

Artículo científico

# Caracterización de las pérdidas por infiltración con análisis estadístico de precipitación y escurrimiento



R. Domínguez Mora<sup>a</sup>, M.L. Arganis-Juárez<sup>a,b,\*</sup>, E. Carrizosa Elizondo<sup>a</sup> y G. Esquivel Garduño<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

### Historia del artículo:

Recibido el 9 de diciembre de 2015

Aceptado el 6 de abril de 2016

On-line el 11 de mayo de 2016

### Palabras clave:

Coefficiente de escurrimiento

Número de curva

Precipitación

Escurrecimiento

Cuencas de México

## R E S U M E N

En este estudio se obtuvieron coeficientes de escurrimiento para tormentas asociadas a distintos periodos de retorno a partir del análisis estadístico de la precipitación y del escurrimiento y a partir del método del número de curva. Para ello se analizaron cerca de 100 cuencas en distintos sitios de México que contaban con más de 20 años de registro en la estación hidrométrica además de tener escasas alteraciones por la construcción de obras hidráulicas, sin almacenamientos significativos aguas arriba de la estación hidrométrica, con un tiempo de concentración estimado de menos de 12 h y con una relación menor a 0,5 entre la media de los gastos diarios máximos anuales y la media de los gastos instantáneos máximos anuales. Se encontró que los coeficientes de escurrimiento aumentan conforme aumenta la precipitación media en las cuencas, pero tienden asintóticamente a un valor límite; que la pendiente de la cuenca es un parámetro muy importante que determina en buena parte los coeficientes de escurrimiento y que el método del número de escurrimiento sobrestima la lluvia efectiva y, por lo tanto, el coeficiente de escurrimiento. La sobrestimación tiende a ser mayor conforme la precipitación media en la cuenca aumenta.

© 2016 IAHR y WCCE. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Characterization of infiltration losses with statistical analysis of rainfall and runoff

### A B S T R A C T

In this study runoff coefficients for different return periods from statistical analysis of rainfall and runoff and from the curve number method were obtained. For this purpose about 100 basins in different places of Mexico with more than 20 years of record in the hydrometric station were analyzed besides having few alterations by the construction of waterworks, without significant storage upstream of the hydrometric station, with an estimated time of concentration, less than 12 hours and with a ratio between the average of the annual maximum daily runoff and the average of the instantaneous maximum annual runoff lower than 0.5. It was found that runoff coefficients increase with increasing rainfall in the basin, but asymptotically tend to a limit value; the slope of the basin is a very important parameter which largely determines the runoff coefficients and the Curve number method overestimates the effective rainfall runoff and, therefore, the runoff coefficient. The overestimation tends to be higher as the rainfall in the basin increases.

© 2016 IAHR y WCCE. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Keywords:

Runoff coefficient

Curve number

Rainfall

Runoff

Basins of Mexico

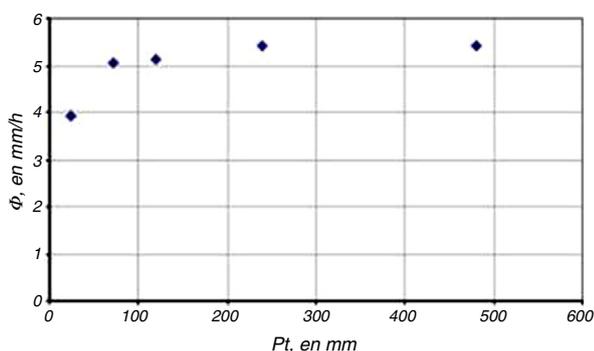
## 1. Introducción

La cuantificación de las pérdidas por infiltración para estimar la precipitación efectiva que contribuye al escurrimiento directo no es

un problema trivial. Los tres métodos tradicionalmente utilizados para su estimación (método del coeficiente de escurrimiento [Ce], índice de infiltración  $\phi$  y número de curva CN del USSC) permiten obtener estimaciones confiables para un caso específico en el que se cuente con mediciones de lluvias y escurrimientos, pero no se puede generalizar el uso de un dato de Ce, del índice de infiltración  $\phi$  o del número de escurrimiento N ya que su comportamiento varía no solo de una cuenca a otra, sino que además depende de la

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [marganisj@ingen.unam.mx](mailto:marganisj@ingen.unam.mx) (M.L. Arganis-Juárez).



**Figura 1.** Comportamiento del índice de infiltración  $\phi$  contra la precipitación total Pt en una cuenca hipotética.

magnitud del evento de precipitación y de la condición de humedad antecedente de la cuenca [1]. Cuando se dibujan los valores de  $\phi$ , Ce y CN con respecto a la precipitación total Pt se obtienen figuras en las que se observa que, para una cuenca hipotética analizada, conforme aumenta la precipitación, el índice de infiltración  $\phi$  y el Ce tienen un comportamiento creciente asintótico hacia un valor final que, en el caso de  $\phi$ , es el valor de la capacidad de infiltración media de la cuenca, mientras que el número de curva CN disminuye gradualmente (fig. 1). Cuando se analizan los datos reportados en diversos estudios con distintos eventos de tormenta, el comportamiento de los parámetros Ce y  $\phi$  no parece tener correlación con la precipitación total ni se observa una tendencia hacia un valor final conforme esta aumenta, mientras que el número de curva CN sí parece tener un comportamiento exponencial decreciente y asintótico conforme la precipitación aumenta (fig. 2) [2].

González [3], realizó un análisis de la relación de los procesos lluvia escurrimiento e implementó modelos de regresión para hallar los coeficientes de cada función de correlación; posteriormente usó el método de los números de escurrimiento para conocer el intervalo de valores que toman los números de escurrimiento en los sitios de monitorización que establecieron la CONAGUA y la Universidad Autónoma de Chiapas, de donde se tomaron muestras de suelo para la clasificación de la textura, adicionalmente se usaron instrumentos para medir la precipitación, el escurrimiento

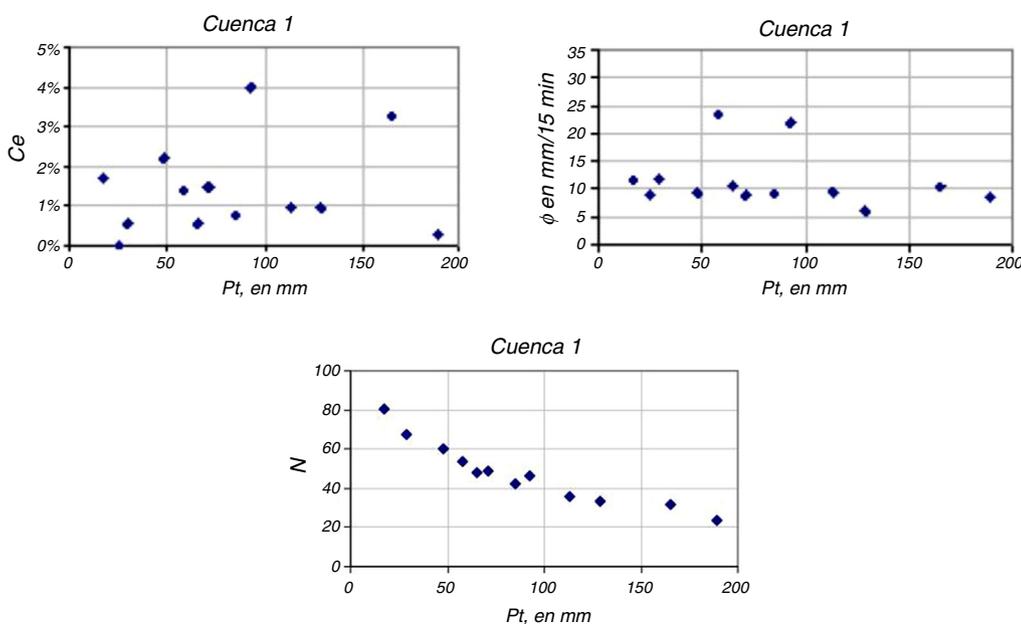
y la humedad; obtuvo grandes diferencias en el número de escurrimiento de las cuencas instrumentadas, en particular dos que tenían la misma cobertura vegetal, y atribuyó estas diferencias en el número CN a características del suelo y a las propiedades hidráulicas, o a las ligeras variaciones en las especies vegetales a pesar de tener la misma cobertura de suelo. Los resultados anteriores indican que en las cuencas reales es difícil encontrar el comportamiento que se observa en una cuenca ideal en la que la precipitación ocurre uniformemente sobre toda el área. Esto se debe a que la lluvia no es espacial ni temporalmente uniforme dentro de la cuenca y posiblemente a que las tormentas analizadas no son lo suficientemente grandes. En general puede decirse que el número de curva CN se comporta de manera más regular y predecible que los otros dos índices. Todo lo anterior justifica el cálculo de coeficientes de escurrimientos en cada cuenca o región y de números de curva CN, cuando se tienen datos medidos de precipitación total y escurrimiento directo.

En este estudio se utilizaron cerca de 100 cuencas seleccionadas según los siguientes criterios: a) con más de 20 años de registro en la estación hidrométrica, b) con pocas alteraciones por la construcción de obras hidráulicas y sin almacenamientos significativos aguas arriba de la estación hidrométrica, c) con un tiempo de concentración estimado de menos de 12 h y d) con una relación menor a 0,5 entre la media de los gastos diarios máximos anuales y la media de los gastos instantáneos máximos anuales. Se aplicó una metodología para el cálculo de los coeficientes de escurrimiento basada en el análisis estadístico tanto de los gastos medios diarios registrados en las estaciones hidrométricas como de la precipitación obtenida con la información de las estaciones climatológicas; así que por medio de la relación entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen de la lluvia total se obtienen coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno. Además se calcularon coeficientes de escurrimiento derivados del método del número de curva y se realizó una comparación de resultados.

## 2. Metodología

### 2.1. Introducción

Para el cálculo de los coeficientes de escurrimiento se realiza el análisis estadístico tanto de los gastos medios diarios registrados



**Figura 2.** Variación de Ce,  $\phi$  y N con la precipitación total. Cuenca 1. (Ubicada en Chamela, Jalisco, México).

en las estaciones hidrométricas como de la precipitación obtenida con la información de las estaciones climatológicas; así que por medio de la relación entre el volumen de escurrimiento directo y el volumen de la lluvia total se obtienen coeficientes de escurrimiento para diferentes periodos de retorno.

## 2.2. Análisis de la información hidrométrica

Se identificaron cerca de 100 estaciones hidrométricas con más de 20 años de registros y cuyas cuencas no presenten almacenamientos o extracciones importantes para garantizar que los registros puedan ser analizados probabilísticamente. Adicionalmente las estaciones fueron seleccionadas considerando que sus cuencas de drenaje tienen un tiempo de concentración menor a 12 h. Para cada estación hidrométrica se determinan los valores máximos anuales de los registros de gasto medio diario y se realiza un análisis de frecuencia para estimar eventos para diferentes periodos de retorno (Q). Para la mayoría de las cuencas estudiadas se obtiene un mejor ajuste con las funciones Gumbel y doble Gumbel (ver figuras en la sección de resultados).

El volumen de escurrimiento ( $V_e$ ) se obtiene con la expresión:

$$V_e = Qt \quad (1)$$

Donde:

Q es el gasto medio diario y  $t$  es la duración (24 h para el caso analizado).

## 2.3. Análisis de simultaneidad de lluvias

En el cálculo de la precipitación media de una cuenca es importante considerar que los eventos extremos de lluvia no ocurren de forma homogénea en toda la cuenca; es decir que los valores máximos anuales de lluvia no se presentan de forma simultánea en todas las estaciones. De este modo, si se calcula la precipitación media considerando el valor máximo puntual de cada estación se va a sobrestimar la lluvia media; así que para este trabajo se calculan valores de lluvia simultánea diaria como se explica a continuación. Se selecciona el periodo de análisis cuidando que se disponga del mayor número de años de registro y que se cuente al mismo tiempo con la mayor cantidad posible de estaciones climatológicas; además se realiza una depuración de los registros para identificar valores extraños que puedan causar errores en el análisis. Se calcula para cada día el promedio aritmético de la lluvia acumulada en 24 h y se selecciona en cada año el valor máximo para realizar un análisis de frecuencias y estimar eventos de precipitación simultánea,  $P_s$ , para diferentes periodos de retorno. Para el caso de las lluvias también se obtiene un mejor ajuste con la función Gumbel o doble Gumbel en las cuencas analizadas (ver figuras en la sección de resultados). El volumen total de lluvia ( $V$ ) se calcula por medio de la ecuación 2.

$$V = P_s A \quad (2)$$

Donde:

A es el área de drenaje de cada cuenca en unidades consistentes.

## 2.4. Cálculo del coeficiente de escurrimiento

Los coeficientes de escurrimiento derivados de los registros hidrométricos se calculan por medio de la siguiente ecuación.

$$C_e = V_e / V \quad (3)$$

Donde:

$V_e$  es el volumen de escurrimiento obtenido con la ecuación 1 y

$V$  es el volumen total de lluvia de la ecuación 2.

La precipitación en exceso se calcula por medio del producto del coeficiente de escurrimiento  $C_e$  por la precipitación total simultánea  $P_s$ .

$$P_e = C_e P_s \quad (4)$$

## 2.5. Aplicación del método del número de curva

El método del número de curva fue desarrollado por el Soil Conservation Service (actualmente National Resources Conservation Service) para calcular las pérdidas de precipitación que se presentan en una tormenta por medio de la siguiente ecuación.

$$P_e = \frac{(P \frac{5080}{CN} + 50, 8)^2}{P + \frac{20820}{CN} 203, 2} \quad (5)$$

Donde:  $P$  es la lámina total de precipitación, en mm;  $P_e$  es la precipitación de exceso, en mm;  $CN$  es el parámetro denominado número de curva que depende del tipo y uso del suelo.

La primera versión del método del número de curva fue propuesta hacia los años cincuenta y ha tenido una gran aceptación en la modelación hidrológica; sin embargo una de las principales limitaciones del método es que fue desarrollado a partir de la información de cuencas agrícolas de la zona oeste de los Estados Unidos; así que para su aplicación en otros lugares del mundo requiere que se lleven a cabo estudios locales para evaluar si sus resultados se ajustan a la realidad [4]. Además, por su formulación, el método del número de curva es más sensible a cambios en los valores de  $CN$  (estimados de forma indirecta y compleja) que a los valores de la precipitación total que pueden ser medidos o estimados con una menor incertidumbre [5]. Se calculan valores de coeficiente de escurrimientos derivados de la aplicación del método del número de curva por medio de la ecuación 6, donde se relaciona la precipitación en exceso ( $P_e$ ) con la precipitación total calculada de forma simultánea ( $P_s$ ).

$$C_e(CN) = \frac{P_e}{P_s} \quad (6)$$

Finalmente se realiza una comparación entre los resultados obtenidos a partir de los registros de las estaciones hidrométricas y los resultados del método del número de curva.

## 3. Aplicación y resultados

### 3.1. Datos de precipitación diaria

El procedimiento descrito para la estimación de coeficientes de escurrimientos se aplicó a las cuencas aforadas en 100 estaciones hidrométricas localizadas en las 37 regiones hidrológicas (RH) en la que se divide México para su estudio (fig. 3). Para cada una de las cuencas se identificaron las estaciones climatológicas cercanas, considerando un radio variable según el área de la cuenca. En la figura 4 se ejemplifica un caso de las estaciones climatológicas consideradas, representadas por la clave con que aparecen en la base de datos CLICOM.

### 3.2. Ejemplo de obtención de coeficientes de escurrimiento

A continuación se detalla la aplicación de la metodología descrita al caso de la cuenca de la estación hidrométrica 22017 Ixtepec de la RH22. Se obtuvieron los valores promedios aritméticos de precipitación de cada día y de cada año considerando los años en los cuales se tiene registro simultáneo en al menos 4 estaciones climatológicas, en la tabla 1 se muestra el número de estaciones consideradas para cada año de registro. Los promedios máximos se ordenaron de mayor a menor y se les realizó un análisis estadístico obteniendo como función de mejor ajuste una de tipo Gumbel

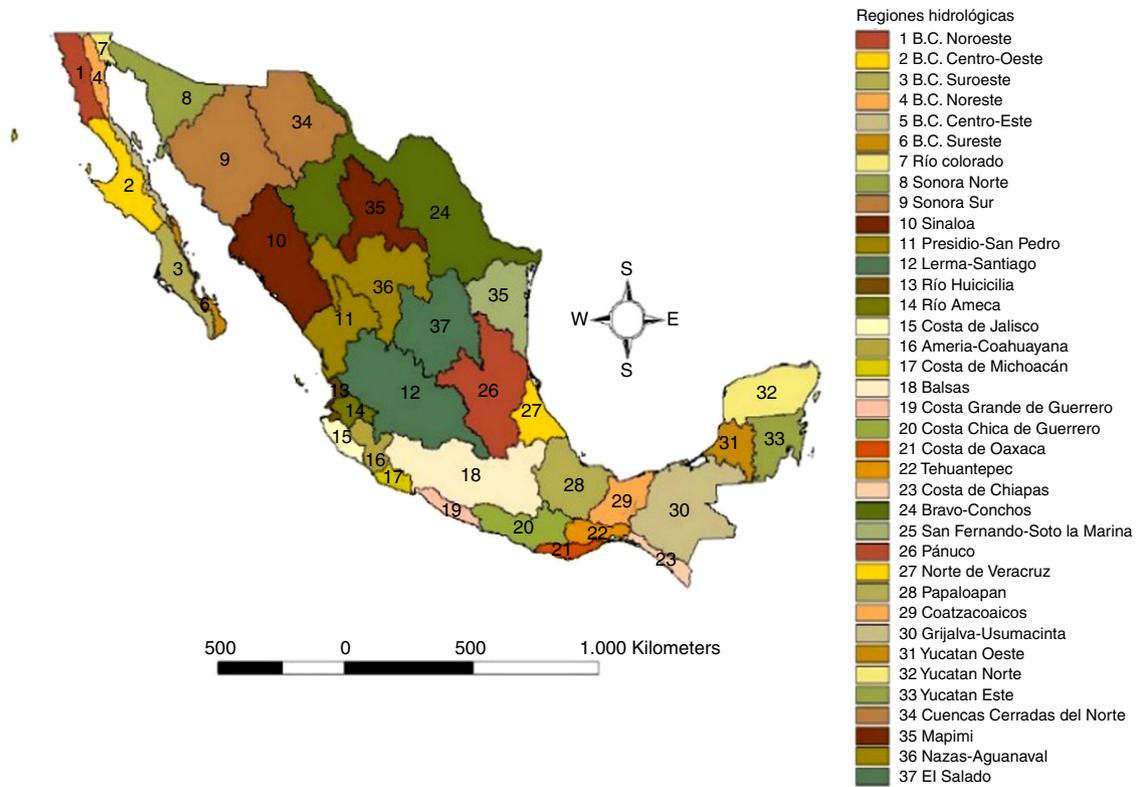


Figura 3. Regiones hidrológicas de la República Mexicana.

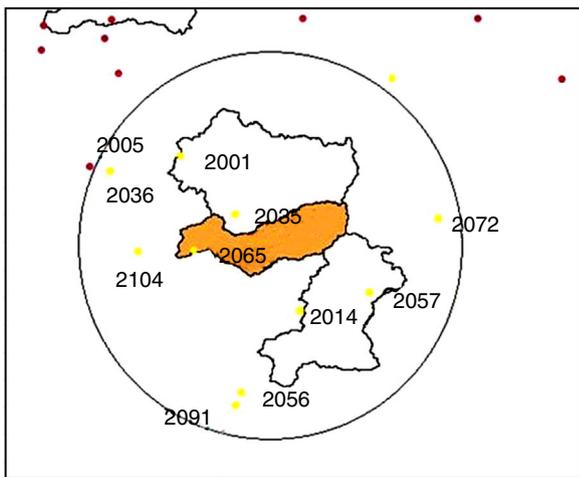


Figura 4. Estaciones climatológicas cercanas a la Estación hidrométrica 22017.

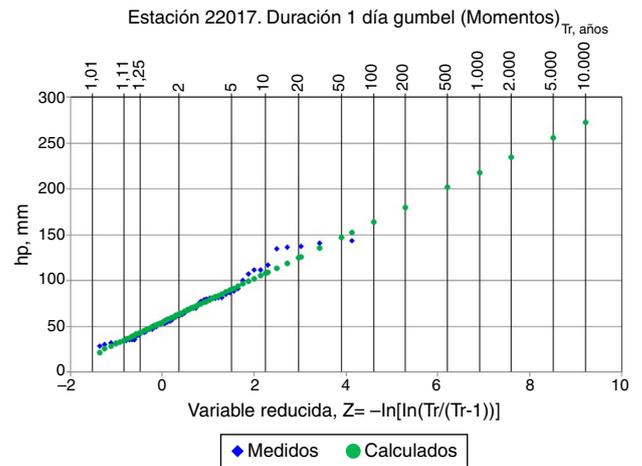


Figura 5. Resultados del ajuste de los promedios máximos anuales de precipitación para la cuenca de la Estación 22017. Función Gumbel.

(fig. 5), con sus parámetros estimados por el método de momentos. Con los datos de precipitación extrapolados para distintos periodos de retorno y con el área de la cuenca de la estación hidrométrica 22017 (886 km<sup>2</sup>) se obtuvieron los volúmenes totales llovidos. Por otra parte, se realizó el ajuste de los gastos medios diarios máximos anuales, utilizando la función doble Gumbel con la que se obtuvo el mejor ajuste (fig. 6). Con los valores de los gastos extrapolados para distintos periodos de retorno se obtuvieron los volúmenes escurridos. Al dividir, para cada periodo de retorno, el volumen escurrido entre el volumen llovido, se obtuvieron los coeficientes de escurrimiento. El detalle de estos cálculos aparece en la tabla 2.

Con el número de escurrimiento de la estación hidrométrica (CN=81) y los datos de la precipitación extrapolada se obtuvo

también la precipitación efectiva por este método para comparar resultados (tabla 3).

En la tabla 3 se observa que el método del número de escurrimiento sobrestima la lluvia efectiva y, por lo tanto, el coeficiente de escurrimiento, y que la sobrestimación es mayor conforme aumenta el periodo de retorno.

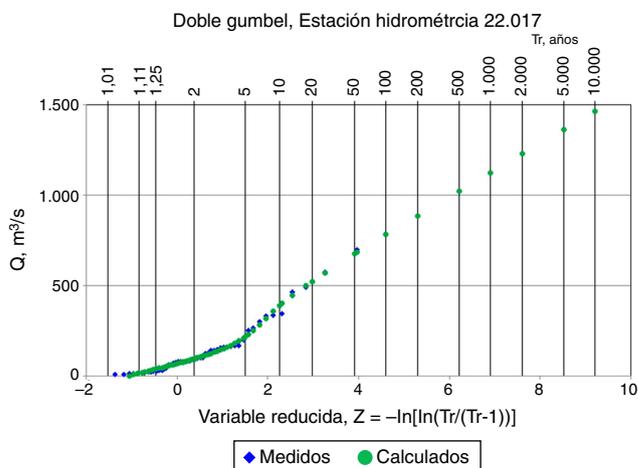
Adicionalmente, del estudio regional realizado por Guzmán et al. [6], se contó con información de los factores regionales de la relación del gasto máximo instantáneo con respecto a su media histórica para distintos periodos de retorno; para la región hidrológica RH22 se formaron dos grupos homogéneos de gastos medios diarios máximos anuales normalizados. La hidrométrica 2017 se colocó en el grupo 2 en ese estudio, así que, con la media histórica

**Tabla 1**  
Precipitaciones medias máximas anuales y número de estaciones pluviométricas consideradas. Estación hidrométrica 22017

Año	N.º Estaciones	Promedio simultáneo mm	Prom no simultáneo mm	Fact red área
1978	7	184,24	188,31	0,98
1980	7	68,09	98,36	0,69
1981	7	140,17	161,47	0,87
1977	6	81,35	103,28	0,79
1982	6	34,52	53,12	0,65
1983	6	48,97	78,97	0,62
1984	6	76,97	104,77	0,73
1986	6	65,07	78,42	0,83
1987	6	29,18	71,55	0,41
2003	6	87,45	123,42	0,71
1962	5	73,08	89,02	0,82
1963	5	73,44	91,52	0,80
1964	5	44,18	93,2	0,47
1965	5	30,02	62,6	0,48
1966	5	76,1	98,14	0,78
1968	5	42,82	70,8	0,60
1970	5	130,72	157,48	0,83
1971	5	93,02	94,32	0,99
1972	5	51,42	68,76	0,75
1973	5	195,22	197,02	0,99
1974	5	146,72	181,78	0,81
1975	5	92,42	129,76	0,71
1976	5	82	103,5	0,79
1979	5	122,36	168,14	0,73
1988	5	90,76	119,94	0,76
1989	5	59,06	97,18	0,61
1990	5	31,44	66,98	0,47
2001	5	95,86	144,58	0,66
2002	5	68,72	123,48	0,56
2004	5	67,42	115,3	0,58
2005	5	80,18	128,08	0,63
1952	4	97,53	129,18	0,75
1953	4	72,15	90,65	0,80
1954	4	100,18	105,03	0,95
1955	4	85,67	144,87	0,59
1956	4	51,05	79,05	0,65
1957	4	53,5	81,13	0,66
1958	4	49,6	86,28	0,57
1959	4	62,05	105,03	0,59
1960	4	125,95	134,08	0,94
1961	4	126,5	137,35	0,92
1969	4	158,25	190,38	0,83
1985	4	52,2	79,85	0,65
1996	4	86,68	112,53	0,77
1997	4	134,4	166,3	0,81
1998	4	57,35	100,9	0,57
1999	4	161,03	194,58	0,83
2000	4	43,68	77,43	0,56
2006	4	65,9	113,88	0,58
2007	4	74,1	118,2	0,63
2008	4	100,15	184,9	0,54

**Tabla 2**  
Cálculo del coeficiente de escurrimiento con precipitación y escurrimiento extrapolados. Estación hidrométrica 22017

Tr años	Q m³/s	V escurrido 10³m³	p cm	V llovido 10³m³	Ce
2	94,02	8.123,33	7,82	69.311,78	0,12
5	216,23	18.682,27	11,32	100.268,62	0,19
10	387	33.436,8	13,63	120.770,66	0,28
20	523,58	45.237,31	15,85	140.431	0,32
50	674,9	58.311,36	18,72	165.876,92	0,35
100	781,85	67.551,84	20,87	184.943,64	0,37
200	886,21	76.568,54	23,02	203.948,34	0,38
500	1.022,91	88.379,42	25,85	229.013,28	0,39
1.000	1.125,19	97.216,42	27,99	247.964,82	0,39
2.000	1.227,46	106.052,54	30,21	266.898,64	0,4
5.000	1.363,18	117.778,75	32,95	291.937	0,4
10.000	1.465,45	126.614,88	35,09	310.870,82	0,41



**Figura 6.** Resultados del ajuste de los gastos medios diarios de un día. Estación 22017. Función doble Gumbel.

**Tabla 3**  
Valores de la precipitación efectiva obtenidos a partir del coeficiente de escurrimiento y del número de curva CN. Estación hidrométrica 22017

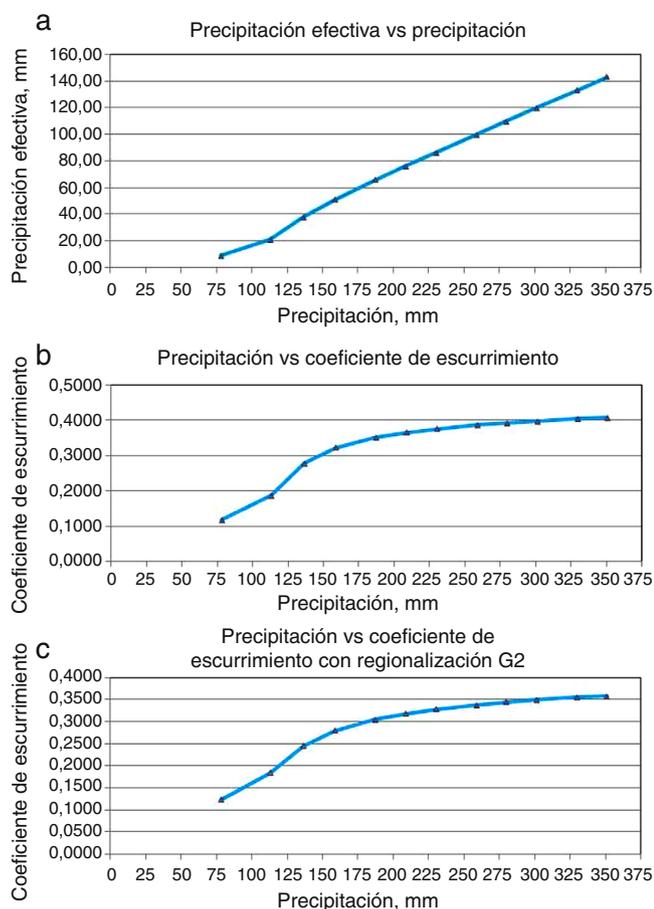
Tr años	Pe con Ce Mm	pe con CN mm	Diferencias con Pe mm
2	9,17	34,93	-25,76
5	21,09	63,74	-42,65
10	37,74	84,11	-46,37
20	51,06	104,22	-53,16
50	65,81	130,84	-65,03
100	76,24	151,09	-74,85
200	86,42	171,47	-85,05
500	99,75	198,58	-98,83
1.000	109,73	219,21	-109,48
2.000	119,7	239,92	-120,22
5.000	132,93	267,42	-134,49
10.000	142,91	288,28	-145,37

**Tabla 4**  
Cálculo del coeficiente de escurrimiento para la estación hidrométrica 22017 utilizando gastos extrapolados obtenidos con regionalización

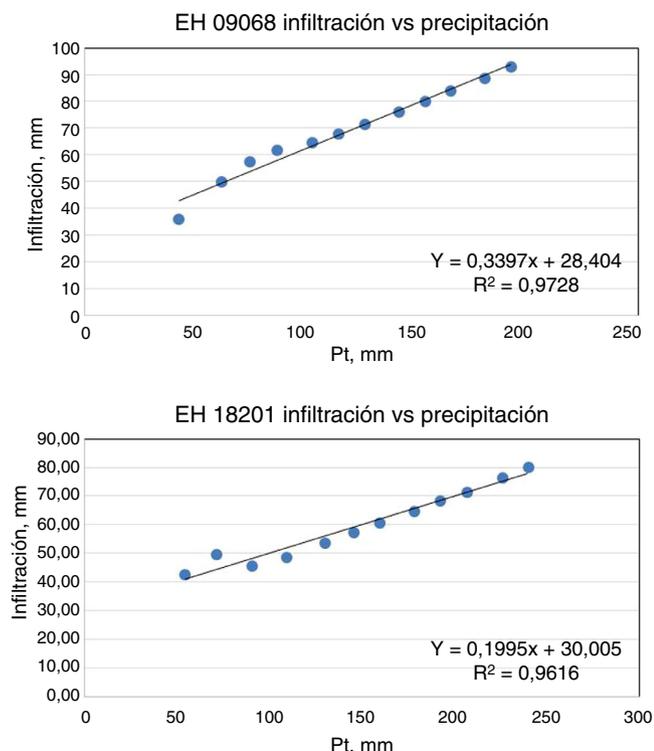
Tr años	RH22		Q m³/s	Eskurrimiento G2 10³m³	Ce G2
	G1	G2			
2	0,67	0,69	98,96	8.549,99	0,12
5	1,45	1,49	213,69	18.463,02	0,18
10	2,2	2,39	342,77	29.615,18	0,25
20	3,47	3,17	454,63	39.280,38	0,28
50	5,33	4,09	585,58	50.680,37	0,31
100	6,59	4,75	681,23	58.858,62	0,32
200	7,79	5,4	774,46	66.912,96	0,33
500	9,33	6,25	896,36	77.445,55	0,34
1.000	10,49	6,89	988,15	85.375,98	0,34
2.000	11,64	7,54	1.081,37	93.430,32	0,35
5.000	13,15	8,39	1.203,27	103.962,91	0,36
10.000	14,35	8,98	1.287,89	111.273,77	0,36

de los gastos medios diarios, 143.418 m³/s, se determinó el gasto medio extrapolado con regionalización y se recalculó el volumen escurrido y el coeficiente de escurrimiento (tabla 4). En la figura 7 se comparan la precipitación efectiva contra la precipitación total para distintos periodos de retorno, la precipitación total contra el coeficiente de escurrimiento obtenidos con el análisis de lluvias y de escurrimientos así como la precipitación total contra el coeficiente de escurrimiento obtenidos usando regionalización.

De la figura 7 se observa que los coeficientes de escurrimiento aumentan conforme aumenta la precipitación media en las cuencas, pero tienden asintóticamente a un valor límite. Al aplicar el procedimiento en otras regiones, se pudo observar la misma tendencia,



**Figura 7.** Estación hidrométrica 22017. a) Precipitación efectiva vs. precipitación total (con lluvias y escurrimientos. b) Precipitación total vs. coeficiente de escurrimiento (con lluvia y escurrimiento. c) Precipitación total vs. coeficiente de escurrimiento (con regionalización).



**Figura 8.** Relación precipitación vs. infiltración para dos cuencas (estaciones hidrométricas 09068 y 18201).

**Tabla 5**

Pendiente y ordenada al origen de las relaciones entre la precipitación y la infiltración

Estación	Nombre	Pendiente	Ordenada	R <sup>2</sup>
18281	La Limonera	0,816	2,6618	0,9999
18461	Zitácuaro	0,7945	1,2949	0,9999
18460	Río Chiquito	0,7543	-0,3525	0,9993
16020	El Nogal	0,6957	6,1973	1
21005	Cozaltepec	0,6801	9,3133	0,9975
18495	La Pastoría	0,6589	3,7321	0,9994
18195	Zirizitácuaro	0,6478	4,0525	0,9993
21007	San Isidro	0,6344	3,219	0,9981
13002	El Refilión	0,6142	21,927	0,9994
15001	Cihuatlán	0,5789	-4,0022	0,9983
22015	Tequisistlán	0,5537	15,238	0,9991
22017	Iztepec	0,5021	29,843	0,9975
13001	Paso de Arocha	0,4826	31,126	0,9988
20039	Colotipa	0,4113	25,662	0,9945
16021	San Gregorio	0,3703	17,347	0,9978
9068	Tezocoma	0,3397	28,404	0,9728
25010	Pabillo	0,33	48,3	0,9443
29007	Paso Arnulfo	0,3006	9,1627	0,9712
11035	La Ballona	0,2845	6,1197	0,9741
11070	Las Tortugas	0,2717	22,968	0,9977
14018	San Martín Hidalgo	0,2648	10,402	0,9264
15005	Cuixmala	0,2528	31,543	1
18201	El Cajón	0,1995	30,005	0,9616
22028	Niltepec	0,1767	50,215	0,8955
19016	La Unión	0,175	39,265	0,9601
15002	El Chiflón	0,0647	37,587	0,6453
19006	San Luis	0,0097	61,952	0,0383

así como también que una característica fisiográfica importante en el coeficiente de escurrimiento es la pendiente media de la cuenca.

Otra forma de presentación de los resultados se muestra en la figura 8 en la que se incluyen las ecuaciones que permiten estimar la lámina de infiltración como una función de la magnitud de la lluvia para dos de las cuencas analizadas. Las ecuaciones lineales obtenidas (en la tabla 5 se presentan 27 casos, en 22 de los cuales el coeficiente de determinación R<sup>2</sup> resultó mayor que 0,95) pueden interpretarse en el sentido de que la ordenada al origen está asociada con una pérdida inicial, después de la cual se presenta una infiltración proporcional a la magnitud de la lluvia.

**4. Conclusiones**

Los coeficientes de escurrimiento aumentan conforme aumenta la precipitación media en las cuencas, pero tienden asintóticamente a un valor límite. El método del número de escurrimiento sobrestima la lluvia efectiva y, por lo tanto, el coeficiente de escurrimiento; la sobrestimación tiende a ser mayor conforme la precipitación media en la cuenca aumenta. La pendiente de la cuenca es un parámetro muy importante que determina en buena parte los coeficientes de escurrimiento.

Es pertinente hacer un estudio de sensibilidad con relación a la forma en que se manejan los extremos en la sección 3.

Dada la importancia del tema se recomienda profundizar esta investigación con objeto de obtener procedimientos cada vez más precisos para estimar los coeficientes de escurrimiento aprovechando toda la información disponible.

**Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Agradecimientos**

Agradecemos a la Comisión Nacional del agua las facilidades en el uso de datos.

## Bibliografía

- [1] Ferrer-Julia M, Ruiz Verdú A, Dimas Suárez M, Estrela Monreal T. Aportación de la teledetección para la determinación del parámetro hidrológico del número de curva. *Ingeniería del Agua* 1998;5(1):35–46.
- [2] Jiménez-Espinoza M, Domínguez M R. Determinación de coeficientes de escurrimiento a partir de las características de las cuencas, coordinación de investigación, riesgos hidrometeorológicos, CENAPRED, Sistema Nacional de Protección Civil. 1992.
- [3] González PS. Calibración de los números de escurrimiento en las microcuencas de las cuencas de Huixtla y Coatán, Chiapas [tesis de maestría]. Tuxtla Gutiérrez (Chiapas): Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas; 2013.
- [4] López-Alonso R. Consideraciones acerca de los límites de la aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service. *Ciencia Técnica Revista Montes* 2001;66(1):92–7.
- [5] Hawkins RH. Asymptotic determination of runoff curve number from data. *J Irrig Drain E ASCE* 1993;119(2):334–45.
- [6] Guzmán-García H, Domínguez Mora R, Arganis Juárez M.L, Carrizosa Elizondo E, González Villarreal F. Regionalización de datos de escurrimiento de las regiones hidrológicas de México para la estimación de avenidas de diseño. *Memorias del XXIII Congreso Nacional de Hidráulica, AMH. Puerto Vallarta, Jal.* 15 al 17 de octubre, 2014.