva del lugar
- VV = la cubierta vegetal
- TT = tratamiento o explotación del terreno
- HH = condiciones hidrológicas del suelo
- TS = tipo de suelo

GH = grado de humedad antecedente

Las tablas habituales para estimar coeficientes de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura. En algunos casos también lo hacen depender de la pendiente y del periodo de retorno. Sin embargo, casi todas las tablas parecen olvidar dos hechos fundamentales en el proceso de formación de escorrentía, pues dicho coeficiente depende (y muy sustancialmente) de la precipitación y de las condiciones previas de humedad. Por si dicha imprecisión fuese pequeña, esas tablas consideran coeficientes de escorrentía derivados del método racional (y en consecuencia, referidos al tiempo de concentración (T_c)). Se trata de valores máximos durante el aguacero de diseño (para obtener caudales punta por el método racional). En cambio, en la aplicación que aquí necesitamos, los coeficientes de escorrentía deben ser valores medios globales, considerando todo el aguacero en su conjunto (¡ C en vez de \bar{C} !). Así se comprende, por ejemplo, que la ecuación propuesta para calcular coeficientes de escorrentía por el método racional del MOPU (1987) difiera de la expresión nuestra, ofreciendo siempre valores más altos.

$$C = \frac{E_s}{P} = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0} \quad \text{frente a} \quad \bar{C} = \frac{(P - P_0)(P + 23 \cdot P_0)}{(P + 11 \cdot P_0)^2} \quad [\text{MOPU, 1987}]$$

A partir de la relación existente entre el coeficiente de escorrentía y el número de curva, pueden obtenerse tablas de C mucho más confiables, que sustituyan a las tablas tradicionales (en donde el coeficiente de escorrentía se elige prácticamente “a ciegas” y –a poder ser– grande para estar del lado de la seguridad a la hora de fijar caudales punta). Ahora bien: estas nuevas tablas de C son de doble entrada, pues también dependen de la precipitación de cálculo que consideremos.

En el apartado 5 de este capítulo se reproducen varias tablas de coeficientes de escorrentía. También se ofrecen unas nuevas tablas de C , que rempazan con ventaja (desde el punto de vista conceptual, práctico y de precisión) a las que se suelen manejar. Una de estas tablas, válida para un aguacero de 50 mm y una condición media de humedad antecedente, figura en la página 13 (tabla 1). Las nuevas tablas son mucho más detalladas por lo que resulta más fácil identificar cualquier ladera en estudio con alguna de las descripciones de la tabla. Por otro lado, consideran coeficientes de escorrentía medios (o totales, C) en vez de máximos para T_c (es decir: \bar{C}), razón por la que son de aplicación directa para el estudio del endorreísmo en microcuencas. Han sido obtenidas a partir de las tablas generales del número de curva (en condición II de humedad y admitiendo que $P_0 = 0,2 \cdot S$) y aplicando la relación:

$$C = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0} = \frac{\left(P - \frac{5080 - 50,8 \cdot N}{N} \right)^2}{P^2 + P \cdot \frac{20320 - 203,2 \cdot N}{N}}$$

Consideran aguaceros desde 20 hasta 100 l/m² yendo de 20 en 20 mm. En el caso de que se necesiten coeficientes de escorrentía para aguaceros intermedios puede hacerse una interpolación o bien, transformar el número de curva obtenido en las tablas originales del SCS mediante la ecuación anterior.

Tabla 1. Determinación del coeficiente de escorrentía (para un aguacero de 50 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,22	0,42	0,58	0,69
	CR	Pobre	0,20	0,39	0,54	0,65
	CR	Buena	0,17	0,34	0,48	0,54
Cultivos alineados	R	Pobre	0,14	0,30	0,48	0,58
	R	Buena	0,08	0,24	0,39	0,51
	R + CR	Pobre	0,13	0,28	0,42	0,54
	R + CR	Buena	0,06	0,19	0,32	0,39
	C	Pobre	0,12	0,26	0,37	0,48
	C	Buena	0,06	0,19	0,32	0,42
	C + CR	Pobre	0,10	0,24	0,34	0,45
	C + CR	Buena	0,06	0,17	0,30	0,39
	C + T	Pobre	0,07	0,17	0,28	0,32
	C + T	Buena	0,04	0,13	0,24	0,30
	C + T + CR	Pobre	0,06	0,16	0,26	0,30
C + T + CR	Buena	0,03	0,12	0,22	0,28	
Cultivos no alineados, o con Surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,06	0,20	0,37	0,48
	R	Buena	0,05	0,19	0,34	0,45
	R + CR	Pobre	0,06	0,19	0,34	0,42
	R + CR	Buena	0,03	0,14	0,28	0,37
	C	Pobre	0,05	0,17	0,32	0,39
	C	Buena	0,03	0,16	0,30	0,37
	C + CR	Pobre	0,04	0,16	0,30	0,37
	C + CR	Buena	0,03	0,14	0,28	0,34
	C + T	Pobre	0,03	0,14	0,26	0,32
	C + T	Buena	0,02	0,12	0,24	0,30
	C + T + CR	Pobre	0,03	0,13	0,24	0,30
C + T + CR	Buena	0,02	0,10	0,22	0,28	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,07	0,22	0,39	0,51
	R	Buena	0,02	0,14	0,30	0,39
	C	Pobre	0,06	0,19	0,34	0,39
	C	Buena	0,01	0,10	0,24	0,34
	C + T	Pobre	0,05	0,16	0,28	0,34
	C + T	Buena	≈ 0	0,08	0,20	0,28
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,09	0,26	0,42	0,51
	-	Regulares	0	0,10	0,26	0,37
	-	Buenas	0	0,03	0,17	0,28
Pastizales	C	Pobres	0	0,08	0,30	0,48
	C	Regulares	0	0,02	0,19	0,34
	C	Buenas	0	0	0,12	0,26
Prados permanentes	-	-	0	0,02	0,13	0,24
Matorral-herbazal, siendo el Matorral preponderante	-	Pobres	0	0,08	0,22	0,34
	-	Regulares	0	0,01	0,12	0,22
	-	Buenas	0	0	0,06	0,16
Combinación de arbolado y Herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0,01	0,16	0,32	0,42
	-	Regulares	0	0,06	0,20	0,32
	-	Buenas	0	0,02	0,14	0,26
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0	0,07	0,22	0,34
	-	Regulares	0	0,03	0,16	0,26
	-	Buenas	0	0,01	0,12	0,22
Bosques	-	I Muy pobre	0,01	0,19	0,42	0,58
	-	II Pobre	0	0,09	0,24	0,37
	-	III Regular	0	0,03	0,12	0,20
	-	IV Buena	0	≈ 0	0,05	0,10
	-	V Muy buena	0	0	≈ 0	0,03
Caseríos	-	-	0,02	0,17	0,32	0,42
Caminos en tierra	-	-	0,14	0,32	0,45	0,51
Caminos en firme	-	-	0,17	0,37	0,54	0,61

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Antes de concluir este apartado debemos señalar algo evidente y que se deduce de los comentarios realizados hasta ahora: El método de los coeficientes de escorrentía se puede aplicar al diseño de sistemas de recolección de agua pero tropieza con el problema de la elección de dichos coeficientes. Cabe elaborar unas tablas de C como la que acabamos de desarrollar en la página precedente. Pero la verdad es que para semejante viaje no hacen falta alforjas. Es decir: lo más lógico es operar directamente con el método del número de curva, pues estas tablas no son sino una transformación de aquéllas, las originales del método de los complejos hidrológicos.

5.- Tablas de coeficientes de escorrentía

En las páginas siguientes figuran distintas tablas para determinar el coeficiente de escorrentía en una ladera. No se trata de una recopilación exhaustiva, pero sí extensa, que recoge las más citadas en la bibliografía y las más utilizadas en el diseño de zanjas de infiltración y canales de desviación. Las últimas seis tablas son las que hemos deducido a partir del método del número de curva, mediante la ecuación:

$$C = \frac{(P - P_0)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot P_0} = \frac{\left(P - \frac{5080 - 50,8 \cdot N}{N}\right)^2}{P^2 + P \cdot \frac{20320 - 203,2 \cdot N}{N}}$$

Tabla I. Coeficientes de escorrentía (\bar{C}) (en Aparicio (1999))

Tipo de superficie	Coeficiente de escorrentía	
	Mínimo	Máximo
Zona comercial	0,70	0,95
Vecindarios, zonas de edificios, edificaciones densas	0,50	0,70
Zonas residenciales unifamiliares	0,30	0,50
Zonas residenciales multifamiliares espaciadas	0,40	0,60
Zonas residenciales multifamiliares densas	0,60	0,75
Zonas residenciales semiurbanas	0,25	0,40
Zonas industriales espaciadas	0,50	0,80
Zonas industriales densas	0,60	0,90
Parques	0,10	0,25
Zonas deportivas	0,20	0,35
Estaciones e infraestructuras viarias del ferrocarril	0,20	0,40
Zonas suburbanas	0,10	0,30
Calles asfaltadas	0,70	0,95
Calles hormigonadas	0,70	0,95
Calles adoquinadas	0,70	0,85
Aparcamientos	0,75	0,85
Techados	0,75	0,95
Praderas (suelos arenosos con pendientes inferiores al 2%)	0,05	0,10
Praderas (suelos arenosos con pendientes intermedias)	0,10	0,15
Praderas (suelos arenosos con pendientes superiores al 7%)	0,15	0,20
Praderas (suelos arcillosos con pendientes inferiores al 2%)	0,13	0,17
Praderas (suelos arcillosos con pendientes intermedias)	0,18	0,22
Praderas (suelos arcillosos con pendientes superiores al 7%)	0,25	0,35

Tabla para determinar caudales punta por el método racional en zonas urbanas y periurbanas

Tabla II. Coeficientes de escorrentía, según Benítez *et al.* (1980), citado por Lemus & Navarro (2003)

COBERTURA DEL SUELO	TIPO DE SUELO	PENDIENTE (%)				
		> 50	20-50	5-20	1-5	0-1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Tabla para determinar 'indistintamente' caudales punta por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

Tabla III. Coeficientes de escorrentía, según Velasco-Molina (1991)

VEGETACIÓN	PENDIENTE (%)	TEXTURA DEL SUELO		
		Arenosa	Arcillosa y limosa	Arcilla
Bosques	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,25	0,35	0,50
	10-30	0,30	0,50	0,60
Pastizales	0-5	0,10	0,30	0,40
	5-10	0,16	0,36	0,55
	10-30	0,22	0,42	0,60
Terrenos de cultivo	0-5	0,30	0,50	0,60
	5-10	0,40	0,60	0,70
	10-30	0,52	0,72	0,82

Tabla para determinar 'indistintamente' caudales punta por el método racional y para dimensionar zanjas de infiltración

Tabla IV. Coeficientes de escorrentía (\bar{C}), según Rázuri (1984)

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronun- Ciada	Alta	Media	Suave	Despre- ciable
		50%	20%	5%	1%	
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos Vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques Vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Nota: Para zonas que se espera puedan ser quemadas se deben aumentar los coeficientes así:
 ♦ Cultivos: multiplicar por 1,10
 ♦ Pastos y vegetación ligera, hierba y grama, bosques y vegetación densa: multiplicar por 1,30

Tabla para determinar caudales punta por el método racional en el diseño de canales de desviación

Tabla V. Coeficientes de escorrentía (\bar{C}), en Chow *et al.* (1988)

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zonas rurales							
Campos de cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques, montes arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58
Nota: Los valores de esta tabla son los utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA) para determinar caudales punta por el método racional en su término municipal.							

Tabla para determinar caudales punta por el método racional en zonas urbanas y periurbanas de Austin (Texas)

Tabla VIa. Coeficientes de escorrentía (\bar{C}) para cuencas agrícolas y suelos de tipo B
(en Schwab *et al.* (1990))

Cubierta y condición hidrológica	Coeficientes \bar{C} según intensidad de lluvia		
	25,4 mm/h	101,6 mm/h	203,2 mm/h
Cultivo en surco (alineado), práctica deficiente	0,63	0,65	0,66
Cultivo en surco (alineado), práctica adecuada	0,47	0,56	0,62
Grano pequeño, práctica deficiente	0,38	0,38	0,38
Grano pequeño, práctica adecuada	0,18	0,21	0,22
Pradera, rotación buena	0,29	0,36	0,39
Pastizal permanente, bueno	0,02	0,17	0,23
Bosque forestal	0,02	0,10	0,15

Tabla para determinar caudales punta por el método racional en cuencas pequeñas de un solo cultivo en Coshocton (Ohio, Estados Unidos)

Tabla VIb. Factores de conversión para los tipos de suelo A, C y D (en Schwab *et al.* (1990))

Cubierta y condición hidrológica	Factor de conversión		
	Suelo tipo A	Suelo tipo C	Suelo tipo D
Cultivo en surco (alineado), práctica deficiente	0,89	1,09	1,12
Cultivo en surco (alineado), práctica adecuada	0,86	1,09	1,14
Grano pequeño, práctica deficiente	0,86	1,11	1,16
Grano pequeño, práctica adecuada	0,84	1,11	1,16
Pradera, rotación buena	0,81	1,13	1,18
Pastizal permanente, bueno	0,64	1,21	1,31
Bosque forestal	0,45	1,27	1,40

Los tipos de suelo señalados (A, B, C y D) se corresponden con los que contempla el método del número de curva Horn & Schwab (1963) también ofrecen estos datos en unos ábacos.

Tabla VIIa. Umbrales de escorrentía (P_0 , en mm) para condiciones medias de humedad (MOPU, 1987)

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R N	15 17	8 11	6 8	4 6
	< 3	R/N	20	14	11	8
Cultivos en hileras	≥ 3	R N	23 25	13 16	8 11	6 8
	< 3	R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R N	29 32	17 19	10 12	8 10
	< 3	R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R N	26 28	15 17	9 11	6 8
	< 3	R/N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R N	37 42	20 23	12 14	9 11
	< 3	R/N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	70	33	18	13
	< 3	Muy buena	80	41	22	15
		Pobre	58	25	12	7
		Media	80	35	17	10
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Buena	120	55	22	14
		Muy buena	250	100	25	16
		Pobre	62	26	15	10
	< 3	Media	80	34	19	14
Buena		100	42	22	15	
Pobre		75	34	19	14	
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)	≥ 3	Media	95	42	22	15
		Buena	150	50	25	16
		Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
Rocas permeables	≥ 3	Muy espesa	90	47	31	23
	< 3		120	65	43	33
Rocas impermeables	≥ 3		3			
	< 3		5			
	≥ 3		2			
	< 3		4			

R = Cultivo en líneas de máxima pendiente; N = Cultivo siguiendo curvas de nivel
 Las zonas abancaladas se incluyen entre aquéllas de pendiente menor que el 3%.
 A las superficies impermeables debe asignarse un umbral $P_0 \approx 0$ mm.

Esta tabla ha sido desarrollada a partir de las tablas generales del número de curva. Se encuadra dentro de un método para estimar caudales máximos en pequeñas cuencas naturales utilizando la ecuación racional modificada siguiente: $Q_{max} = \bar{C} \cdot i \cdot S$, siendo Q_{max} el caudal punta (en m^3/s), i la máxima intensidad media de lluvia en el intervalo

T_c (en mm/h), S la superficie de la cuenca (en km^2) y \bar{C} el coeficiente de escorrentía (adimensional) para el intervalo de tiempo en que se produce la intensidad de lluvia de cálculo (i). De acuerdo con el método del MOPU (1987) y su posterior ampliación (Témez, 1991), el coeficiente de escorrentía vale: $\bar{C} = \frac{(P - P_0)(P + 23 \cdot P_0)}{(P + 11 \cdot P_0)^2}$.

Conocida esta relación, se puede transformar la tabla VIIa en su equivalente para cualquier precipitación de diseño (P) deseada. La tabla VIIb ofrece estos valores para un aguacero de 50 mm.

Tabla VIIIb. Coeficientes de escorrentía (\bar{C}) para pequeñas cuencas naturales en condiciones medias de humedad (para un aguacero de 50 l/m²) (obtenido a partir de la tabla VIIa)

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE (%)	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	0,30	0,52	0,61	0,74
		N	0,26	0,40	0,52	0,61
	<3	R/N	0,21	0,32	0,40	0,52
Cultivos en hileras	≥ 3	R	0,17	0,35	0,52	0,61
		N	0,15	0,28	0,40	0,52
	<3	R/N	0,12	0,23	0,32	0,40
Cereales de invierno	≥ 3	R	0,11	0,26	0,44	0,52
		N	0,09	0,23	0,37	0,44
	<3	R/N	0,07	0,20	0,32	0,37
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	0,14	0,30	0,47	0,61
		N	0,12	0,26	0,40	0,52
	<3	R/N	0,10	0,23	0,35	0,44
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	0,06	0,21	0,37	0,47
		N	0,03	0,17	0,32	0,40
	<3	R/N	0,01	0,15	0,28	0,35
Praderas	≥ 3	Pobre	0,16	0,32	0,52	0,61
		Media	0	0,17	0,32	0,47
		Buena	0	0,08	0,24	0,35
		Muy buena	0	0,04	0,18	0,30
	< 3	Pobre	0	0,15	0,37	0,56
		Media	0	0,07	0,26	0,44
		Buena	0	0	0,18	0,32
		Muy buena	0	0	0,15	0,28
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	0	0,14	0,30	0,44
		Media	0	0,07	0,23	0,32
		Buena	0	0,03	0,18	0,30
	< 3	Pobre	0	0,07	0,23	0,32
		Media	0	0,03	0,18	0,30
		Buena	0	0	0,15	0,28
Masas forestales (bosques, monte bajo, etc.)		Muy clara	0,04	0,26	0,52	0,67
		Clara	0	0,16	0,32	0,44
		Media	0	0,07	0,18	0,28
		Espesa	0	0,01	0,09	0,17
		Muy espesa	0	0	0,03	0,08
Rocas permeables	≥ 3		0,81			
	< 3		0,67			
Rocas impermeables	≥ 3		0,89			
	< 3		0,74			

R = Cultivo en líneas de máxima pendiente; N = Cultivo siguiendo curvas de nivel
 Las zonas abancaladas se incluyen entre aquellas de pendiente menor que el 3%.
 A las superficies impermeables debe asignarse un umbral $P_0 \approx 0$ mm.

Tabla para determinar caudales punta por el método racional modificado del MOPU (1987) (para una lluvia de 50 mm)

Tabla VIIIa. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 20 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,02	0,13	0,28	0,43
	CR	Pobre	0,01	0,11	0,24	0,37
	CR	Buena	≈ 0	0,08	0,18	0,24
Cultivos alineados	R	Pobre	≈ 0	0,05	0,18	0,28
	R	Buena	0	0,02	0,11	0,21
	R + CR	Pobre	0	0,04	0,15	0,24
	R + CR	Buena	0	≈ 0	0,06	0,11
	C	Pobre	0	0,03	0,10	0,18
	C	Buena	0	0,01	0,06	0,13
	C + CR	Pobre	0	0,02	0,08	0,15
	C + CR	Buena	0	≈ 0	0,05	0,11
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,04	0,06
	C + T	Buena	0	0	0,02	0,05
	C + T + CR	Pobre	0	≈ 0	0,03	0,05
	C + T + CR	Buena	0	0	0,02	0,04
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0	0,01	0,1	0,18
	R	Buena	0	0,01	0,08	0,15
	R + CR	Pobre	0	0,01	0,08	0,13
	R + CR	Buena	0	≈ 0	0,04	0,09
	C	Pobre	0	≈ 0	0,06	0,11
	C	Buena	0	≈ 0	0,05	0,09
	C + CR	Pobre	0	≈ 0	0,05	0,09
	C + CR	Buena	0	≈ 0	0,04	0,08
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,03	0,06
	C + T	Buena	0	0	0,02	0,05
	C + T + CR	Pobre	0	0	0,02	0,05
	C + T + CR	Buena	0	0	0,01	0,04
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0	0,01	0,11	0,21
	R	Buena	0	≈ 0	0,05	0,11
	C	Pobre	0	0,01	0,08	0,11
	C	Buena	0	0	0,02	0,08
	C + T	Pobre	0	≈ 0	0,04	0,08
	C + T	Buena	0	0	0,01	0,04
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0	0,03	0,13	0,21
	-	Regulares	0	0	0,03	0,10
	-	Buenas	0	0	≈ 0	0,04
	-	Buenas	0	0	0	0,03
Pastizales	C	Pobres	0	0	0,05	0,18
	C	Regulares	0	0	0,01	0,08
	C	Buenas	0	0	0	0,03
Prados permanentes	-	-	0	0	0	0,02
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	0	0	0,02	0,08
	-	Regulares	0	0	0	0,02
	-	Buenas	0	0	0	≈ 0
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0	≈ 0	0,06	0,13
	-	Regulares	0	0	0,01	0,06
	-	Buenas	0	0	≈ 0	0,03
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0	0	0,02	0,08
	-	Regulares	0	0	≈ 0	0,03
	-	Buenas	0	0	0	0,02
Bosques	-	I Muy pobre	0	≈ 0	0,13	0,28
	-	II Pobre	0	0	0,02	0,09
	-	III Regular	0	0	0	0,01
	-	IV Buena	0	0	0	0
	-	V Muy buena	0	0	0	0
Caseríos	-	-	0	≈ 0	0,06	0,13
Caminos en tierra	-	-	≈ 0	0,06	0,15	0,21
Caminos en firme	-	-	≈ 0	0,09	0,24	0,32

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Tabla VIIIb. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 40 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,15	0,34	0,51	0,64
	CR	Pobre	0,14	0,32	0,47	0,59
	CR	Buena	0,11	0,27	0,40	0,47
Cultivos alineados	R	Pobre	0,09	0,22	0,40	0,51
	R	Buena	0,04	0,17	0,32	0,44
	R + CR	Pobre	0,08	0,21	0,37	0,47
	R + CR	Buena	0,02	0,12	0,25	0,32
	C	Pobre	0,07	0,19	0,29	0,40
	C	Buena	0,03	0,12	0,25	0,34
	C + CR	Pobre	0,06	0,17	0,27	0,37
	C + CR	Buena	0,02	0,11	0,22	0,32
	C + T	Pobre	0,03	0,11	0,21	0,25
	C + T	Buena	0,01	0,08	0,17	0,22
	C + T + CR	Pobre	0,03	0,10	0,19	0,22
C + T + CR	Buena	0,01	0,07	0,15	0,21	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,03	0,14	0,29	0,40
	R	Buena	0,02	0,12	0,27	0,37
	R + CR	Pobre	0,02	0,12	0,27	0,34
	R + CR	Buena	0,01	0,09	0,21	0,29
	C	Pobre	0,02	0,11	0,25	0,32
	C	Buena	0,01	0,10	0,22	0,29
	C + CR	Pobre	0,01	0,10	0,22	0,29
	C + CR	Buena	0,01	0,09	0,21	0,27
	C + T	Pobre	0,01	0,09	0,19	0,25
	C + T	Buena	≈ 0	0,07	0,17	0,22
	C + T + CR	Pobre	0,01	0,08	0,17	0,22
C + T + CR	Buena	≈ 0	0,06	0,15	0,21	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,03	0,15	0,32	0,44
	R	Buena	≈ 0	0,09	0,22	0,32
	C	Pobre	0,02	0,12	0,27	0,32
	C	Buena	0	0,06	0,17	0,27
	C + T	Pobre	0,02	0,10	0,21	0,27
	C + T	Buena	0	0,04	0,14	0,21
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,05	0,19	0,34	0,44
	-	Regulares	0	0,06	0,19	0,29
	-	Buenas	0	0,01	0,11	0,21
Pastizales	C	Pobres	0	0,04	0,22	0,40
	C	Regulares	0	≈ 0	0,12	0,27
	C	Buenas	0	0	0,07	0,19
Prados permanentes	-	-	0	≈ 0	0,08	0,17
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	0	0,04	0,15	0,27
	-	Regulares	0	≈ 0	0,07	0,15
	-	Buenas	0	0	0,03	0,10
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	≈ 0	0,10	0,25	0,34
	-	Regulares	0	0,02	0,14	0,25
	-	Buenas	0	≈ 0	0,09	0,19
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0	0,03	0,15	0,27
	-	Regulares	0	0,01	0,10	0,19
	-	Buenas	0	0	0,07	0,15
Bosques	-	I Muy pobre	≈ 0	0,12	0,34	0,51
	-	II Pobre	0	0,05	0,17	0,29
	-	III Regular	0	0,01	0,07	0,14
	-	IV Buena	0	0	0,02	0,06
	-	V Muy buena	0	0	0	0,01
Caseríos	-	-	≈ 0	0,11	0,25	0,34
Caminos en tierra	-	-	0,09	0,25	0,37	0,44
Caminos en firme	-	-	0,11	0,29	0,47	0,55

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Tabla VIIIc. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 50 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,22	0,42	0,58	0,69
	CR	Pobre	0,20	0,39	0,54	0,65
	CR	Buena	0,17	0,34	0,48	0,54
Cultivos alineados	R	Pobre	0,14	0,30	0,48	0,58
	R	Buena	0,08	0,24	0,39	0,51
	R + CR	Pobre	0,13	0,28	0,42	0,54
	R + CR	Buena	0,06	0,19	0,32	0,39
	C	Pobre	0,12	0,26	0,37	0,48
	C	Buena	0,06	0,19	0,32	0,42
	C + CR	Pobre	0,10	0,24	0,34	0,45
	C + CR	Buena	0,06	0,17	0,30	0,39
	C + T	Pobre	0,07	0,17	0,28	0,32
	C + T	Buena	0,04	0,13	0,24	0,30
	C + T + CR	Pobre	0,06	0,16	0,26	0,30
C + T + CR	Buena	0,03	0,12	0,22	0,28	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,06	0,20	0,37	0,48
	R	Buena	0,05	0,19	0,34	0,45
	R + CR	Pobre	0,06	0,19	0,34	0,42
	R + CR	Buena	0,03	0,14	0,28	0,37
	C	Pobre	0,05	0,17	0,32	0,39
	C	Buena	0,03	0,16	0,30	0,37
	C + CR	Pobre	0,04	0,16	0,30	0,37
	C + CR	Buena	0,03	0,14	0,28	0,34
	C + T	Pobre	0,03	0,14	0,26	0,32
	C + T	Buena	0,02	0,12	0,24	0,30
	C + T + CR	Pobre	0,03	0,13	0,24	0,30
C + T + CR	Buena	0,02	0,10	0,22	0,28	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,07	0,22	0,39	0,51
	R	Buena	0,02	0,14	0,30	0,39
	C	Pobre	0,06	0,19	0,34	0,39
	C	Buena	0,01	0,10	0,24	0,34
	C + T	Pobre	0,05	0,16	0,28	0,34
	C + T	Buena	≈ 0	0,08	0,20	0,28
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,09	0,26	0,42	0,51
	-	Regulares	0	0,10	0,26	0,37
	-	Buenas	0	0,03	0,17	0,28
Pastizales	C	Pobres	0	0,08	0,30	0,48
	C	Regulares	0	0,02	0,19	0,34
	C	Buenas	0	0	0,12	0,26
Prados permanentes	-	-	0	0,02	0,13	0,24
	-	Pobres	0	0,08	0,22	0,34
	-	Regulares	0	0,01	0,12	0,22
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Buenas	0	0	0,06	0,16
	-	Pobres	0,01	0,16	0,32	0,42
	-	Regulares	0	0,06	0,20	0,32
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Buenas	0	0,02	0,14	0,26
	-	Pobres	0	0,07	0,22	0,34
	-	Regulares	0	0,03	0,16	0,26
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Buenas	0	0,01	0,12	0,22
	-	I Muy pobre	0,01	0,19	0,42	0,58
	-	II Pobre	0	0,09	0,24	0,37
Bosques	-	III Regular	0	0,03	0,12	0,20
	-	IV Buena	0	≈ 0	0,05	0,10
	-	V Muy buena	0	0	≈ 0	0,03
	-	-	0,02	0,17	0,32	0,42
	-	-	0,14	0,32	0,45	0,51
Caseríos	-	-	0,17	0,37	0,54	0,61
Caminos en tierra	-	-	-	-	-	-
Caminos en firme	-	-	-	-	-	-

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Tabla VIIIId. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 60 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,28	0,48	0,63	0,74
	CR	Pobre	0,26	0,45	0,60	0,70
	CR	Buena	0,22	0,38	0,54	0,60
Cultivos alineados	R	Pobre	0,19	0,36	0,54	0,63
	R	Buena	0,13	0,30	0,45	0,57
	R + CR	Pobre	0,18	0,34	0,51	0,60
	R + CR	Buena	0,09	0,24	0,38	0,45
	C	Pobre	0,17	0,32	0,43	0,54
	C	Buena	0,10	0,24	0,38	0,48
	C + CR	Pobre	0,15	0,30	0,40	0,51
	C + CR	Buena	0,09	0,23	0,36	0,45
	C + T	Pobre	0,12	0,23	0,34	0,38
	C + T	Buena	0,08	0,18	0,30	0,36
	C + T + CR	Pobre	0,10	0,21	0,32	0,36
C + T + CR	Buena	0,07	0,17	0,28	0,34	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,10	0,26	0,43	0,54
	R	Buena	0,08	0,24	0,40	0,51
	R + CR	Pobre	0,09	0,24	0,40	0,48
	R + CR	Buena	0,06	0,19	0,34	0,43
	C	Pobre	0,08	0,23	0,38	0,45
	C	Buena	0,07	0,21	0,36	0,43
	C + CR	Pobre	0,08	0,21	0,36	0,43
	C + CR	Buena	0,06	0,19	0,34	0,40
	C + T	Pobre	0,07	0,19	0,32	0,38
	C + T	Buena	0,05	0,17	0,30	0,36
	C + T + CR	Pobre	0,06	0,18	0,30	0,36
C + T + CR	Buena	0,04	0,15	0,28	0,34	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,12	0,28	0,45	0,57
	R	Buena	0,04	0,19	0,36	0,45
	C	Pobre	0,09	0,24	0,40	0,45
	C	Buena	0,03	0,15	0,30	0,40
	C + T	Pobre	0,08	0,21	0,34	0,40
	C + T	Buena	0,01	0,13	0,26	0,34
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,14	0,32	0,48	0,57
	-	Regulares	≈ 0	0,15	0,32	0,43
	-	Buenas	0	0,07	0,22	0,34
Pastizales	C	Pobres	≈ 0	0,13	0,36	0,54
	C	Regulares	0	0,05	0,24	0,40
	C	Buenas	0	0	0,17	0,32
Prados permanentes	-	-	0	0,04	0,18	0,30
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	≈ 0	0,13	0,28	0,40
	-	Regulares	≈ 0	0,03	0,17	0,28
	-	Buenas	≈ 0	≈ 0	0,10	0,21
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0,04	0,21	0,38	0,48
	-	Regulares	0	0,10	0,26	0,38
	-	Buenas	0	0,04	0,19	0,32
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0	0,12	0,28	0,40
	-	Regulares	0	0,06	0,21	0,32
	-	Buenas	0	0,03	0,17	0,28
Bosques	-	I Muy pobre	0,03	0,24	0,48	0,63
	-	II Pobre	≈ 0	0,14	0,30	0,43
	-	III Regular	≈ 0	0,06	0,17	0,30
	-	IV Buena	0	0,01	0,08	0,15
	-	V Muy buena	0	0	0,02	0,07
Caseríos	-	-	0,05	0,23	0,38	0,48
Caminos en tierra	-	-	0,19	0,38	0,51	0,57
Caminos en firme	-	-	0,23	0,43	0,60	0,66

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Tabla VIII. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 80 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,37	0,57	0,70	0,79
	CR	Pobre	0,35	0,54	0,67	0,76
	CR	Buena	0,32	0,50	0,62	0,67
Cultivos alineados	R	Pobre	0,29	0,45	0,62	0,70
	R	Buena	0,21	0,39	0,54	0,65
	R + CR	Pobre	0,27	0,43	0,59	0,67
	R + CR	Buena	0,17	0,34	0,48	0,54
	C	Pobre	0,25	0,41	0,52	0,62
	C	Buena	0,18	0,34	0,48	0,57
	C + CR	Pobre	0,24	0,39	0,50	0,59
	C + CR	Buena	0,17	0,32	0,45	0,54
	C + T	Pobre	0,20	0,32	0,43	0,48
	C + T	Buena	0,15	0,27	0,39	0,45
	C + T + CR	Pobre	0,18	0,30	0,41	0,45
C + T + CR	Buena	0,13	0,25	0,37	0,43	
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,18	0,35	0,52	0,62
	R	Buena	0,16	0,34	0,50	0,59
	R + CR	Pobre	0,17	0,34	0,50	0,57
	R + CR	Buena	0,12	0,29	0,43	0,52
	C	Pobre	0,16	0,32	0,48	0,54
	C	Buena	0,13	0,30	0,45	0,52
	C + CR	Pobre	0,15	0,30	0,45	0,52
	C + CR	Buena	0,12	0,29	0,43	0,50
	C + T	Pobre	0,13	0,29	0,41	0,48
	C + T	Buena	0,11	0,25	0,39	0,45
	C + T + CR	Pobre	0,12	0,27	0,39	0,45
C + T + CR	Buena	0,10	0,24	0,37	0,43	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,20	0,37	0,54	0,65
	R	Buena	0,10	0,29	0,45	0,54
	C	Pobre	0,17	0,34	0,50	0,54
	C	Buena	0,07	0,24	0,39	0,50
	C + T	Pobre	0,16	0,30	0,43	0,50
	C + T	Buena	0,04	0,21	0,35	0,43
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,22	0,41	0,57	0,65
	-	Regulares	0,03	0,24	0,41	0,52
	-	Buenas	≈ 0	0,13	0,32	0,43
Pastizales	C	Pobres	0,02	0,21	0,45	0,62
	C	Regulares	0	0,11	0,34	0,50
	C	Buenas	0	0	0,25	0,41
Prados permanentes	-	-	0	0,10	0,27	0,39
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	0,03	0,21	0,37	0,50
	-	Regulares	0	0,08	0,25	0,37
	-	Buenas	0	0,03	0,18	0,30
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0,09	0,30	0,48	0,57
	-	Regulares	0,01	0,18	0,35	0,48
	-	Buenas	0	0,10	0,29	0,41
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0,01	0,20	0,37	0,50
	-	Regulares	0	0,12	0,30	0,41
	-	Buenas	0	0,07	0,25	0,37
Bosques	-	I Muy pobre	0,08	0,33	0,57	0,70
	-	II Pobre	0,02	0,22	0,39	0,52
	-	III Regular	0	0,12	0,25	0,35
	-	IV Buena	0	0,05	0,16	0,24
	-	V Muy buena	0	0,01	0,07	0,13
Caseríos	-	-	0,11	0,32	0,48	0,57
Caminos en tierra	-	-	0,29	0,48	0,59	0,65
Caminos en firme	-	-	0,32	0,52	0,67	0,73

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

Tabla VIII f. Determinación del coeficiente de escorrentía C (para un aguacero de 100 mm y condición II de humedad)

TIPO DE VEGETACIÓN	TRATAMIENTO	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	TIPO DE SUELO			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	0,45	0,63	0,75	0,83
	CR	Pobre	0,43	0,61	0,73	0,80
	CR	Buena	0,39	0,57	0,68	0,73
Cultivos alineados	R	Pobre	0,36	0,53	0,68	0,75
	R	Buena	0,28	0,47	0,61	0,70
	R + CR	Pobre	0,34	0,51	0,66	0,73
	R + CR	Buena	0,24	0,41	0,55	0,61
	C	Pobre	0,33	0,49	0,59	0,68
	C	Buena	0,25	0,41	0,55	0,63
	C + CR	Pobre	0,31	0,47	0,57	0,66
	C + CR	Buena	0,24	0,39	0,53	0,61
	C + T	Pobre	0,27	0,39	0,51	0,55
	C + T	Buena	0,21	0,34	0,47	0,53
	C + T + CR	Pobre	0,25	0,38	0,49	0,53
C + T + CR	Buena	0,20	0,33	0,45	0,51	
Cultivos no alineados, o con Surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	0,25	0,43	0,59	0,68
	R	Buena	0,22	0,41	0,57	0,66
	R + CR	Pobre	0,24	0,41	0,57	0,63
	R + CR	Buena	0,19	0,36	0,51	0,59
	C	Pobre	0,22	0,41	0,55	0,61
	C	Buena	0,20	0,38	0,53	0,59
	C + CR	Pobre	0,21	0,38	0,53	0,59
	C + CR	Buena	0,19	0,36	0,51	0,57
	C + T	Pobre	0,20	0,36	0,49	0,55
	C + T	Buena	0,17	0,33	0,47	0,53
	C + T + CR	Pobre	0,19	0,34	0,47	0,53
C + T + CR	Buena	0,16	0,31	0,45	0,51	
Cultivos densos de leguminosas o prados en alternancia	R	Pobre	0,27	0,45	0,61	0,70
	R	Buena	0,16	0,36	0,53	0,61
	C	Pobre	0,24	0,41	0,57	0,61
	C	Buena	0,13	0,31	0,47	0,57
	C + T	Pobre	0,22	0,38	0,51	0,57
	C + T	Buena	0,09	0,28	0,43	0,51
Pastizales o pastos naturales	-	Pobres	0,30	0,49	0,63	0,70
	-	Regulares	0,07	0,31	0,49	0,59
	-	Buenas	0,01	0,20	0,39	0,51
Pastizales	C	Pobres	0,06	0,28	0,53	0,68
	C	Regulares	0	0,17	0,41	0,57
	C	Buenas	0	≈ 0	0,33	0,49
Prados permanentes	-	-	0	0,16	0,34	0,47
Matorral-herbazal, siendo el matorral preponderante	-	Pobres	0,06	0,28	0,45	0,57
	-	Regulares	≈ 0	0,14	0,33	0,45
	-	Buenas	≈ 0	0,06	0,25	0,38
Combinación de arbolado y Herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	0,15	0,38	0,55	0,63
	-	Regulares	0,03	0,25	0,43	0,55
	-	Buenas	0	0,16	0,36	0,49
Montes con pastos (aprovechamientos silvopastorales)	-	Pobres	0,04	0,27	0,45	0,57
	-	Regulares	≈ 0	0,19	0,38	0,49
	-	Buenas	0	0,13	0,33	0,45
Bosques	-	I Muy pobre	0,14	0,41	0,63	0,75
	-	II Pobre	0,05	0,30	0,47	0,59
	-	III Regular	≈ 0	0,19	0,33	0,43
	-	IV Buena	0	0,10	0,22	0,31
	-	V Muy buena	0	0,03	0,12	0,20
Caseríos	-	-	0,17	0,39	0,55	0,63
Caminos en tierra	-	-	0,36	0,55	0,66	0,70
Caminos en firme	-	-	0,39	0,59	0,73	0,78

CR = Cubierta de residuos; R = Labores en línea recta; C = Labores en curvas de nivel; T = Terrazas

6.- Bibliografía

- Aparicio Mijares, F.J.; 1999. *Fundamentos de Hidrología de Superficie* (p. 210). Limusa. México.
- Benítez, C.; Arias, W. & Quiroz, J.; 1980. *Manual de conservación de suelos y aguas*. Ministerio de Agricultura y Alimentación. Lima (Perú)
- Chow, V.T. ; Maidment, D.R. & Mays, L.W.; 1988. *Applied Hydrology* (p. 498). McGraw-Hill. Nueva York
- Gash, J.H.C.; 1979. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105: 43 - 55
- Horn, D.L. & Schwab, G.O.; 1963. Evaluation of rational runoff coefficients for small agricultural watersheds. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 6: 195 – 198, 201
- Kittredge, J.; 1948. *Forest influences*. McGraw-Hill. Nueva York
- Lemus, M. & Navarro, G.; 2003. *Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo*. Corporación Forestal Nacional. San Fernando (Chile)
- Martínez de Azagra, A. & Navarro Hevia, J.; 1996. *Hidrología Forestal. El ciclo hidrológico* (p. 25, 26, 202). Universidad de Valladolid
- MOPU; 1987. *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales*. Ministerio de Obras Públicas. Madrid
- Rázuri Ramírez, L.; 1984. *Estructura de conservación de suelos y aguas* (p. 7 – 33). Serie Riego y Drenaje, 32 (RD-32). Centro Interamericano de Desarrollo de Agua y Tierras. Mérida. Venezuela
- Rutter, A.J.; Kershaw, K.A.; Robins, P.C. & Morton, A.J.; 1971. A predictive model of rainfall interception in forests, I. Derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agricultural Meteorology*, 9: 367 – 384
- Schwab, G.O.; Frevert, R.K.; Edminster, T.W. & Barnes, K.K.; 1990. *Ingeniería de conservación de suelos y aguas* (p. 92 - 94). Limusa. Méjico
- Singh, V.P.; 1988. *Hydrologic systems. Rainfall-runoff modeling. Volumen I* (p. 122 – 128). Prentice Hall. Englewood Cliffs (Estados Unidos)
- Témez, J.R.; 1991. Extended and improved rational method. Version of the Highways Administration of Spain. En: *Proceedings of the XXIV IAHR Congress*. Volumen A; p. 33 – 40. Madrid
- Velasco-Molina, H.A.; 1991. *Las zonas áridas y semiáridas. Sus características y manejo*. Limusa. México D.F.