

# IDENTIFICACIÓN DE CURVA DE ESCURRIMIENTO EN TRES MICROCUENCAS DEL RÍO COATÁN, CHIAPAS, MÉXICO

• Homero Alonso-Sánchez • Laura Alicia Ibáñez-Castillo\* •  
• Ramón Arteaga-Ramírez • Mario Alberto Vázquez-Peña •

Universidad Autónoma Chapingo

\*Autor de correspondencia

## Resumen

Alonso-Sánchez, H., Ibáñez-Castillo, L. A., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (julio-agosto, 2014). Identificación de curva de escurrimiento en tres microcuencas del río Coatán, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(4), 153-161.

La metodología de los números de curva de escurrimiento (NC) del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos (EU) tiene aplicaciones en el campo de la hidrología y se ha extendido ampliamente a muchos países, incluyendo México; sin embargo, dichos valores fueron obtenidos en cuencas de EU y son para categorías muy generales de uso de suelo, por lo que se puede caer en errores al usarlos. En este trabajo se identificaron y compararon los números de curva de escurrimiento de tres microcuencas dentro de la cuenca del río Coatán, en Chiapas, para varios eventos de lluvia que van desde 13 hasta 36 eventos ocurridos durante 2011; dicha cuenca se encuentra en el trópico húmedo de México. Por un lado se utilizaron los valores de tablas del SCS que corresponden a las microcuencas y a sus eventos, haciendo las correcciones respectivas por humedad antecedente y por pendiente y, por otro lado, se calcularon los valores de NC a partir de medición directa de la lluvia y el escurrimiento. Las mediciones se realizaron con pluviógrafo y limnógrafo establecidos cerca de la microcuenca y a la salida de ella, respectivamente. Se compararon ambos NC, los obtenidos a partir de la medición (69 para Vega de los Gatos, 55 Progreso y 72 Chanjalé) y los de las tablas (79 para Vega de los Gatos, 79 Progreso y 78 Chanjalé) del SCS y se encontraron diferencias significativas entre sus medias. Estos resultados se atribuyen a que al usar las tablas del SCS no se tiene el uso de suelo que se requiere y se tiene que usar subjetivamente el más cercano, originando imprecisiones.

**Palabras clave:** lámina escurrida, medición de lluvia y escurrimientos en cuencas tropicales, coeficientes de escurrimientos en cuencas tropicales.

## Introducción

El procedimiento del número de curva de escurrimiento (NC) fue desarrollado por el Depar-

## Abstract

Alonso-Sánchez, H., Ibáñez-Castillo, L. A., Arteaga-Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. A. (July-August, 2014). Runoff Curve Identification in Three Micro-Basins of the Coatan River, Chiapas, Mexico. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(4), 153-161.

The curve numbers (CN) method by the Soil Conservation Service (SCS) has applications in the field of hydrology and has been widely used in many countries, including Mexico. Nevertheless, these values were obtained in United States basins and pertain to very general land use categories. Therefore, using them can result in errors. This study identified and compared the runoff curve number for three micro-basins in the Coatan River watershed, in Chiapas, for several rain events ranging from 13 to 36 events during 2011. This watershed is located in the Mexican humid tropics. On the one hand, values were used from SCS tables corresponding to the micro-basins and its events, with the respective corrections for antecedent moisture and slope. On the other hand, NC values were calculated from direct rainfall and runoff measurements. Rainfall was measured using rain gauges and runoff using water level recorders near the watershed and at its outlet. Both NC were compared, those obtained from the measurements (69 in Vega de los Gatos, 55 in Progreso and 72 in Chanjale) and those provided by SCS tables (79 for Vega de los Gatos, 79 for Progreso and 78 for Chanjale). Significant differences in means were found between these two sets of data. These results are attributed to the use of SCS tables that do not have the required land use, thereby needing to subjectively use those which are closest, resulting in inaccuracies.

**Keywords:** Runoff depth, measurement of rainfall and runoff in tropical watersheds, runoff coefficients in tropical watersheds.

tamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y por el entonces Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972) como un simple procedimiento para calcular el volumen de escurri-

miento generado por grandes tormentas en pequeñas cuencas agropecuarias. La metodología se puede aplicar a cuencas no instrumentadas y los NC se pueden obtener de tablas que pueden tener modificaciones por pendiente y por humedad antecedente. Debido a su simplicidad, pronto evolucionó más allá de sus objetivos generales y fue adoptado para diferentes usos de suelo, como cuencas urbanas y forestales (Rawls, Onstad, & Richardson, 1980; Mishra & Singh, 1999); así, rápidamente llegó a ser una de las técnicas más utilizadas por ingenieros e hidrólogos (Mishra, Sahu, Eldho, & Jain, 2006), incluso se han desarrollado metodologías para la generación automática del NC usando los sistemas de información geográfica (Ferrer, Rodríguez, & Estrela, 1995). Actualmente, el método del número de curva de escurrimiento para convertir lámina precipitada a lámina escurrida es tan popular que *software* como HEC-HMS y SWAT la integran entre sus opciones más usadas en los cálculos correspondientes (USACE, 2010; Neitsch, Arnold, Kiniry, & Williams, 2011). El método es muy sensible a cambios en valores de sus parámetros (Ponce & Hawkins, 1996; Mishra *et al.*, 2006). Además, Reistetter y Russell (2011) encontraron que existe variabilidad en el tiempo del NC para un mismo sitio y recomiendan hacer una mejor discretización de los usos de suelo, evitando usar valores promedio de NC para grandes áreas, a fin de ser más precisos al utilizar el NC.

El método está sometido a diversos usos, frecuentes mejoras y alguna crítica ocasional en los países latinoamericanos, donde sólo se ha terminado siendo un usuario-espectador de lo que el SCS realizó hace 70 años (Ponce, 1996). Chagas *et al.* (2008) han revisado las condiciones de la humedad antecedente; Paz-Pellat (2009) ha revisado la implicaciones de las hipótesis del método del número de curva, concluyendo que el método no tiene bases hidrológicas (afirmación dudosa que debería analizarse con más profundidad); Campos-Aranda (2011) lo ha utilizado para identificar el NC, junto con la teoría del hidrograma unitario, en siete cuencas del Alto Río Grijalva, y Ares, Varni, Chagas y Entraigas (2012), en una cuenca de 116 km<sup>2</sup>

en Argentina, identificaron el NC para dicha cuenca.

Según Hjelmfelt (1991), el método ha sido sujeto de diferentes estudios, con el objeto de encontrar una base teórica del mismo, facilitando su uso en regiones y climas con condiciones no evaluadas previamente y soportando su aplicación. Los valores de NC se obtienen experimentalmente de mediciones de lluvia y escurrimiento sobre un amplio rango de condiciones geográficas de suelo y manejo de suelo, pero en México sólo algunas cuencas están instrumentadas.

En México se utiliza en gran medida el método del número de curva debido a su simplicidad y a la falta de instrumentación en las cuencas; sin embargo, las condiciones de uso de suelo son diferentes a las que se presentan en EU, donde se desarrollaron las tablas para el método, en particular la región Frontera Sur de México, zona en trópico húmedo, que cuenta con usos de suelo que no existen en las tablas de NC; por ello, el objetivo de este trabajo fue identificar el número de curva para el uso de suelo presente en las microcuencas de monitoreo ubicadas en la cuenca del río Coatán, en el estado de Chiapas, México.

## Materiales y métodos

### *La cuenca del río Coatán*

La cuenca del río Coatán, hasta la estación de aforo Malpaso, tiene una superficie de 426 km<sup>2</sup>; un 40% de la cuenca se encuentra del lado de Guatemala y 60% del lado mexicano. La cuenca pertenece a la Región Hidrológica 23 Costa de Chiapas. Su rango de elevaciones va desde 0 msnm, en el océano Pacífico, hasta 4 058 msnm. Su rango de precipitaciones, en promedio, va de 2 300 a 3 900 mm (Conagua, 2006). El río Coatán cruza la ciudad de Tapachula, Chiapas.

### *Las microcuencas de estudio*

Se eligieron microcuencas ubicadas en la cuenca del río Coatán que mantuvieron un registro ininterrumpido de información gráfica lluvia-

escurrimiento del año 2011. La instrumentación de este sitio obedece a las acciones de monitoreo que la Conagua (2011) realiza en la costa de Chiapas. En el cuadro 1 se observan las coordenadas y algunas características de las microcuencas que se encuentran en la parte baja, media y alta de la cuenca del río Coatán del lado mexicano.

#### Medición de precipitación y escurrimiento

La precipitación se midió usando un pluviógrafo tipo Hellman de importación Alemana. De las gráficas de los pluviogramas se obtuvo la lluvia acumulada para cada evento considerado en este estudio.

Para medir el escurrimiento se utilizó un aforador tipo H, el limnógrafo, en este caso marca Stevens, que también cuenta con un sistema de relojería, por lo que los eventos de lluvia registrados con el pluviógrafo fueron relacionados con los limnogramas correspondientes. Los limnógrafos, junto con un vertedor para aforo, fueron ubicados a la salida de la cuenca de estudio. Los pluviógrafos se localizaron cerca de las microcuencas de estudio. Los pluviógrafos no se pudieron colocar dentro de las pequeñas cuencas, ya que la vegetación existente dentro de las cuencas interfería con la medición; esa distancia de ubicación de los pluviógrafos no superaba los 300 metros distantes de las microcuencas.

#### Transformación de limnogramas a hidrogramas

El cero del limnograma correspondió al nivel del flujo base en todos los casos. La interpre-

tación de los limnogramas se realizó con la tabla de calibración del aforador; se obtuvieron los gastos a diferentes intervalos y se obtuvo el área bajo la curva de los hidrogramas, que corresponde al volumen total escurrido. La lámina de escurrimiento se calculó dividiendo el volumen total entre el área de la microcuenca.

#### Obtención del número de curva con el método del SCS

El método establecido por el SCS utiliza una tabla de valores *NC* generados experimentalmente en cuencas de EU y tiene, principalmente, cuatro criterios de selección (USDA-SCS, 1972): grupo hidrológico de suelo, uso de suelo, práctica de suelo en el caso de las zonas agrícolas y condición hidrológica; el criterio de condición hidrológica sólo está definido para bosque, selva y pastos. El *NC* seleccionado es corregido por humedad antecedente y por pendiente.

El grupo hidrológico del suelo, según los científicos del SCS (McCuen, 2005; NRCS, 2013), después de analizar más de 4 000 suelos con base en su potencial de escurrimiento, los clasificaron en cuatro grupos, identificándolos con las letras A, B, C y D de acuerdo con su capacidad de infiltración. La condición hidrológica o densidad de cobertura vegetal (bosque, selva o pasto) se refiere a la densidad de la cobertura y define tres categorías: (a) pobre, menos del 50% de la superficie está protegida por la cobertura vegetal; (b) regular, con una protección vegetal de la superficie del suelo de 50 a 75%; y c) buena, densa cobertura,

Cuadro 1. Características físicas y geométricas de las microcuencas.

Microcuenca	Latitud (° ' ")	Longitud (° ' ")	Área (m <sup>2</sup> )	Elevación (msnm)	Longitud de cauce (m)	Pendiente cauce (%)	Textura	Uso de suelo
Vega de los Gatos	15° 01' 44"	92° 13' 55"	23 494	471	314	29.6	Migajón	Selva baja y media
Chanjalé	15° 12' 35"	92° 11' 45"	44 838	1 473	343	63.2	Migajón	Café con selva baja y media
Progreso	15° 45' 05"	92° 11' 46"	27 609	944.5	365	24.9	Migajón arenoso	Café, plátano y frutales

con más del 75% del suelo protegido por la vegetación.

#### Condición de humedad antecedente

La condición de humedad antecedente tiene un efecto significativo en el volumen y la tasa de escurrimiento. Reconociéndola como un factor importante se desarrollaron tres "condiciones" de humedad antecedente (AMC, por sus siglas en inglés) por el SCS: a) condición 1, suelos secos, pero no en el punto de marchitez, se presentan condiciones satisfactorias para los cultivos, precipitación acumulada inferior a 34 mm en los cinco días anteriores; b) condición 2, condiciones promedio, precipitación acumulada entre 34 y 54 mm en los cinco días anteriores; c) condición 3, lluvias diurnas intensas y bajas temperaturas en los cinco días anteriores, suelos saturados, precipitación acumulada mayor que 54 mm en los cinco días anteriores.

#### Corrección del número de curva de escurrimiento por pendiente

Las tablas del número de curva de escurrimiento propuestas por el SCS fueron desarrolladas en cuencas con pendientes de hasta el 5%, por lo que años más tarde se propuso una ecuación para corrección por pendiente (Neitsch et al., 2011):

$$NC_{2s} = \frac{(NC_3 - NC_2)}{3} [1 - 2\exp(-13.86slp)] + NC_2 \quad (1)$$

Donde  $NC_{2s}$  = número de curva de escurrimiento corregida por pendiente;  $NC_3$  = número de curva de escurrimiento para condición de humedad antecedente 3;  $NC_2$  = número de curva de escurrimiento como se lee de las tablas del SCS;  $slp$  = pendiente promedio fraccionaria de la cuenca.

#### Cálculo del número de curva de escurrimiento

Para estimar  $NC$  de datos reales se utilizó la ecuación (6), que resulta de combinar la

ecuación (2) propuesta por Hawkins (1979) y la propuesta por el SCS (ecuación (3)) para obtener la retención potencial máxima:

$$S = 5 \left( P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5PQ} \right) \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{NC} - 254 \quad (3)$$

Donde  $S$  es la retención potencial máxima en mm y  $NC$  es el número de curva de escurrimiento adimensional:

$$NC = \frac{25400}{5 \left( P + 2Q - \sqrt{4Q^2 + 5QP} \right) + 254} \quad (4)$$

donde  $P$  es la lámina precipitada en mm y  $Q$  es la lámina escurrida en mm.

#### Estimación del ajuste entre los números de curva de tablas y los estimados

Para medir el nivel de ajuste de un modelo hidrológico se utilizan algunos estadísticos (Yusop, Chan, & Katimon, 2007). Además de la raíz cuadrada del cuadrado medio del error (RCCME) y el error relativo (ER), se utilizó el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (1970), que compara los hidrogramas observados y simulados (Yusop et al., 2007), el cual se calculó con:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

donde  $Q_o^t$  es el valor observado,  $Q_m^t$  el valor que estima el modelo y  $\bar{Q}_o$  es la media de los valores observados. Pero la ecuación (5) puede llevarse a la comparación de  $NC$  de tablas y  $NC$  "medido" como:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (NC_{med}^i - NC_{tablas}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (NC_{med}^i - \overline{NC}_{med})^2} \quad (6)$$

$NC_{med}$  es el número de curva medido, adimensional, y  $NC_{tablas}$  es el valor de número de curva obtenido de tablas, adimensional.

La eficiencia de Nash puede ir desde  $-\infty$  a 1. Una eficiencia de 1 corresponde a una combinación perfecta de los datos medidos con los datos observados; una eficiencia de 0 indica que las predicciones del modelo son tan precisas como la media de los datos observados; una eficiencia menor a 0 se produce cuando la media observada es un mejor predictor que la predicción del modelo, es decir, cuando la varianza residual es mayor que la varianza de los datos. Básicamente, cuanto más cercano sea el valor de la eficiencia a 1 mejor será la predicción del modelo.

## Resultados y discusión

En cada microcuenca se obtuvo el  $NC$  de tablas del SCS con sus respectivas correcciones por humedad antecedente y por pendiente. También se obtuvo el  $NC$  observado o calculado con los datos de lluvia y escurrimiento medidos en cada evento en cada microcuenca. En el caso de Vega de los Gatos, los  $NC$  se calcularon para 36 eventos; en Progreso, para 13; en Chanjalé, para 13. Los eventos de lluvia son los máximos registrados en esos meses y variaban entre 25 y 150 mm.

En los cuadros 2, 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos de números de curva calculados y los obtenidos de tablas. Los estadísticos de comparación entre los valores de tablas y los calculados resultaron de la siguiente manera para la microcuenca Vega de los Gatos: el RCCME igual a 16.02 mientras que el RE resultó de 5.16; el coeficiente de eficiencia de Nash resultó de -73.62, lo cual indica en este último caso que la media de los valores de tablas del SCS es diferente a los valores calculados con mediciones, lo que se comprobó estadísticamente.

Los resultados indican que los  $NC$  estimados de acuerdo con las tablas del SCS son muy diferentes a los obtenidos con variables medidas. Lo primero que podría decirse es que el método del  $NC$  no sirve, que es un método sin fundamentos hidrológicos, que no explica la naturaleza física del fenómeno lluvia-escurrimiento y se podrían hacer diversas críticas al respecto; sin embargo, originalmente el método fue desarrollado para un tipo de condiciones diferentes a las que se tienen en Chiapas; las tablas no están hechas para los usos de suelo que predominan en la región de estudio. Para hacer uso de las tablas se toma un uso de suelo similar al que prevalece. En el caso de la cuenca de estudio existe el uso de suelo de selva; en EU, donde se desarrolló el método, no existe este uso de suelo. Si se desea usar este método aceptando sus supuestos, se deben generar los números de curva de los usos de suelo que interesan, haciendo mediciones para tener mayor precisión y así evitar la subjetividad al usar los números de curva de las tablas del SCS para los usos que no contienen éstas.

Además de los resultados que se muestran en el cuadro 3 del sitio Progreso, los estadísticos de comparación entre los valores de tablas del SCS y los calculados son los siguientes: el RCCME resultó de 15.7, el RE igual a 21.9 y por último, el coeficiente de eficiencia de Nash igual a -69.9. Como se puede ver, el coeficiente de eficiencia muestra que no hay similitud entre los valores de tablas y los obtenidos a partir de mediciones.

En el sitio Chanjalé (cuadro 4), los estadísticos de comparación entre los valores de tablas y los calculados son los siguientes: el RCCME resultó de 11.3, el error residual igual a 2.43 y el coeficiente de eficiencia de Nash igual a -6.9. Se debe notar que en los sitios Progreso y Chanjalé, el coeficiente de Nash es menor a 0, lo cual implica que la media de los valores observados, al igual que en el sitio Vega de los Gatos, es diferente a la media de los valores de tablas, lo que se prueba más adelante estadísticamente, aunque los errores y el

Cuadro 2. Números de curva de tablas y calculado en la microcuenca Vega de los Gatos.

Evento	Fecha	Lámina escurrida (mm)	Lámina precipitada (mm)	NC calculado	NC de tablas del SCS <sup>1</sup>
1	20/04/11	4.0	65.1	58.5	79.56
2	16/05/11	6.9	57.1	67.5	79.56
3	24/05/11	5.9	89.3	51.2	79.56
4	07/06/11	18.7	97.2	61.2	79.56
5	25/06/11	3.6	25.8	83.2	79.56
6	26/06/11	27.6	145.8	51.0	79.56
7	02/07/11	2.3	46.3	65.0	79.56
8	04/07/11	7.2	91	52.3	79.56
9	10/07/11	14.9	77.2	66.6	79.56
10	14/07/11	4.4	52.6	65.9	79.56
11	15/07/11	2.8	31	77.1	79.56
12	18/07/11	24.0	122.1	56.0	79.56
13	19/07/11	13.7	71.3	68.3	79.56
14	24/07/11	3.8	41.3	71.9	79.56
15	29/07/11	2.5	38.9	70.5	79.56
16	31/07/11	7.0	86.9	53.6	79.56
17	07/08/11	3.3	33.1	76.6	79.56
18	08/08/11	6.0	29.8	84.2	79.56
19	14/08/11	2.4	23.1	82.7	79.56
20	16/08/11	7.9	58.9	68.0	79.56
21	17/08/11	2.8	24.4	82.5	79.56
22	18/08/11	11.2	57.3	73.0	79.56
23	19/08/11	8.3	42.3	78.5	79.56
24	26/08/11	3.8	94.9	46.1	79.56
25	27/08/11	3.1	15.6	91.0	79.56
26	27/08/11	10.0	51.7	74.8	79.56
27	30/08/11	13.1	73.3	66.6	79.56
28	01/09/11	2.4	25.8	80.5	79.56
29	04/09/11	3.4	25.1	83.3	79.56
30	05/09/11	17.7	128.4	49.6	79.56
31	12/09/11	4.0	60	61.1	68.43
32	13/09/11	3.6	57.6	61.4	79.56
33	14/09/11	4.5	34.4	78.2	79.56
34	18/09/11	7.9	46.6	75.3	79.56
35	19/09/11	24.8	129.6	54.1	79.56
36	29/09/11	2.7	28.4	79.1	79.56
<b>Promedio</b>				<b>68.5</b>	<b>79.20</b>
<b>Varianza</b>				<b>130.0</b>	<b>3.99</b>
<b>CV</b>				<b>0.2</b>	<b>0.03</b>

<sup>1</sup>Nota: corregidos por humedad antecedente y por pendiente.

Cuadro 3. Número de curva de escurrimiento de tablas y calculado de la microcuenca Progreso.

Evento	Fecha	Lámina escurrida (mm)	Lámina precipitada (mm)	NC calculado	NC de tablas del SCS
1	23/04/11	2.6	43.8	67.5	69
2	08/06/11	4.7	110.1	42.9	80
3	06/07/11	1.0	58.1	54.2	75
4	10/07/11	2.8	70.0	53.7	80
5	27/08/11	2.3	59.7	57.3	80
6	30/08/11	1.0	55.3	55.6	80
7	31/08/11	1.2	57.4	55.3	80
8	04/09/11	1.2	55.8	56.1	80
9	06/09/11	1.0	46.3	60.5	80
10	14/09/11	1.4	52.8	58.5	80
11	19/09/11	13.4	186.7	34.0	80
12	21/09/11	1.5	55.3	57.5	80
13	27/09/11	1.2	55.2	56.5	80
<b>Promedio</b>				<b>54.6</b>	<b>79</b>
<b>Varianza</b>				<b>76.0</b>	<b>12</b>
<b>CV</b>				<b>0.16</b>	<b>0.04</b>

Cuadro 4. Número de curva de escurrimiento de tablas y calculado de la microcuenca Chanjalé.

Evento	Fecha	Lámina escurrida (mm)	Lámina precipitada (mm)	NC calculado	NC de tablas del SCS
1	21/07/11	0.693	45.4	59.8	69
2	29/09/11	0.378	27.2	71.0	80
3	30/09/11	0.713	36.0	66.1	80
4	23/08/11	0.310	43.1	58.8	69
5	06/07/11	0.033	12.4	82.2	80
6	26/08/11	0.011	28.2	65.3	80
7	07/08/11	0.058	29.3	65.7	75
8	10/09/11	0.042	44.8	54.8	80
9	25/08/11	0.002	9.3	84.9	80
10	23/07/11	0.024	12.7	81.5	80
11	24/07/11	0.028	20.7	72.7	80
12	03/08/11	0.002	5.3	91.0	80
13	14/08/11	0.009	15.6	77.5	80
<b>Promedio</b>				<b>71.7</b>	<b>78</b>
<b>Varianza</b>				<b>140</b>	<b>20</b>
<b>CV</b>				<b>0.16</b>	<b>0.06</b>

coeficiente de eficiencia son más conservadores en Chanjalé, también existe discrepancia de acuerdo con la teoría de Nash y Sutcliffe (1970).

Los valores de NC obtenidos de tablas con los parámetros de uso de suelo señalados, corregidos por la condición de humedad

antecedente y pendiente, se compararon con los calculados a través de la ecuación (4), una solución por medio de la ecuación cuadrática de la ecuación del SCS para obtener los valores de NC con mediciones de lluvia y escurrimiento.

Se realizó un análisis estadístico de la información para verificar si existe diferencia significativa entre los valores de tablas y los calculados con datos medidos, por lo que se aplicó una estadística de prueba que permite determinar la diferencia de medias entre dos poblaciones.

Partiendo de un supuesto de normalidad de los datos, se procedió a realizar una prueba de homogeneidad de varianzas muestrales. La técnica empleada para la homogeneidad de varianzas fue la descrita por Montgomery (2004). En la prueba de medias en los tres sitios se encontró diferencia significativa entre medias a un nivel de significancia de 0.05.

## Conclusiones

Se identificaron los números de curva 69 para Vega de los Gatos, que corresponde a un uso de suelo de selva baja y media; 55 para un uso de café, plátano y frutales en la microcuenca Progreso; y 72 para una combinación de café, selva baja y media en la microcuenca Chanjalé; estos valores se pueden usar en estudios hidrológicos futuros.

La comparación estadística entre las medias de los valores de tablas del SCS y los calculados mostró diferencia significativa en las tres microcuencas a un nivel de significancia de 0.05; implica que en el caso de Vega de los Gatos, Progreso y Chanjalé, es más preciso usar los NC calculados que los de tablas para estudios hidrológicos.

Los números de curva del SCS están acotados a usos de suelo exclusivos de Estados Unidos y, por lo tanto, es subjetivo y difícil elegir un uso de las tablas que realmente se adapte a las condiciones de México. En las varias posibilidades de uso de suelo, las tablas del SCS no están suficientemente discretizadas como para tener valores más precisos.

Por las medias encontradas, los NC de tablas sobrestiman los NC identificados a partir de mediciones; implica que teóricamente haya menor escurrimiento en la cuenca; sin embargo, los valores encontrados representan menor infiltración debido a diferentes factores, como la pendiente que existe en el área de estudio.

Los números de curva del SCS no se pueden aplicar con certeza si no existe en específico el tipo de uso de suelo en sus tablas; no porque estén mal, sino porque cada tipo de vegetación, en combinación con otras características, modifica el fenómeno físico de escurrimiento.

El método del SCS fue elaborado en condiciones distintas a las que prevalecen en la costa de Chiapas; los supuestos que hace el método no son válidos en esta región ni en ninguna otra parte; debe comprenderse que el método puede dar una idea de la relación lluvia-escurrimiento, pero no fue creado para todas las condiciones hidrológicas de México. Aun así, es auxiliar para determinar la precipitación efectiva donde sólo se mide la precipitación. Para poder usar el método de manera precisa y tener una mejor aproximación al fenómeno físico lluvia-escurrimiento, se tendrán que generar los NC para los usos de suelo y condiciones hidrológicas de México.

## Agradecimientos

A la Comisión Nacional del Agua, en especial a la Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado de Oficinas Centrales.

Recibido: 30/11/12

Aceptado: 17/12/13

## Referencias

- Ares, M. G., Varni, M., Chagas, C., & Entraigas, I. (agosto-septiembre, 2012). Calibración del número  $N$  de la curva de escurrimiento en una cuenca agropecuaria de 116 km<sup>2</sup> de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Agrociencia*, 46(6), 535-541.
- Campos-Aranda, D. F. (septiembre, 2011). Identificación del número  $N$  mediante el método del HUT, en siete cuencas

- del alto río Grijalva, México. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 12(3), 269-276.
- Chagas, C. I., Santanatoglia, O. J., Castiglioni, M. G., Massobrio, M. J., Bujan, A., & Irurtia, C. (enero-julio, 2008). Número de curva de escurrimiento para una microcuenca de Pampa ondulada bajo labranza convencional y siembra directa. *Ciencia del Suelo*, 26(1), 63-69.
- Conagua (2006). *Evaluación de los efectos del cambio de uso de suelo en la erosión hídrica y las relaciones precipitación-escurrimiento en las cuencas de los Ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán del Estado de Chiapas* (250 pp.). México, DF: Conagua.
- Conagua (2011). *Monitoreo de procesos hidrológicos erosivos en las cuencas de los ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, en la costa de Chiapas*. (300 pp.). Convenio de colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo No. SGIH-GDTT-UACH-11/09/rf/cc. México, DF: Conagua.
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del Agua*, 2(4), 43-58.
- Hawkins, R. H. (December, 1979). Runoff Curve Numbers from Partial Area Watersheds. *Journal Irrigation and Drainage, ASCE*, 105(4), 375-389.
- Hjelmfelt, A. T. (June, 1991). Investigation of Curve Number Procedure. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 117(6), 725-737.
- McCuen, R. H. (2005). *Hydrologic Analysis and Design* (888 pp.). Upper Saddle River, USA: Prentice-Hall.
- Mishra, S. K., Sahu, R. K., Eldho, T. I., & Jain, M. K. (2006). An Improved Ia-S Relation Incorporating Antecedent Moisture in SCS-CN Methodology. *Water Resources Management*, 20(5), 643-660.
- Mishra, S. K., & Singh, V. P. (July, 1999). Another Look at SCS-CN Method. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 4(3), 257-264.
- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos* (686 pp.). Segunda edición. México, DF: Limusa-Wiley.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River Flow Forecasting through Conceptual Models. Part I – A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- NRCS (2013). *National Engineering Handbook, Part 4-Hydrology*. USA: Natural Resources Conservation Service. Consultado el 12 de noviembre de 2013. Recuperado de <http://www.hydrocad.net/neh/630contents.htm>.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation* (618 pp.). Temple, USA: Blackland Research and Extension Service-USDA (Editorial).
- Paz-Pellat, F. (julio-agosto, 2009). Mitos y falacias del método hidrológico del número de curva del SCS/NRCS. *Agrociencia*, 43(5), 521-528.
- Ponce, M. (1996). *Miguel Ponce Conversation with Victor Mockus on July 12*. Consultado el 27 de noviembre de 2013. Recuperado de file:///C:/HIDROLOGIA\_LIC/Miguel%20Ponce%20conversation%20with%20Victor%20Mockus%20\_%20NRCS.htm.
- Ponce, V. M., & Hawkins, R. H. (January, 1996). Runoff Curve Number: Has it Reached Maturity? *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11-19.
- Rawls, W. J., Onstad, C. A., & Richardson, H. H. (1980). Residue and Tillage Effects on SCS Runoff Curve Numbers. *Transactions American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 23(2), 357-361.
- Reistetter, J. A., & Russell, M. (2011). High-Resolution Land Cover Dataset, Composite Curve Numbers, and Storm Water Retention in the Tampa Bay, FL Region. *Applied Geography*, 31(2), 740-747.
- USACE (2010). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Version 3.5 User's Manual* (318 pp.) Davis, USA: Hydrologic Engineers Center, U.S. Army Corps of Engineers (USACE).
- USDA-SCS (1972). *SCS Natural Engineering Handbook, section 4, Hydrology. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall* (pp. 1-24). Washington, DC: U.S. Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service.
- Yusop, Z., Chan, C. H., & Katimon, A. (2007). Runoff Characteristics and Application of HEC-HMS for Modeling Stormflow Hydrograph in an Oil Palm Catchment. *Water Science and Technology*, 56(8), 41-48.

## Dirección institucional de los autores

Dr. Homero Alonso Sánchez  
 Dra. Laura Alicia Ibáñez Castillo  
 Dr. Ramón Arteaga Ramírez  
 Dr. Mario Alberto Vázquez Peña

Universidad Autónoma Chapingo  
 Carretera México-Texcoco kilómetro 38.5  
 56230 Texcoco, Estado de México, MÉXICO  
 Teléfono: +52 (595) 9521 649  
 Fax: +52 (595) 9521 650

alonso\_m77@hotmail.com  
 libacas@gmail.com  
 rarteagar@taurus.chapingo.mx  
 mvazquezp@correo.chapingo.mx