



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Pérez Nieto, Samuel; Ibáñez Castillo, Laura Alicia; Arellano Monterrosas, José Luis  
Leobardo; Fernández Reynoso, Demetrio Salvador; Chávez Morales, Jesús  
Curvas de escurrimiento para tres microcuencas de la cuenca Huixtla, Chiapas, México  
Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 6, núm. 8, noviembre-diciembre, 2015, pp.

1729-1742

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias  
Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263142750003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

## Curvas de escurrimiento para tres microcuencas de la cuenca Huixtla, Chiapas, México\*

## Runoff curves for three micro-watersheds of the Huixtla basin, Chiapas, Mexico

Samuel Pérez Nieto<sup>1§</sup>, Laura Alicia Ibáñez Castillo<sup>1</sup>, José Luis Leobardo Arellano Monterrosas<sup>2</sup>, Demetrio Salvador Fernández Reynoso<sup>3</sup> y Jesús Chávez Morales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo-Departamento de Irrigación. Carretera México-Texcoco, km 38.5. C. P. 56230, Chapingo, Estado de México. Tel: 595 952 1620. (libacas@gmail.com). <sup>2</sup>Organismo de Cuenca Frontera Sur de la Comisión Nacional del Agua. Carretera a Chicoasén, km 1.5. C. P. 29029. Fraccionamiento Los Laguitos; Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. (joseluis.arellano@conagua.gob.mx). <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados-Programa de Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, km 33.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. (demetrio@colpos.mx; chavezje@colpos.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: sperezn@correo.chapingo.mx.

### Resumen

La estimación de la lámina escurrida es un cálculo intermedio para varias metodologías de diseño hidrológico de obras hidráulicas; un método de cálculo de dicho parámetro es el número de curva de escurrimiento (Nc) que se ha generalizado en el mundo debido a sus consideraciones y fácil aplicación. En este trabajo desarrollado en 2013, se obtuvieron en campo los Nc en tres microcuencas instrumentadas en la cuenca del río Huixtla en la Costa de Chiapas, México. Las microcuencas fueron Rosita con cobertura de acahual con bosque, Hannover con café bajo sombra y Berriozábal con maíz y acahual; en las tres microcuencas la textura es migajón-arenoso y su pendiente media va de 23 a 33%. La estimación del Nc se hizo en tablas del SCS a partir del uso del suelo, condición hidrológica y grupo hidrológico o de suelo; se hicieron correcciones por humedad antecedente (CHA) y por pendiente del terreno y se compararon con los valores de Nc calculados a partir de datos medidos en campo de lámina precipitada (Lp) y lámina de escurrimiento (Le) de 20, 82 y 27 eventos para las microcuencas Rosita, Hannover y Berriozábal, respectivamente. Se concluyó que los valores de Nc obtenidos de las tablas del SCS para condiciones como las de las microcuencas Rosita, Hannover y Berriozábal, una vez corregidos por humedad antecedente y pendiente,

### Abstract

The estimate of runoff depth is an intermediate calculation methodology for various hydrologic designs of hydraulic works; a method for calculating this parameter is the number of runoff curve (Nc) that has been widespread in the world due to its considerations and easy application. In this work developed in 2013, were obtained in the field the Nc in three micro-watersheds implemented in the basin of the Huixtla River in the coast of Chiapas, Mexico. The micro-watersheds were Rosita with acahual with forest coverage, Hannover with shaded coffee and Berriozábal with maize and acahual; in the three micro-watersheds, the texture is sandy-loam and its average slope ranges from 23-33%. Nc estimation was made in tables SCS from land-use, hydrological conditions and soil hydrological or group; corrections were made by the antecedent moisture (CHA) and slope of the terrain and were compared with the values of Nc calculated from data measured in field of hasty sheets (Lp) and runoff sheet (Le) 20, 82 and 27 events for micro-watersheds Rosita, Hannover and Berriozábal, respectively. It was concluded that, the Nc values obtained from SCS tables for conditions such as micro-watersheds Rosita, Hannover and Berriozábal, corrected by antecedent moisture and slope should add 11, 9, and 6 units respectively, as otherwise, we could be underestimating the flood design.

\* Recibido: junio de 2015  
Aceptado: octubre de 2015

deben adicionárseles 11, 9, y 6 unidades respectivamente, ya que de no hacerlo, se pudiera estar subestimando la avenida de diseño.

**Palabras clave:** avenida de diseño, cuencas costeras, identificación de curva de escurrimiento.

## Introducción

La estimación de la lámina escurrida es un proceso de cálculo intermedio para que en conjunto con metodologías como la del hidrograma unitario, se pueda estimar una creciente o avenida, la cual tiene varias aplicaciones prácticas, entre las que destacan: la determinación de la avenida a utilizar para el diseño de un vertedor y el pronóstico de avenidas en tiempo real (McCuen, 2004; Juárez *et al.*, 2009; Miranda *et al.*, 2009). Por otra parte, el software HMS (USACE, 2000; USACE, 2010), cuyo uso es muy popular, emplea tal método para la estimación de avenidas por eventos. Para tal fin, con HEC-HMS se delimita la cuenca, se divide en subcuenca y para cada una requiere el  $N_c$ .

La razón por la cual el HEC-HMS no generaliza requiriendo solo un  $N_c$  para toda la cuenca es porque al aplicar un  $N_c$  por subcuenca se asegura de que los cálculos sean los más precisos de acuerdo a las condiciones que dictan la respuesta hidrológica de lo que se llama unidad hidrológica de respuesta, UHR (Neitsch *et al.*, 2011). Otro software popular, que es el SWAT sólo calcula el escurrimiento bajo dos métodos: curva de escurrimiento y Green-Ampt (Neitsch *et al.*, 2011); con este software también se delimita la cuenca, se divide en subcuenca y cada subcuenca se divide en UHR, requiriéndose un  $N_c$  para cada una.

El método del número de curva de escurrimiento para estimar la lámina escurrida, se basa en valores tabulados de  $N_c$  desarrollados por el extinto servicio de conservación de suelos (SCS) de Estados Unidos para cuencas del territorio de ese país; en donde el número de curva elegido dependerá, en términos prácticos, de la textura del suelo (grupo hidrológico de suelo), del uso de suelo, de la densidad de cobertura vegetal (condición hidrológica) y de la posible existencia de prácticas de conservación de suelos. El  $N_c$  así determinado, debe corregirse por la pendiente media de la cuenca y por la lluvia de los cinco días anteriores (condición de humedad antecedente, CHA). Sin embargo, al momento de elegir el número de curva de escurrimiento, en algunos usos de suelo, las tablas son muy

**Keywords:** coastal watershed, design flood, runoff curve identification.

## Introduction

The estimate of runoff depth is an intermediate calculation process so that together with methodologies such as the hydro-gram unit, can be estimated the increasing or flood, which has several practical applications, among which are: the determination of the flood to be used in the design flood drain and the forecasting of floods in real time (McCuen, 2004; Juárez *et al.*, 2009; Miranda *et al.*, 2009). Moreover, the HMS software (USACE, 2000; USACE, 2010), which is quite popular, employs such method for estimating of floods per event. To this end, with HEC-HMS, the basin is delimited, it is divided into sub-basins and for each requires the  $N_c$ .

The reason why the HEC-HMS do not generalizes, requiring only one  $N_c$  for the entire basin is because by applying a  $N_c$  by sub-basin ensures that calculations are the most accurate according to the conditions that dictate the hydrological response of what is called hydrological response unit, UHR (Neitsch *et al.*, 2011). Other popular software, which is the SWAT only calculates the runoff under two methods: runoff curve and Green-Ampt (Neitsch *et al.*, 2011); with this software, the basin is also delimited, it is divided into sub-basins and each sub basin is divided into UHR, requiring a  $N_c$  for each.

The number of runoff curve method for estimating then runoff depth is based on tabulated values of  $N_c$ , developed by the late Soil Conservation Service (SCS), US for basins on the territory of that country; where the number of curve chosen will depend, in practical terms, on the soil texture (hydrologic soil group), land-use, density of vegetation cover (hydrological conditions) and the possible existence of conservation practices of soils. The  $N_c$  thus determined, must be corrected by the average slope of the basin and the rain of the previous five days (antecedent moisture condition, CHA). However, when choosing the number of runoff curve in some land uses, tables are very general; for example, there is a category called "forest or jungle" and often fall into that category, leading to a generality that can cause errors.

For that reason, it is important to identify  $N_c$  for very specific hydrological response units categories, ie specific types of soil and vegetation cover, instead of doing it for the entire

generales; por ejemplo hay una categoría que se llama “bosque o selva” y muchos casos caen en esa categoría, lo cual conduce a una generalidad que puede producir errores.

Por esa razón, es importante identificar los  $N_c$  para categorías muy específicas de unidades hidrológicas de respuesta, es decir tipos específicos de suelos y coberturas vegetales, más que hacerlo para toda la cuenca, lo cual sólo pudiera ser útil para cálculos expeditos y generales por cuenca. La asignación de un  $N_c$  específico para una UHR que es común en una cuenca, significaría agregar una categoría más a las tablas del SCS de acuerdo a las condiciones de la cuenca de interés.

El uso del concepto de número de curva de escurrimiento  $N_c$ , definido por el Soil Conservation Service (SCS) (Mockus, 1949; Campos, 2002; Neitsch *et al.*, 2011; Natural Resources Conservation Service, 2013) es una alternativa para el cálculo de escurrimiento, empleada por varios autores y en varios países. El  $N_c$  dado para la estimación de lámina escurrida puede encontrarse en tablas reportadas por McCuen (2004) y Campos (2002). El concepto de  $N_c$  estima el escurrimiento basado en datos de lluvia y características del suelo en cuencas donde no hay datos de aforo (Dal-Ré, 2003 y Arellano, 2012). Sin embargo, no da los resultados esperados porque los valores definidos por el SCS no son apropiados para zonas tropicales (Muzik, 1993). Aunque tiene las ventajas de ser predictivo, estable y requerir un solo parámetro, sus desventajas son: 1) los valores de escurrimiento son muy sensibles ante un cambio de  $N_c$ ; 2) falta información más detallada sobre su variación para diferentes condiciones de humedad antecedente CHA; 3) falta de precisión del método para diferentes coberturas; 4) desconocimiento de cómo la escala espacial de aplicación afecta el  $N_c$ ; y 5) su desarrollo se hizo en condiciones específicas, por lo cual no está regionalizado con base en la geología y clima, por lo que debe revisarse para cada región (Ponce and Hawkins, 1996). Según Mockus, uno de los autores del método, entrevistado por Ponce (1996), éste se generó con trabajo del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos que inició en 1928 en varios sitios del territorio de Estados Unidos y abarcó un periodo de entre 10 y 20 años para varios sitios. Mockus declaró que no se esperaba que el método fuera un predictor de la infiltración sino del volumen total escurrido, y que dicha estimación es una tendencia promedio y no un valor exacto de un evento individual.

El número de curva de escurrimiento ( $N_c$ , sin dimensiones) está definido como una función de la retención potencial ( $S_r$ , en mm) de lluvia de parte de la cuenca (McCuen, 2004):

basin, which could only be useful for expeditious and general calculations for basin. The allocation of a specific  $N_c$  for the UHR, which is common in a watershed, would add one more category to the boards of SCS according to the conditions of the basin of interest.

The use of the concept of number of runoff curve  $N_c$ , defined by the Soil Conservation Service (SCS) (Mockus, 1949; Campos, 2002; Neitsch *et al.*, 2011; Natural Resources Conservation Service, 2013) is an alternative for the calculation of runoff, and used by several authors in many countries. The  $N_c$  given for estimating drained sheet can be found in tables reported by McCuen (2004) and Campos (2002). The concept of  $N_c$  estimated based on rainfall data and soil characteristics in basins where no capacity data is available (Dal-Ré, 2003 and Arellano, 2012). However, it does not give the expected results because the values defined by the SCS are not suitable for tropical areas (Muzik, 1993). Although it has the advantages of being predictive, stable and require a single parameter, its disadvantages are: 1) the runoff values are very sensitive to a change in  $N_c$ ; 2) lack detailed information on their variation for different precedent moisture conditions CHA; 3) lack of precision of the method for different coverages; 4) lack of knowledge of how space affects the scale of application  $N_c$  and; 5) development was done in specific conditions, which is not regionalized based on geology and climate, so it should be reviewed for each region (Ponce and Hawkins, 1996). According to Mockus, one of the authors of the method, interviewed by Ponce (1996), this work was generated with the Soil Conservation Service of the United States that began in 1928 in several parts of the territory of the United States and covered a period of 10 and 20 years for various sites. Mockus said it was not expected that the method was a predictor of infiltration but the total runoff volume, and this estimate is an average trend and not an exact value of an individual event.

The number of runoff curve ( $N_c$ , dimensionless) is defined as a function of the potential retention ( $S_r$ , in mm) of rain on the part of the basin (McCuen, 2004):

$$N_c = \frac{25400}{S_r + 254} \quad 1)$$

The  $S_r$  depends on soil conditions, vegetation cover and crop management and is calculated using Equation 2 (Neitsch *et al.*, 2011) or, Equation 3, developed by Hawkins (1993), for the determination or field calibration of  $N_c$ .

$$Nc = \frac{25400}{Sr + 254} \quad 1)$$

$$Sr = \frac{25400}{Nc} - 254 \quad 2)$$

El Sr depende de las condiciones del suelo, la cobertura vegetal y el manejo de los cultivos y se calcula con la ecuación 2 (Neitsch, *et al.*, 2011) o bien, la ecuación 3, desarrollada por Hawkins (1993), para la determinación o calibración en campo de los Nc.

$$Sr = \frac{25400}{Nc} - 254 \quad 2)$$

$$Sr = 5[LP + 2 Le - (4 Le^2 + 5 LP Le)^{0.5}] \quad 3)$$

Para cualquier par de datos, Lp, Le, en el rango de ( $0 < Le < Lp$ ), donde Lp es la lámina precipitada en mm, y Le es la lámina escurrida en mm.

En las tablas de Nc, la condición hidrológica se refiere a la densidad de la cubierta vegetal, la cual es muy común usar en las categorías de bosque, selva y pastos; y la condición hidrológica regular se refiere a densidades de entre 50 y 75% (McCuen, 2004). El grupo hidrológico del suelo (McCuen, 2004) puede ser A, B, C o D y dicho grupo puede definirse de acuerdo a cualquiera de los siguientes criterios: a) textura; b) velocidad de infiltración; y c) si se está en Estados Unidos de América de acuerdo al condado. En México es muy común usarlo por textura. El grupo A son suelos arenosos, el grupo B son suelos fracos, el grupo C son suelos arcillosos, y el grupo D son suelos arcillosos muy plásticos.

El escurrimiento superficial directo se estima como una función no-lineal de la precipitación Lp y en las denominadas abstracciones iniciales (Ia), con la ecuación 4, que depende del contenido de humedad del suelo, del uso del suelo y del tipo de suelo (Arellano, 2012). Ia se calcula con la ecuación 5 con  $\lambda = 0.2$  y, el Ve, se obtiene de la ecuación 6, en el que Ac, es el área de la cuenca.

$$Le = \frac{(Lp - Ia)^2}{Lp + 0.8 Sr} = \frac{(Lp - 0.2 Sr)^2}{Lp + 0.8 Sr} \quad 4)$$

Para  $Lp > Ia$ , de otra manera  $Le = 0$ .

$$Ia = \lambda Sr \quad 5)$$

$$Ve = Le \times Ac \quad 6)$$

Con el propósito de ampliar la aplicabilidad del método a otras condiciones, Mishra *et al.* (2005) revisaron la metodología del Nc del SCS empleando datos que procedían

$$Sr = 5[LP + 2 Le - (4 Le^2 + 5 LP Le)^{0.5}] \quad 3)$$

For any data, Lp, Le, in the range of ( $0 < Le < Lp$ ), where Lp is the precipitated sheet in mm, and Le is the runoff depth in mm.

In the Nc tables, the hydrological condition refers to the density of vegetation cover, which is a very common use in the categories of forest, jungle and pasture; and regular hydrologic condition refers to densities between 50 and 75% (McCuen, 2004). The hydrologic soil group (McCuen, 2004) can be A, B, C or D and the group can be defined according to any of the following criteria: a) texture; b) infiltration rate; c) if it is in the United States according to the county. In Mexico it is quite common to use it for texture. Group A are sandy soils, group B are loam, Group C are clay soils, and the group D are highly plastic clay soils.

The direct surface runoff is estimated as a non-linear function of the precipitation Lp and from the so called initial abstractions (Ia) with equation 4, depending on the moisture content of the soil, land-use and soil type (Arellano, 2012). Ia is calculated using Equation 5 with  $\lambda = 0.2$  and, the Ve, is obtained from equation 6, wherein Ac is the area of the basin.

$$Le = \frac{(Lp - Ia)^2}{Lp + 0.8 Sr} = \frac{(Lp - 0.2 Sr)^2}{Lp + 0.8 Sr} \quad 4)$$

For  $Lp > Ia$ , otherwise  $Le = 0$ .

$$Ia = \lambda Sr \quad 5)$$

$$Ve = Le \times Ac \quad 6)$$

In order to extend the applicability of the method to other conditions, Mishra *et al.* (2005) reviewed the methodology of Nc on the SCS using data coming from basins with areas of between 0.3 and 30.351 ha and rainfall data of 179 events registered from 1 to 50 years; discretized the precipitation (Lp, in mm) into five classes according to their size: Class A events with  $Lp \leq 12.7$ , Class B for  $Lp$  between 12.7 and 25.4, C Class for  $Lp$  between 25.4 and 38.1, Class D for  $Lp$  between 38.1 and 50.8, and Class E for  $Lp > 50.8$ ; and proposed Equation 7 to calculate Le, and for that of  $\lambda$  of equation 5 raised use the median rain event in the basin; finding that for the events with more than 38.1 mm Lp, Equation 4 works well, but in general for all events works best the equation 7 (Mishra *et al.*, 2005):

de cuencas con superficies de entre 0.3 y 30,351 ha y datos de lluvia de 179 eventos registrados de 1 a 50 años; discretizaron la precipitación ( $L_p$ , en mm) en cinco clases de acuerdo a su magnitud: Clase A para eventos con  $L_p \leq 12.7$ , Clase B para  $L_p$  entre 12.7 y 25.4, Clase C para  $L_p$  entre 25.4 y 38.1, Clase D para  $L_p$  entre 38.1 y 50.8, y Clase E para  $L_p > 50.8$ ; y propusieron la ecuación 7 para el cálculo de  $L_e$ , y para el de  $\lambda$  de la ecuación 5 plantearon usar la mediana de lluvia por evento en la cuenca; encontraron que para eventos con  $L_p$  mayor de 38.1 mm, la ecuación 4 funciona bien, pero que, en general, para todos los eventos funciona mejor la ecuación 7 (Mishra *et al.*, 2005):

$$L_p = \frac{(L_p - I_a)^2}{S_r + 0.5(L_p - I_a)} \quad 7)$$

Por su parte, Paz-Pellat (2009), hizo un análisis de las ecuaciones del SCS asociadas al  $N_c$ , concluyendo que no tienen sustento hidrológico ya que es resultado de la hipótesis no válida de igualar dos líneas rectas ( $L_e = L_p$  y  $L_e = L_p - S_r$ ), lo cual sólo es posible cuando  $S_r$  tiende a cero y  $L_p$  a infinito.

El  $N_c$  varía con el contenido de humedad del suelo, pasando de sus valores mínimos cuando el suelo está a punto de marchitamiento permanente (PMP) a cerca de 100 cuando los suelos están saturados (Neitsch, *et al.*, 2011), por lo que se debe evaluar la condición de humedad antecedente (CHA) en que se presentan los eventos. De acuerdo con McCuen (2004) y Aparicio (2012) el SCS define tres situaciones de CHA, asociándolos a la lámina precipitada ( $L_p$ ) de los 5 días previos a la fecha del evento analizado: I seco, que corresponde a PMP, equivalente a una  $L_p < 25$  mm; II humedad media que equivale a  $L_p$  entre 25 y 50 mm; y III húmeda, que corresponde a la capacidad de campo del suelo (CC) y equivale a más de 50 mm de  $L_p$ . La  $N_c$  se calcula con la ecuación 8 para la condición de humedad I y se denomina  $N_{c1}$ , con la ecuación 9 para la condición de humedad III y se denomina  $N_{c3}$ , en tanto que se denomina  $N_{c2}$ , cuando se refiere a la condición II y corresponde al obtenido de las tablas del SCS. Las ecuaciones son (Neitsch *et al.*, 2011):

$$N_{c1} = N_{c2} - \frac{20(100 - N_{c2})}{100 - N_{c2} + \exp[2.533 - 0.0636(100 - N_{c2})]} \quad 8)$$

$$N_{c3} = N_{c2} \times \exp[0.00673(100 - N_{c2})] \quad 9)$$

Cuando la pendiente del terreno es mayor de 5%, el  $N_c$  obtenida de las tablas se debe ajustar aplicando la ecuación 10 (Neitsch *et al.*, 2011):

$$L_p = \frac{(L_p - I_a)^2}{S_r + 0.5(L_p - I_a)} \quad 7)$$

Meanwhile, Paz-Pellat (2009), made an analysis of the equations of SCS associated with  $N_c$ , concluding that no hydrological support as it is a result of the null hypothesis of equal two straight lines ( $L_e = L_p$  and  $L_e = L_p - S_r$ ), which is possible only when  $S_r$  tends to zero and  $L_p$  to infinity.

The  $N_c$  varies with soil moisture content, from their minimum values when the soil is permanent wilting point (PMP) to about 100 when soils are saturated (Neitsch *et al.*, 2011), so we should evaluate the antecedent moisture condition (CHA) in which events occur. According to McCuen (2004) and Aparicio (2012) the SCS defines three situations CHA, associating them to the hasty sheet ( $L_p$ ), 5 days before the event date analyzed: I dry, corresponding to PMP, equivalent to one  $L_p < 25$  mm; II Average humidity, equal to  $L_p$  between 25 and 50 mm and; III wet, corresponding to the soil field capacity (CC) and equivalent to more than 50 mm of  $L_p$ . The  $N_c$  is calculated using Equation 8 for the moisture condition I and is called  $N_{c1}$ , equation 9 for the moisture condition III and called  $N_{c3}$  while  $N_{c2}$ , when it refers to the condition II and corresponds to the obtained SCS tables. The equations are (Neitsch *et al.*, 2011):

$$N_{c1} = N_{c2} - \frac{20(100 - N_{c2})}{100 - N_{c2} + \exp[2.533 - 0.0636(100 - N_{c2})]} \quad 8)$$

$$N_{c3} = N_{c2} \times \exp[0.00673(100 - N_{c2})] \quad 9)$$

When the slope is higher than 5%, the  $N_{c2}$  obtained from the tables must be adjusted using Equation 10 (Neitsch *et al.*, 2011):

$$N_{c2s} = \frac{N_{c3} - N_{c2}}{3} [1 - 2 \exp(-13.86 Sc)] + N_{c2} \quad 10)$$

Where:  $N_{c2s}$  is the number of curve for the moisture condition II, adjusted for slope and  $Sc$  is the average slope of the land in the watershed, dimensionless. In order to calculate the adjusted  $N_c$  by slopes for the antecedent moisture conditions I and III, the equations 8 and 9 are used, but replacing  $N_{c2s}$  instead of  $N_{c2}$ .

In the upper basin of the river Huehuetán, Chiapas, neighbor of the Basin Huixtla, Arellano (2012) calibrated the  $N_c$  for three micro-watersheds implemented, obtaining  $N_c = 63$  for a dense forest with high evapotranspiration for soil

$$Nc_{2s} = \frac{Nc_3 - Nc_2}{3} [1 - 2 \exp(-13.86 Sc)] + Nc_2 \quad 10)$$

Donde:  $Nc_{2s}$ =número de curva para la condición de humedad II ajustado por pendiente y  $Sc$ = pendiente promedio del terreno de la cuenca, adimensional. Para calcular los  $Nc$  ajustados por pendiente para las condiciones de humedad antecedente I y III, se emplean las ecuaciones 8 y 9, pero sustituyendo en ellas  $Nc_{2s}$  en lugar de  $Nc_2$ .

En la cuenca superior del Río Huehuetán, Chiapas, vecina de la Cuenca Huixtla, Arellano (2012) calibró el  $Nc$  para tres microcuencas instrumentadas, obteniendo  $Nc= 63$  para un bosque espeso con alta evapotranspiración para condiciones hidrológicas de suelo entre C y D; 46 para acahuall, que correspondió a un bosque ralo con baja evapotranspiración para una condición hidrológica de suelo A; y 77 para cobertura de mango-pasto, que corresponde a un bosque natural ralo con baja evapotranspiración y para una condición de suelo entre B (con  $Nc= 73$ ) y C ( $Nc= 82$ ) de acuerdo con el Cuadro 2. También para la costa de Chiapas, Campos (2010), estimó el  $Nc$  a partir de los datos de lluvia máxima en 24 h, para la cuenca de los Ríos Despoblado con cobertura de bosque espeso con alta transpiración y grupo hidrológico entre C y D ( $Nc= 64$ ) y Coatán ( $Nc= 58$ ) con condición de bosque muy espeso con alta transpiración y grupo hidrológico entre C y D del SCS.

Ares *et al.* (2012) calibraron el  $Nc$  en una cuenca agropecuaria de la provincia de Buenos Aires, Argentina, con una superficie de 116 km<sup>2</sup>, pendiente media de 2.8%, altitud de entre 340 y 188 m y suelos con velocidades de infiltración de entre 60 y 24 mm/h; analizaron 108 eventos ocurridos entre 2001 y 2007 y concluyeron que es necesario determinar el  $Nc$  con datos locales. Guichard *et al.*, 2014, calibraron los números de curva de escurrimiento en microcuencas de la Costa de Chiapas (Huixtla y Coatán), aunque en el caso de la cuenca Huixtla, sólo usaron la microcuenca Rosita; el análisis fue hecho para eventos extremos presentados históricamente. Guichard *et al.* (2014) muestran que la tendencia es que el número de curva en Rosita valga entre 52 y 55.

Por otra parte, el método del  $Nc$  pudiera ser una alternativa a la Norma Oficial Mexicana NOM-CNA-011 (SEMARNAT, 2002) para estimar volúmenes mensuales escurridos, la cual se basa en el método del coeficiente de escurrimiento y lo hace a nivel anual; sin embargo, dicha norma desarrollada originalmente para el territorio de Estados Unidos, en su fuente original (USBR, 1987) recomienda que para hacerlo

hydrological conditions between C and D; 46 for acahuall, corresponding to a sparse forest with low evapotranspiration for a hydrological soil condition A; and 77 for mango-grass cover, which corresponds to a sparse natural forest with low evapotranspiration and soil condition between B (with  $Nc = 73$ ) and C ( $Nc = 82$ ) according to Table 2. Also for Chiapas coast, Campos (2010) estimated the  $Nc$  from data in 24 h maximum rainfall for the basin of the river Despoblado, with thick forest coverage with high breathability and hydrological group between C and D ( $Nc= 64$ ) and Coatán ( $Nc= 58$ ) with very thick forest condition with high breathability and hydrological group between C and D of the SCS.

Ares *et al.* (2012) calibrated the  $Nc$  in an agricultural watershed in the province of Buenos Aires, Argentina, with an area of 116 km<sup>2</sup>, average slope of 2.8%, elevation between 340 and 188 m and soils with infiltration rates between 60 and 24 mm/h; analyzed 108 events occurred between 2001 and 2007 and concluded that it is necessary to determine the  $Nc$  with local data. Guichard *et al.*, 2014, calibrated the numbers of runoff curve in micro-watersheds of the Coast of Chiapas (Huixtla and Coatán), although in the case of the basin Huixtla, it was only used the micro-watershed Rosita; the analysis was done for extreme events presented historically. Guichard *et al.* (2014) showed that, the trend is that the number of curve in Rosita between 52 and 55.

Moreover, the  $Nc$  method could be an alternative to the Mexican Official Standard NOM-011-CNA(SEMARNAT, 2002) to estimate monthly runoff volumes, which is based on the method of runoff coefficient, on annual basis; however, this standard originally developed for the US territory, in their original source (USBR, 1987) recommends that to do so on a monthly basis, the annual volume is distributed in the months proportionally to the hasty monthly sheet, emphasizing that this method is only applicable in places where annual rainfall is between 350 and 2 150 mm, so it would not apply to conditions such as the basins of the Costa of Chiapas, where annual rainfall is higher than 4 500 mm.

As an example of this case, it's necessary to see the historical information of the weather station, key 7 012 Finca Argovia, where the annual average rain is over 4700 mm and in 2005 introduced an annual rainfall of 5 500 mm (SMN, 2014). Of course, if the NC method was used to estimate monthly runoff volume, since the level of time

a nivel mensual, el volumen anual se distribuya en los meses proporcionalmente a la lámina precipitada mensualmente, haciendo énfasis en que dicho método sólo es aplicable en aquellos lugares donde la precipitación anual sea entre 350 y 2 150 mm, por lo que no sería aplicable a condiciones como las cuencas de la Costa de Chiapas, donde hay precipitaciones anuales mayores a 4 500 mm.

Como ejemplo de este caso véase la información histórica de la estación meteorológica, clave 7012 Finca Argovia, en donde en promedio anual llueve más de 4 700 mm y en el año 2005 se presentó una precipitación anual de 5 500 mm (SMN, 2014). Desde luego que si se usara el método del  $N_c$  para estimar volumen escurrido mensual, puesto que el nivel de intervalo de tiempo al cual es permitido usar dicho concepto es a nivel evento, subhorario y diario, habría que hacer los cálculos a nivel diario y después, los valores obtenidos deberán sumarse para obtener el valor mensual.

El objetivo del presente estudio fue calibrar los números de curva definidos por el SCS, para su aplicación a tres microcuenca en condiciones tropicales con magnitudes altas de precipitación, cobertura de bosque, selva densa y permanente y fuertes pendientes, de la Cuenca del Río Huixtla, del estado mexicano de Chiapas.

## Materiales y métodos

### La cuenca del río Huixtla

La cuenca del Río Huixtla, hasta la estación de aforo del mismo nombre, tiene una superficie de 377 km<sup>2</sup> y pertenece a la Región Hidrológica #23, Costa de Chiapas y su rango de elevaciones va desde 0 msnm, en el Océano Pacífico, hasta 4 058 msnm. Su rango de precipitaciones, en promedio, va de 3 100 mm hasta 4 660 mm y su corriente principal, cruza la ciudad de Huixtla.

### Las microcuenca de estudio

La calibración del  $N_c$  se hizo para las microcuenca Rosita, Hannover y Berriozábal, ubicadas en la cuenca del Río Huixtla, del estado de Chiapas, México. La primera se caracterizó a partir de su levantamiento topográfico detallado, con el que se generó un plano con curvas de nivel a cada 0.50 m y los parámetros mostrados en el Cuadro 1, junto con las características de las otras dos microcuenca. Los datos

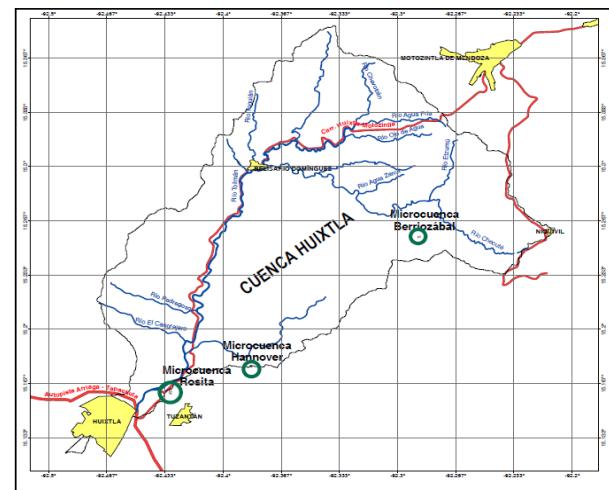
interval at which it is permitted to use that concept is to event level, subhorario and daily would have to do the math on a daily basis and after the values shall be summed to obtain the monthly value.

The aim of this study was the calibration curve numbers defined by the SCS, for application to three micro-watersheds in tropical conditions with strong high magnitudes of precipitation, forest cover, dense jungle and permanent slopes of the River Basin Huixtla, Chiapas.

## Materials and methods

### Huixtla River Basin

The Huixtla river basin, up to the gauging station of the same name, has an area of 377 km<sup>2</sup> and belongs to the Hydrologic Region #23, Coast of Chiapas and the elevation range goes from 0 meters above sea level in the Pacific Ocean up to 4058 meters. Its range of rainfall, on average, ranging from 3100 mm to 4660 mm and its mainstream, crosses the city from Huixtla.



**Figura 1. Localización de las microcuenca en la cuenca Huixtla en el estado de Chiapas.**

**Figure 1. Location of the micro-watersheds in the basin Huixtla in the State of Chiapas.**

### The micro-watershed study

$N_c$  calibration was made for micro-watersheds Rosita, Hannover and Berriozábal, located in the Huixtla river, Chiapas, Mexico. The first one was characterized from

empleados para el análisis, se obtuvieron de los informes del proyecto Monitoreo de Procesos Hidrológicos en las Cuencas Huixtla, Huehuetán y Coatán, de la Costa de Chiapas, desarrollado por la Comisión Nacional del Agua en colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo entre 2009 y 2011. En la Figura 1, se muestra la localización de las microcuencas al interior de la Cuenca Huixtla y en el Cuadro 1, se incluyen también los datos de precipitación promedio histórico que fueron obtenidos de información reportada por el SMN o de fincas cafetaleras cercanas a los sitios de trabajo.

**Cuadro 1. Características de las microcuencas Rosita, Hannover y Berriozábal.**

**Table 1. Characteristics of the micro-watersheds Rosita, Hannover and Berriozabal.**

Característica o parámetro fisiográfico			Microcuenca		
Nombre	Símbolo	Unidad	Rosita	Hannover	Berriozábal
Municipio de ubicación			Huixtla	Tuzantán	Motozintla
Altitud	Alt	m	116	613	1889
Área de la microcuenca	Ac	ha	4.34	1.11	1.67
Pendiente media de la cuenca	Sc	(%)	23.84	23.76	33.15
Lluvia anual promedio	Pa	mm	3100	4677	1189
Lluvia 2011		mm	3033	5175	1379
Textura			Migajón-arenoso	Migajón-arenoso	Migajón-arenoso
Cobertura vegetal			87% Acahual*	Café bajo	56% Maíz
			13% Bosque	sombra	44% Acahual

\*El acahual o huatal, se refiere a la vegetación secundaria de la selva baja caducifolia que rebrota cuando el terreno está en descanso (*barbecho*) en el sistema de roza-tumba y quema (Waibel, citado por Arellano, 2012).

Se analizaron 20, 82 y 27 eventos para las microcuencas Rosita, Hannover y Berriozábal, respectivamente, procesando sus datos de lámina precipitada (Lp) y lámina escurrida (Le) medidos en la salida de cada una, con un pluviógrafo tipo Hellman y un aforador tipo H con limnígrafo integrado, respectivamente. La disparidad en el número de eventos analizados responden a un par de factores: (1) De los tres lugares, Hanover es el más lluvioso y con mayor número de eventos, y (2) Berriozábal es el lugar más alejado de las poblaciones grandes y en un par de ocasiones fue vandalizado hasta que finalmente se robaron el pluviógrafo.

En el Cuadro 2 se exponen los datos estadísticos de los eventos utilizados para calcular los Nc con datos de campo para las tres microcuencas de estudio empleando la expresión 3. En dicho cuadro nótese que en el sitio Hannover, aunque se midieron lluvia y escurrimiento de 84 eventos, sólo 42 presentaron escurrimiento, que fueron los que se utilizaron para calcular Nc, ya que la ecuación 3 sólo es aplicable cuando la lámina escurrida es mayor que cero. Nótese también en el Cuadro 2, que de los 42 eventos usados

its detailed survey, in which a plane was generated with contours at each 0.50 m and the parameters shown in Table 1 together with the characteristics of the other two micro-watersheds. The data used for analysis were obtained from the reports of the Hydrological Monitoring Processes Project in the basins Huixtla, Huehuetán and Coatán, coast of Chiapas, developed by the National Water Commission in collaboration with the Chapingo Autonomous University between 2009 and 2011. In Figure 1, the location of the micro-watersheds within the basin Huixtla and in the

Table 1 is also included the historical average rainfall data that were obtained from information reported by the SMN or the coffee farms close to the workplace.

20, 82 and 27 events were analyzed for the micro-watersheds Rosita, Hannover and Berriozábal, respectively, processing data of precipitated sheet (Lp) and runoff depth (Le) measured at the output of each, with a Hellman type pluviograph and a type H flume with integrated limnograph, respectively. The disparity in the number of events analyzed respond to a couple of factors: (1) Of the three places, Hanover is the wettest and also has most of the events, and (2) Berriozábal is the farthest place from the largest populations and on a couple of occasions it was vandalized until finally the pluviograph was stole.

The Table 2 shows the statistical data of the events used to calculate the exposed Nc with field data for the three micro-watershed, using the expression 3. In this table, is noteworthy that, the Hannover site even though rain and runoff were measured in 84 events, only 42 showed runoff, which were those used to calculate Nc, as Equation 3 is only applicable when the runoff

de Hannover, 38 estuvieron en condición de humedad antecedente (CHA) III; es decir, la lluvia de los 5 días anteriores había sido mayor de 50 mm.

depth is higher than zero. Also in the Table 2, of the 42 events used of Hannover, 38 were in antecedent moisture condition (CHA) III; i.e. rain of the previous 5 days was higher than 50 mm.

**Cuadro 2. Información estadística sobre los eventos utilizados para calcular la curva de escurrimiento.**

**Table 2. Statistical information on the events used to calculate the runoff curve.**

Microcuenca y su cobertura	Estadístico	Lp (mm)	Le (mm)	Eventos medidos (adim)	Eventos con Le mayor que cero (adim)
Rosita (Acahual-bosque)	No. de eventos			20	20
	Máximo	59.4	30.6		9 CHA III
	Promedio	31.2	5.1		3 CHA II
Hannover (Café en sombra)	Mínimo	14.5	0.04		8 CHA I
	No. de eventos			82	42
	Máximo	138.5	11.6		38 CHA III
Barriozábal (Maíz-Acahual)	Promedio	47.62	2.5		2 CHA II
	Mínimo	5.3	0.01		2 CHA I
	No. de eventos			27	20
	Máximo	49.2	7.1		14 CHA III
	Promedio	19.8	1.21		3 CHA II
	Mínimo	2.7	0.01		3 CHA I

Con base a las tablas del Nc reportadas por McCuen (2004) y Campos (2002) y considerando el tipo de suelo, la condición hidrológica y el grupo hidrológico, se determinaron los valores de tablas que corresponde a un Nc<sub>2</sub> (CHA II y pendiente media de la cuenca menor que 5%), para las tres microcuencas. Los valores así determinados se presentan en el Cuadro 3.

Based on the Nc tables, reported by McCuen (2004) and Campos (2002) and also considering the type of soil, the hydrological conditions and the water group, the values of tables were determined corresponding to a Nc<sub>2</sub> (CHA II and average slope of a basin lower than 5%), for the three micro-watersheds. The carrying values are presented in Table 3.

**Cuadro 3. Definición del Nc<sub>2</sub> a partir de las características de las microcuencas estudiadas.**

**Table 3. Definition of Nc<sub>2</sub> from the characteristics of the studied micro-watersheds.**

Microcuenca	Uso del suelo	Condición hidrológica	Grupo hidrológico	Nc <sub>2</sub>
Rosita	Acahual con bosque	Buena	Entre B y C	72
Hannover	Café en sombra	Buena	B y C	63
Berriozábal	Acahual (44%)	Buena	B y C	71
	Maíz (56%)	Buena	B	

Dichos valores del Cuadro 3, se corrigieron posteriormente por pendiente y por CHA con las ecuaciones 8, 9 y 10, según correspondió y se compararon con los elegidos (estimados) de tablas. La comparación se hizo mediante el estadístico llamado el error relativo (ER en %) calculado con la ecuación 11.

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad 11$$

These values in Table 3 were subsequently corrected by slope and CHA with equations 8, 9 and 10, as corresponded and compared to the elect (estimated) tables. The comparison was made through the statistical called the relative error (ER%) calculated using equation 11.

$$ER = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n O_i^2} \quad 11$$

Donde: ER= error relativo en (%);  $O_i$ = valor observado, y  $E_i$ = valor estimado.

## Resultados y discusión

En el Cuadro 4 se muestra el rango en el que varían los valores de Nc obtenidos con datos de campo ( $Nc_{CAMPO}$ ) y de los estimados y corregidos por pendiente y por CHA cuando fue el caso ( $Nc$ ) para las tres microcuencas estudiadas. También se muestra el error relativo (ER) al comparar entre el  $Nc$  de campo y cada una de las  $Nc$  estimadas; dicha comparación fue por evento. El mayor error se presentó para la microcuenca Hannover, en la que anualmente llueve más (con 5 175 mm en el año 2011) y el menor error corresponde a la microcuenca Berriozábal, que presentó la menor precipitación en ese mismo año (1 379 mm). Es pertinente recordar también que en Hannover, de todos los eventos usados para calcular el  $Nc$ , la mayoría estuvo en CHA III; también en esta microcuenca se detectó, que la lluvia de los 5 días anteriores, llegó a tomar valores de hasta 531 mm (con un valor medio de 196 mm), lo cual está muy por arriba del umbral de 50 mm para declararlo como CHA III del SCS.

El Cuadro 5 muestra un resumen de lo que pudieran ser los  $Nc$  recomendados en cada microcuenca para cada CHA; aunque debe notarse que tanto en Hannover como en Berriozábal, el mayor número de eventos están concentrados bajo la CHA III, y hay muy pocos eventos con CHA I y CHA II. La microcuenca Rosita parece tener un comportamiento diferente, ya que es un sitio localizado en un área más poblada, a un menor elevación sobre el nivel del mar y donde el ganado suele pastorear; los resultados de Rosita contrastan con los obtenidos por Guichard *et al.* (2014), ya que ellos mencionan que un valor más alto de  $Nc$  es de 55. Las diferencias pueden deberse a que Guichard *et al.* (2014) analiza valores no muy precisos medidos desde 1955 en pluviómetros con una dudosa ubicación que puede no haber llovido en Rosita. Además los datos del trabajo que aquí se presentan son más actualizados, lo cual considera el deterioro antropogénico en las cuencas, y además se hace un análisis por textura, pendiente y humedad antecedente.

En lo que respecta a la condición de humedad antecedente, debe ser claro, que cuando se usen los  $Nc$  para diseñar una obra hidráulica o monitorear un evento extremo, se

Where: ER=relative error (%);  $O_i$ =observed value and,  $E_i$ =estimated value.

## Results and discussion

The Table 4 shows the range in which the values of  $Nc$  range, obtained with field data ( $Nc_{field}$ ) and the estimated and corrected by slope and by CHA as was the case ( $Nc$ ) for the three studied micro-watersheds. The relative error (ER) is also shown, by comparison between the  $Nc$  field and each of the estimated  $Nc$ ; this comparison was by event. The biggest mistake was presented for the micro-basin Hannover, where there is more rain annually (with 5 175 mm in 2011) and the lowest error corresponds to the micro-watershed Berriozábal, which had the lowest rainfall in the same year (1 379 mm). It is also relevant to recall that in Hannover, of all the events used to calculate  $Nc$ , most of them were in CHA III; also in this micro-basin was detected the rain of the previous 5 days, taking values up to 531 mm (with an average of 196 mm), which is well above the threshold of 50 mm to declare it as CHA III of SCS.

### Cuadro 4. Comparación de curvas de escurrimiento entre las calibradas en campo y las estimadas corregidas por pendiente y CHA.

Table 4. Comparison of runoff curves between calibrated in the field and the estimated corrected by slope and CHA.

Microcuenca	Estadístico	$Nc_{CAMPO}$	SCS	
			$Nc$	ER (%)
Rosita (acahual con bosque)	Máximo	93.0	89.7	
	Media	78.8	75.4	
	Mínimo	64.2	58.8	
	Error relativo			6.0
	Desv. estándar	9.35		
	Máximo	97.3	84.7	
Hannover (café en sombra)	Media	65.6	82.2	
	Mínimo	42.4	49.5	
	Error relativo			13.6
	Desv. estándar	12.83		
	Máximo	95.3	89.3	
	Media	81.8	82.6	
berriozábal (maíz con acahual)	Mínimo	62.5	58.04	
	Error relativo			2.6
	Desv. estándar	7.96		

recomienda usar los datos bajo una condición húmeda (CHA III), bajo la cual se tiene un tamaño de muestra ya más representativo. Pero si lo que se quisiera es usar los Nc para estimar volumen escurrido diario para llevarlo a mensual y luego a anual, simplemente se recomendaría usar el valor promedio de cada sitio mostrado en el Cuadro 4.

**Cuadro 5. Resumen de los Nc promedio medidos para cada condición hidrológica antecedente (CHA).**

**Table 5. Summary of the average Nc for each antecedent hydrological conditions (CHA).**

Microcuenca	Uso suelo	Textura	CHA*	Nc	Núm. de Eventos
Rosita	Acahual-bosque	Migajón	I	81	8
		Arenoso	II	87	3
			III	74	9
Hannover	Café bajo sombra	Migajón	I	91	2
		Arenoso	II	79	2
			III	63	38
Berriozábal	Maíz con acahual	Migajón	I	78	3
		Arenoso	II	86	3
			III	82	14

\*CHA I= condición seca; CHA II= condición media; CHA III= condición húmeda.

De acuerdo con Hawkins (1993) la relación precipitación por evento versus número de curva de escurrimiento puede ser de tres tipos: complaciente, estándar o violento; siendo más común el tipo estándar y para el cual resultan más aplicables las ecuaciones 2 y 4. La Figura 2 muestra dichas relaciones para las tres microcuenca analizadas. Las microcuenca Hannover y Berriozábal muestran un comportamiento de respuesta estándar y la microcuenca Rosita, aunque pareciera no mostrar tendencia hacia uno de los tres patrones, en lo general (si se quitan los últimos dos eventos), su comportamiento también es de respuesta estándar.

Las ecuaciones mostradas en cada una de las gráficas de la Figura 2, se muestran sólo para mostrar la tendencia de la relación lluvia- curva de escurrimiento en acuerdo con la clasificación de Hawkins (1993): a) comportamiento complaciente; b) comportamiento estándar; y c) comportamiento violento. Dichas ecuaciones no se están sugiriendo usarse para obtener el número de curva de escurrimiento, Nc. Dado que determinar un Nc es más complejo que sólo hacerla depender de la precipitación, sino que más bien se recomienda consultar los números de curva de escurrimiento contenidos en el Cuadro 5, el cual considera que el Nc depende no sólo de lo que precipita, sino también de la textura, uso de suelo y condición de humedad antecedente.

The Table 5 shows a summary of what might be Nc recommended in each micro-watershed for each CHA; although, it should be noted that for both Hannover and Berriozábal, the largest number of events are concentrated under the CHA III, and there are very few events with CHA I and CHA II. The micro-basin Rosita seems to have a

different behaviour, since it is a place located in a populated area, at a lower elevation above sea level and where cattle usually graze; Rosita results contrast with those obtained by Guichard *et al.* (2014), as they mention a higher value of Nc at 55. The differences may be due to Guichard *et al.* (2014) analyzes not very accurate values, measured since 1955, in questionable located gauges, which might imply that it did not even rain in Rosita. Besides, the data presented in this paper are updated, which considers the anthropogenic deterioration in watersheds, plus a texture, slope and antecedent moisture analysis.

With respect to the moisture condition precedent, it must be clear that when Nc are used to design a hydraulic work or monitor an extreme event, it is recommended to use the data under a wet condition (CHA III), under which it has a sample size more representative. But if what we want is to use the Nc for estimating runoff volume daily to carry monthly and then annually, it is simply recommended to use the average value of each site shown in Table 4.

According to Hawkins (1993), the relationship precipitation per event, versus the number curve of runoff can be of three types: complacent, standard or violent; being the most common standard and for which equations 2 and 4 are more applicable. The Figure 2 shows these relationships for the three micro-watersheds analyzed. The micro-watersheds

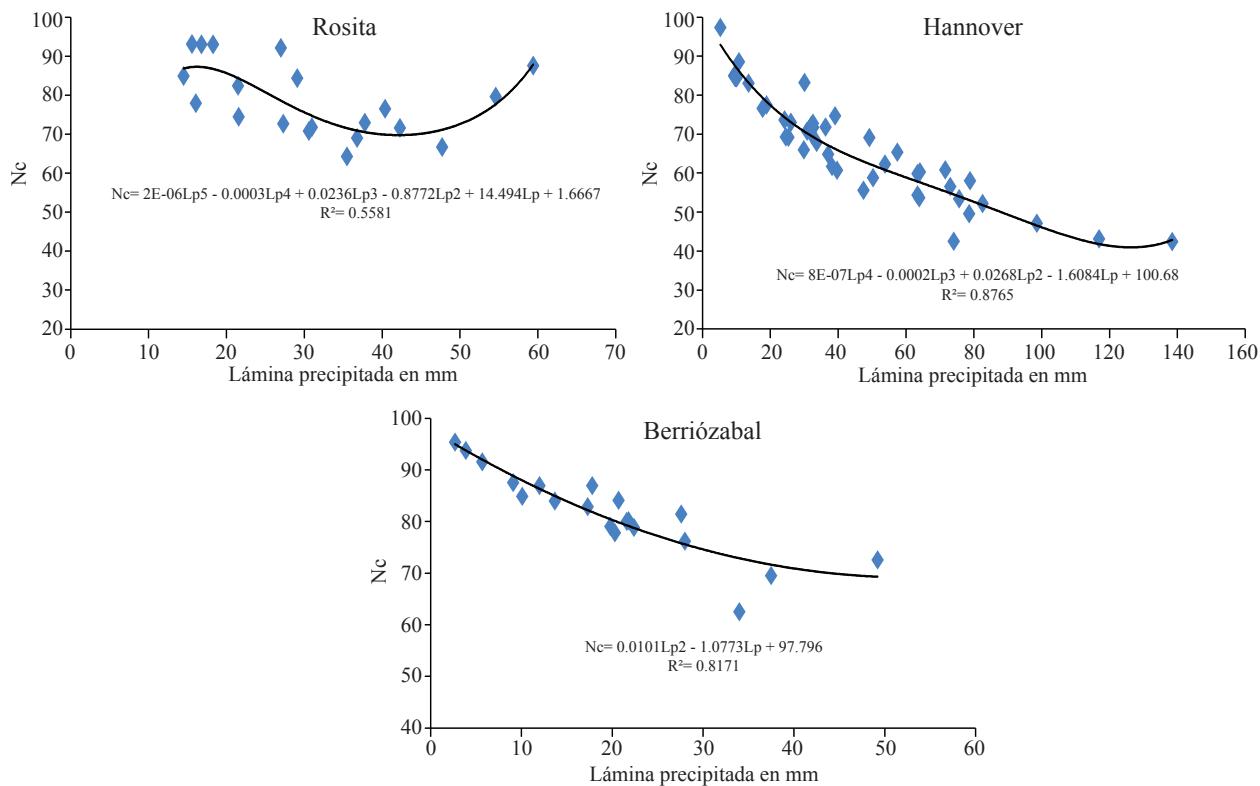


Figura 2. Variación del número de curva de escurrimiento de acuerdo a la precipitación.

Figure 2. Variation of the number of runoff curve according to precipitation.

## Conclusiones y recomendaciones

Se recomienda utilizar los valores medios de número de curva de escurrimiento, obtenidos en este trabajo y mostrados por el cuadro 4, bajo la columna “ $Nc_{CAMPO}$ ”, para el cálculo de volumen escurrido diario para llevarlo a nivel mensual, en aquellas partes de las cuencas de la Costa de Chiapas, donde existan las condiciones de tipo, uso de suelo y pendiente de las microcuencas bajo estudio (textura migajón-arenosa con usos de suelo acahual, bosque, café bajo sombra y maíz; y con pendiente media de la cuenca mayor de 25%).

En la Costa de Chiapas, para la preparación de una avenida de diseño se recomienda usar los valores de CHA III o húmeda del Cuadro 5.

Cuando se usen valores de  $Nc$  de tablas para la Costa de Chiapas, se recomienda corregir por pendiente ya que un gran porcentaje de sus cuencas tienen subcuencas con pendiente promedio mayor de 5%, con la excepción de la parte baja de la cuenca, cercana a las ciudades de Huixtla, Huehuetán y Tapachula; eso por poner ejemplos de qué tan

Berriozábal and Hannover show a standard response behavior and, the micro-basin Rosita, even though it seemed not to show a tendency towards one of the three patterns, usually (if the last two events are removed), the behavior is also standard.

The equations shown in each of the graphs of Figure 2, shown only the trend of runoff curve in accordance with the classification of Hawkins (1993): a) complacent behavior; b) standard behavior; c) violent behavior. These equations are suggesting not to be used for the number of runoffs curves,  $Nc$ . Since to determine an  $Nc$  is more complex than just making it dependent on rainfall, but rather are encouraged to consult the number of runoff curves contained in Table 5, which considers the  $Nc$  depends not only on what precipitates, but also texture, land-use and antecedent moisture condition.

## Conclusions and recommendations

We recommend using the mean values of the number of runoff curve, obtained in this study and shown by Table 4, under the  $Nc_{FIELD}$  column, for calculating the daily runoff

poca extensión de las cuencas de la Costa de Chiapas tienen pendientes menores o iguales de 5% como para aplicar directamente el valor del número de curva leída de las tablas originales del extinto SCS de los EUA.

Se recomienda en próximos trabajos realizar un análisis más cuidadoso de la condición de humedad antecedente considerando: (a) las aclaraciones que realiza McCuen (2004) para época de crecimiento y época de descanso; y (b) una nueva propuesta de análisis para la CHA, ya que en casos como Hannover, la lluvia los 5 días anteriores es muy alta, y dicho sitio es el de mayor error, dando como resultado, al usar las tablas del SCS, un valor sobreestimado de Nc.

## Agradecimientos

A la Comisión Nacional del Agua, que a través de las oficinas centrales de la Gerencia de Distritos de Temporal Tecnificado y del Organismo de Cuenca Frontera Sur, dieron la autorización y facilidades para emplear los datos de precipitación y escurrimiento medidos en las microcuencas estudiadas a través del Programa de Monitoreo de Procesos Hidrológicos en las Cuencas Huixtla, Huehuetán y Coatán en el estado de Chiapas.

## Literatura citada

- Aparicio, M. F. J. 2012. Fundamentos de hidrología de superficie. Décima reimpresión. Ed. Limusa. México, D. F. 303 p.
- Arellano, M. J. L. L. 2012. Vulnerabilidad y gestión de riesgos por deslizamientos e inundaciones en la cuenca superior del Río Huehuetán, Chiapas. Tesis Doctoral. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Programa de Posgrado. Jiutepec, Morelos, México. 447 p.
- Ares, M. G.; Varni, M.; Chagas, C. y Entraigas, I. 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, A. D. F. 2002. Contraste del procedimiento propuesto para estimar hidrogramas anuales estacionales en cuencas sin aforo. Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP. México. 65 p.
- Campos, A. D. F. 2010. Calibración del número  $N$  con predicción de crecientes, en dos cuencas rurales de la Costa de Chiapas. In: XXI Congreso Nacional de Hidráulica, Guadalajara, Jalisco, México, D. F. 6 p.
- Campos, A. D. F. 2011. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Primera edición. San Luis Potosí, México. 440 p.
- Dal-Ré, T. R. 2003. Pequeños embalses de uso agrícola. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 385 p.
- Guichard, R. D.; Arellano, M. J. L.; González, P. S.; Aguilar, S. M. A.; Domínguez, M. R. y Muciño, P. J. J. 2014. Calibración de los números de escurrimiento en microcuencas de la región hidrológica 23 (Costa de Chiapas). In: XXIII Congreso Nacional de Hidráulica en Puerto Vallarta, México.
- Hawkins, R. H. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. J. Irrigation and Drainage Engineering. 119(2):334-345.
- Juárez- Méndez, J.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Pérez-Nieto, S. y Arellano-Monterrosas, J. L. L. 2009. Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río Huehuetán. México. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 1(2):60-76.
- McCuen, R. H. 2004. Hydrologic analysis and design. Third edition. Ed. Pearson Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 859 p.
- Miranda-Aragón, L.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Valdez-Lazalde, J. R. y Hernández-de la Rosa, P. 2009. Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero en dos escenarios de uso de suelo. México. Agrociencia. 43(4):333-344.
- Mishra, S. K.; Jain, M. K.; Bhunya, P. K. and Singh, V. P. 2005. Field applicability of the SCS-CN based Mishra-Singh general model and its variants. Water Resour. Manage. 19 (1):37-62.

volume to carry it into monthly level, in those parts of the basins of the cost of Chiapas, where conditions of land-use and slope of the micro-watersheds under study (sandy-loam texture with acahuil uses soil, forest, shade-grown coffee and maize; and with average gradient of basin at 25%).

On the coast of Chiapas, for the preparation of a design flood is recommended to use the values CHA III or wet in Table 5.

When values of Nc are used, from tables for the cost of Chiapas it is recommended to correct by slope, since a large percentage of their basins have sub-basins with average slope higher than 5%, except for the lower part of the basin, near the cities of Huixtla, Huehuetán and Tapachula; so to give examples of how little extension are in the coast Chiapas with slopes lower than or equal to 5%, for apply the value number of curve from the original tables of the late SCS from the US.

Future work is recommended in a more careful analysis of the antecedent moisture condition considering: (a) the clarifications made by McCuen (2004) for the growth and resting times and; (b) a new proposal of analysis for the CHA, as in cases like Hannover, rain of the previous 5 days is very high, and this site has the biggest error, resulting on an overestimated value of Nc when using SCS tables.

*End of the English version*



- Dal-Ré, T. R. 2003. Pequeños embalses de uso agrícola. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. 385 p.
- Guichard, R. D.; Arellano, M. J. L.; González, P. S.; Aguilar, S. M. A.; Domínguez, M. R. y Muciño, P. J. J. 2014. Calibración de los números de escurrimiento en microcuencas de la región hidrológica 23 (Costa de Chiapas). In: XXIII Congreso Nacional de Hidráulica en Puerto Vallarta, México.
- Hawkins, R. H. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. J. Irrigation and Drainage Engineering. 119(2):334-345.
- Juárez- Méndez, J.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Pérez-Nieto, S. y Arellano-Monterrosas, J. L. L. 2009. Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río Huehuetán. México. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 1(2):60-76.
- McCuen, R. H. 2004. Hydrologic analysis and design. Third edition. Ed. Pearson Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 859 p.
- Miranda-Aragón, L.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Valdez-Lazalde, J. R. y Hernández-de la Rosa, P. 2009. Modelación hidrológica empírica del gasto de 100 años de periodo de retorno del Río Grande, Tlalchapa, Guerrero en dos escenarios de uso de suelo. México. Agrociencia. 43(4):333-344.
- Mishra, S. K.; Jain, M. K.; Bhunya, P. K. and Singh, V. P. 2005. Field applicability of the SCS-CN based Mishra-Singh general model and its variants. Water Resour. Manage. 19 (1):37-62.

- Mockus, V. 1949. Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms. Exhibit A, appendix B. Interim survey report, grand (Neosho) River Watershed, US Department of Agriculture, Washington, D. C. USA. 51 p.
- Muzik, I. 1993. Applicability of the modified SCS prediction method to small catchments in Thailand. *In: hydrology of warm humid regions (Proc. Yokohama Symp.)*. IAHS. 216:195-201.
- Natural Resources Conservation Service. 2013. National engineering handbook, part 630, Hydrology. U.S. Department of Agriculture. [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs /detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063).
- Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R. and Williams, J. R. 2011. Soil and water assessment tool user's manual; version 2009. Grassland, soil and water research laboratory of agricultural research service and blackland research center at Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. USA. 618 p.
- Paz-Pellat, F. 2009. Mitos y falacias del método hidrológico del número de curva del SCS/NRCS. *Agrociencia*. 43(5):521-528.
- Pérez, N. S. 2013. Erosión hídrica en Cuenca Costera de Chiapas y estrategias para su restauración hidrológico-ambiental. Tesis Doctoral. Posgrado en Hidrociencias del Colegio de Postgraduados. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 260 p.
- Ponce, V. M. 1996. Notes of my conversation with Vic Mockus, interview with Víctor Miguel Ponce. San Diego, California. [http://hitos.sdsu.edu/mockus\\_conversacion.html](http://hitos.sdsu.edu/mockus_conversacion.html) (consultado agosto, 2013).
- Ponce, V. M. and Hawkins, R. H. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? *J. Hydrologic Eng.* (1)11-19.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-011-CNA-2000 Conservación de recurso agua, que establece las especificaciones y el Método para determinar la disponibilidad anual de las Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación. 17 de abril de 2002. México, D. F.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2014. Climatología histórica diaria de Finca Argovia, Chiapas, clave 7012. <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Diarios/7012.txt> (consultado febrero, de 2014).
- U.S. Army of Corps Engineers, USACE. 2000. Hydrologic modeling system, HMS. Technical reference. Hydrologic Engineers Center. USA. 149 p.
- U.S. Army of Corps Engineers, USACE. 2010. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Version 3.5 User's Manual. Hydrologic Engineers Center. USA. 318 p.
- U.S. Bureau of reclamation, USBR. 1987. Design of small dams. 860 p.