

Determinación del escurrimiento en la cuenca Huixtla, Chiapas, por el método de N_c y usando SIG, TAM y NB_{10} *

Determination of runoff in Huixtla, Chiapas basin, by the N_c method and using GIS, TAM and NB_{10}

Samuel Pérez-Nieto^{1§}, Laura Alicia Ibáñez-Castillo¹, José Luis Leobardo Arellano-Monterrosas², José Luis Oropeza-Mota³, Demetrio Salvador Fernández-Reynoso³ y Jesús Chávez Morales³

¹Departamento de Irrigación- UACH. Carretera México- Texcoco, km 38.5 C. P. 56230. Chapingo, Estado de México; Tel: (595) 952 1620. ²Organismo 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. Tel: (961) 602 1189; (jose. arellanoa@conagua.gob.mx). ³Programa de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados. Carretera México- Texcoco km 33.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel: (595) 952 0240. (oropeza@colpos.mx). [§]Autor para correspondencia: sperezn@correo.chapingo.mx.

Resumen

Se determinó el volumen de escurrimiento V_e para 53 Subcuencas de la Cuenca Huixtla de la Costa mexicana de Chiapas, correspondiente a la precipitación de la Tormenta Tropical Stán ocurrido del 01 a 06 de octubre de 2009, utilizando los modelos distribuido y agregado, empleando los conceptos de número de curva N_c y parámetro de retención S_r definidas por el United States Department of Agriculture (USDA), y aplicando las técnicas de álgebra de mapas (TAM), Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el algoritmo de números de base 10 (NB_{10}) que se propone para asociar las características de las que depende el N_c ; para ello se generó una tabla con los usos del suelo presentes en la cuenca definiéndoles los NB_{10} de 1 000 a 13 000, otra para los tipos de condición hidrológica a los que se les asoció los NB_{10} múltiplos de 100 (100 para buena, 200 para regular y 300 para pobre) y, una tercera para los grupos hidrológicos a los que se les asignó el NB_{10} múltiplos de 10 (10 para el grupo A, 20 para B, 30 para C y 40 para D). De los resultados del volumen de escurrimiento para las subcuencas (V_{ec}), por el modelo distribuido y el modelo agregado, se observa que las diferencias entre ambos métodos son mínimas, del orden 1.07% del promedio; el volumen de escurrimiento (V_e) para

Abstract

It was determined the runoff volume V_e for 53 sub basins of Huixtla Basin from Mexican Coasts of Chiapas, corresponding to precipitation of Tropical Storm Stan occurred from October 01 to 06 2009, using the distributed and added models, using the concept N_c curve number and retention parameter S_r defined by the United States Department of Agriculture (USDA), and applying map algebra techniques (TAM), Geographic Information Systems (GIS) and the algorithm number base 10 (NB_{10}); which is proposed to associate the characteristics that depend on N_c ; for this was generated a table with present land use in the basin, defining the NB_{10} from 1 000 to 13 000, another for the types of hydrologic conditions to which are associated the NB_{10} multiples of 100 (100 for good, 200 for Regular and 300 for poor) and a third for hydrological groups that were assigned NB_{10} multiples of 10 (10 for group A, 20 for B, 30 for C and 40 for D). From the results of the runoff volume for sub-basins (V_{ec}), by the distributed model and the aggregate model, it is observed that the differences between the two methods are minimal, on the order 1.07% of the average; the runoff volume (V_e) for the Huixtla Basin, calculated by the distributed model was 301 229 025 m³ (equivalent to

* Recibido: noviembre de 2013
Aceptado: mayo de 2014

la Cuenca Huixtla, calculado por el modelo distribuido, fue de 301 229 025 m³ (que equivale a $Le=0.847$ m) y por el modelo agregado de 304 115 519 m³ (que corresponde a $Le=0.856$ m), lo que implica una diferencia de 0.97% y significa que ambos modelos, empleados con las técnicas de SIG, TAM y NB_{10} proporcionan prácticamente los mismos resultados, por lo que se puede emplear uno u otro indistintamente.

Palabras clave: escurrimiento, número de curva, cuencas costeras, números de base 10.

Introducción

El volumen de escurrimiento (V_e , en m³) de una cuenca, está dado por el producto de la lámina de escurrimiento (Le , en m) y el área de la cuenca (Ac , en m²), de acuerdo con la expresión 1 (Pérez, 2013).

$$V_e = Le \times Ac \quad (1)$$

Uno de los métodos cada vez más aceptado y utilizado en Ingeniería hidrológica para la determinación de la Le , y para evaluar el efecto del uso del suelo sobre el escurrimiento en una cuenca es el basado en el concepto de número de curva de escurrimiento (N_c), definido por el Soil Conservation Service (SCS) del United States Department of Agriculture (USDA) (Juárez *et al.*, 2009; Miranda *et al.*, 2009) y se calcula con la expresión 2 (Mockus, 1949; Ponce and Hawkins, 1996; NRCS, 2013). Mockus (1949) uno de los principales autores del método señala que éste fue desarrollado en base a datos de lluvia en 24 h; sin embargo, originalmente fue propuesto para cuantificar el antes y después de un evento de lluvia. Por los conceptos base que sustentan la ecuación fundamental del Método (3) y por la información dada por Mockus (1949), se concluye que es aplicable para escalas de tiempo de una tormenta de 24 h y de incrementos de tiempo que son un subconjunto del tiempo total que duró el evento (McCuen, 2005; Campos, 2011a; Bedient *et al.*, 2012). En la expresión 2, Le resulta en m si la precipitación del evento Pr , se introduce en esta misma unidad.

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

La aceptación del método se debe a su simplicidad ya que se basa en un único parámetro, que es el denominado potencial máximo de retención Sr , dado por la expresión 4 que varía

$Le=0.847$ m) and the aggregate model of 304 115 519 m³ (corresponding to $Le=0.856$ m), which implies a difference of 0.97% and means that both models, used with GIS, TAM and NB_{10} techniques, practically provides the same results, so it can be used either one or the other interchangeably.

Keywords: runoff, curve number, coastal basins, number base 10.

Introduction

The runoff volume (V_e , in m³) of a basin, is given by the product of the runoff sheet (Le , in m) and basin area (Ac in m²), according to expression 1 (Pérez, 2013).

$$V_e = Le \times Ac \quad (1)$$

One of the increasingly accepted and used in hydrologic engineering for determining Le and to evaluate the effect of land use on runoff in a basin method, is based on the concept of runoff curve number (N_c) defined by the Soil Conservation Service (SCS) of the United States Department of Agriculture (USDA) (Juárez *et al.*, 2009; Miranda *et al.*, 2009.) and is calculated using expression 2 (Mockus, 1949; Ponce and Hawkins, 1996; NRCS, 2013). Mockus (1949) one of the main authors of this method mentioned that this was developed based on rainfall data in 24 h; however, was originally proposed to quantify the before and after of a rain event. For the basic concepts underlying the fundamental equation of the method (3) and by the information given by Mockus (1949), was concluded that is applicable for time scales of 24 h storm and of time increments that are a subset of the total length of the event (McCuen, 2005; Campos, 2011a; Bedient *et al.*, 2012). In expression 2, Le turns in m if the precipitation of the event Pr , is introduced in this unit.

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

Acceptance of the method is due to its simplicity and it is based on a single parameter, which is the so-called maximum potential of retention Sr , given by expression 4, which varies spatially due to changes in land use and soil management and slope and temporarily as a result of changes in soil moisture content (Neitsch *et al.*, 2001).

espacialmente debido a los cambios en el suelo el uso y el manejo del suelo y la pendiente del terreno, y temporalmente como resultado de los cambios en el contenido de humedad del suelo (Neitsch *et al.*, 2001).

$$N_c = \frac{25400}{S_r + 254} \quad (3)$$

$$S_r = \frac{25400}{N_c} - 254 \quad (4)$$

Como parte de la definición inicial del concepto y del método, el SCS generó varias tablas como la que se expone en el Cuadro 1, para determinar el N_c para uso forestal del suelo (McCuen, 2005), en la que cada N_c , describe numéricamente una combinación específica de suelo, uso del suelo y su tratamiento (Terzoudi *et al.*, 2007 y Campos, 2011b), el cual denominaron complejo hidrológico suelo-cobertura. Campos (2011b), indica que el uso del suelo, se refiere a la cubierta del terreno o cuenca, incluyendo la vegetación, el revestimiento en suelos urbanos o destinados a caminos y la condición de barbecho, para suelos de uso agrícola, por ejemplo; y para este último caso, incluye las prácticas mecánicas como el terrajeo y el contorno, y las prácticas de manejo como el pastoreo y su control o la rotación de cultivos.

El grupo hidrológico del suelo, clasifica cuatro grupos del suelo, definidos a partir de su potencial para producir escurrimiento con base en su velocidad de Infiltración I y su velocidad de transmisión (flujo horizontal, T) cuando están mojados (Campos, 2011b), como sigue: a) bajo potencial de escurrimiento, debido a su alta I , que consisten principalmente de arenas y gravas profundas, con drenaje bueno a excesivo y altas T , con valores mayores de 7.6 mm h^{-1} ; b) uelos con moderada I , con cantidades moderadas de texturas finas a gruesas, drenaje medio y algo profundos, son básicamente arenosos y que tienen moderadas T (de 3.8 a 7.6 mm h^{-1}); c) suelos que tienen baja I , consisten básicamente de arenas y gravas profundas, con drenaje bueno a excesivo y bajas T (de 1.3 a 3.8 mm h^{-1}); y d) alto potencial de escurrimiento, originado por su baja I , ya que consisten principalmente de suelos arcillosos con alto poder de hinchamiento, con nivel freático alto y permanente, con estratos arcillosos cerca de la ficie, o bien, suelos someros sobre horizontes impermeables y que tienen muy bajas T (de 0 a 1.3 mm h^{-1}) (Cuadro 1).

$$N_c = \frac{25400}{S_r + 254} \quad (3)$$

$$S_r = \frac{25400}{N_c} - 254 \quad (4)$$

As part of the initial definition of the concept and method, the SCS generated multiple tables as exposed in Table 1, to determine N_c for forest land use (McCuen, 2005), in which each N_c , describes numerically a specific combination of soil, land use and its treatment (Terzoudi *et al.*, 2007 and Campos, 2011b), which called hydrologic soil-cover complex. Campos (2011b) indicates that land use refers to land cover or basin, including vegetation, soils or coating intended for urban roads and fallow condition for soils of agricultural use; for the last case includes mechanical practices such as contouring and terracing, and management practices such as grazing and its control or crop rotation.

The hydrologic soil group, classifies four soil groups, defined based on their potential to produce runoff based on its infiltration rate I and its transmission rate (horizontal flow, T) when wet (Campos, 2011b), as follows: a) low runoff potential due to its high I , consisting primarily of deep sands and gravels, with good to excessive drainage and high T , with values greater than 7.6 mm h^{-1} ; b) Soils with moderate I , with moderate amounts of fine to coarse textures, intermediate and deep drainage, are basically sandy with moderate T (from 3.8 to 7.6 mm h^{-1}); c) soils having low I , consist primarily of deep sands and gravels, with good to excessive drainage and low T (1.3 to 3.8 mm h^{-1}); and d) high potential for runoff, caused by low I , consisting mainly of clay soils with high swelling power, with high phreatic zone and permanent, with clay layers close to the surface, or, shallow soils over impermeable layers and with very low T (0 to 1.3 mm h^{-1}) (Table 1).

In recent years these have become very popular than models such as HEC-HMS and SWAT (USACE, 2000; Neitsch *et al.*, 2001) that included as an alternative the method N_c to calculate direct runoff. In HEC-HMS is very common to use time increment so small (on the order of minutes) in basins and their respective hydrologic parameters, such as N_c , can be analyzed as a distributed model or as an aggregate model (Todini, 1988; Bedient *et al.*, 2012).; while in SWAT, the method is used to calculate runoff sheets in 24 h events and the basin is considered as a distributed model.

Cuadro 1. Valores del número de curva (N_c) para uso forestal del suelo (McCuen, 2005).
Table 1. Curve number (N_c) values for forest land use (McCuen, 2005).

Descripción del uso del suelo	Condición hidrológica	N_c para los grupos de suelo hidrológico			
		A	B	C	D
Tierras forestales, césped o huertos siempre verdes o deciduos.	Pobre	55	73	82	86
	Media	44	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Matorral	Pobre	48	67	77	83
	Media	35	56	70	77
	Buena	30	48	65	73
Bosque o selva	Pobre	45	66	77	83
	Media	36	60	73	79
	Buena	25	55	70	77
Zonas agrícolas	–	59	74	82	86
Áreas de bosques herbáceos	Pobre		80	87	93
	Media		71	81	89
	Buena		62	74	85
Bosques de <i>Quercus</i> -álamos	Pobre		66	74	79
	Media		48	57	63
	Buena		30	41	48
Bosques de <i>Juniperus</i>	Pobre		75	85	89
	Media		58	73	80
	Buena		41	61	71
Selva-pastos	Pobre		67	80	85
	Media		51	63	70
	Buena		35	47	55

En los últimos años se han vuelto muy popular que modelos como el HEC-HMS y el SWAT (USACE, 2000; Neitsch *et al.*, 2001) que incluyen como una alternativa el método del N_c para calcular los escurrimientos directos. En el HEC-HMS es muy común usar incremento de tiempo tan pequeños (del orden de minutos) en cuencas y sus respectivos parámetros hidrológicos, como el N_c , se pueden analizar como un modelo distribuido o como un modelo agregado (Todini, 1988; Bedient *et al.*, 2012); en tanto que en el SWAT, el Método se usa para calcular láminas escurridas en eventos de 24 h y la cuenca se considera como un modelo distribuido.

El SIG, constituyen una magnífica herramienta para la aplicación distribuida de los modelos hidrológicos a partir de información digital y los sensores remotos el complemento

GIS, are a great tool for the distributed application of hydrological models from digital information and remote sensing are the ideal complement to provide it; in addition, GIS allow to consider the spatial variation of precipitation, making possible to generate a layer with the specific values for each site of the cell or pixel in the basin. In this context, Rivera *et al.* (2012) instead of using SWAT to calculate sediment with the amended equation for soil loss (EUPSM), applied the algebra map technique (TAM) and facilitated a lot feeding such a complex model.

Similar to the aggregated model in HEC-HMS (USACE, 2000 and USACE, 2010) and moreover, to apply the aggregated method of runoff calculation, obtained the N_c average of all the cells and calculated a S_r value with

ideal para proporcionarla; además, los SIG, permiten considerar la variación espacial de la precipitación, haciendo posible la generación de una capa con los valores específicos para cada sitio de la celda o píxel de la cuenca. En esta perspectiva, Rivera *et al.* (2012) en lugar de usar el SWAT para calcular los sedimentos con la ecuación modificada de pérdida del suelo (EUPSM), aplicaron la técnica de álgebra de mapas (TAM) ya que eso facilitó ampliamente alimentar el modelo tan complejo.

De manera similar que en el modelo agregado en el HEC-HMS (USACE, 2000 y USACE, 2010) y por otra parte, para aplicar el método agregado de cálculo del escurrimiento, obtuvo el promedio de Nc de todas las celdas y calculó un valor de Sr con la expresión 4 y un valor promedio de Le con la 2; en tanto que para aplicar el Método Distribuido, aplicó las mismas expresiones a cada celda primeramente y obtuvo el valor de Le para la cuenca, con la suma ponderada de los valores de cada celda los resultados arrojaron un valor mayor en más del doble cuando se aplicó el método distribuido, lo cual -concluyó- no es habitual, y se le atribuyó a la gran heterogeneidad de la cuenca y de trabajar con rangos de precipitación que apenas producen escurrimiento en la cuenca.

La finalidad de este análisis es el de precisar una metodología que haga posible, de forma sencilla y aplicable a la determinación del Volumen de Escurrimiento Ve en una cuenca, mediante su aplicación a 53 subcuencas en que se dividió la Cuenca Huixtla de la Costa de Chiapas, México, utilizando los Métodos de cálculo Distribuido y Agregado, descritos por Dal-Ré (2003), empleando la expresiones definidas por el Soil Conservation Service (2 y 4) que involucran los conceptos de número de curva Nc , y el parámetro de retención Sr , y las técnicas de álgebra de mapas, de sistemas de información geográfica y el algoritmo de números de base 10 (NB_{10}) que se propone para asociar las características de las que depende el Nc .

Materiales y métodos

Se planteó definir el valor del escurrimiento dado como lámina Le en la expresión 2 y como volumen (Ve) a partir de la expresión 1, haciendo los cálculos a nivel de una celda en un mapa de formato ráster, generando para ello un mapa para cada uno de los componentes del Sr y Nc ; para el efecto, se genera un sistema de información geográfica, se usa la técnica de álgebra de mapas y se

expression 4 and an average value of Le with expression 2; while implementing the Distributed method, applied the same expressions to each cell first and obtained the value of Le for the basin, with the pondered sum of each cell value and the results showed a higher value more than doubled when applied the distributed method, it is concluded non-habitual, and was attributed to the heterogeneity of the basin and working with precipitation ranges that barely produces runoff in the basin.

The purpose of this analysis is to define a methodology that makes possible a simple and applicable the determination of the runoff volume Ve in a basin, through its application to 53 sub basins in the Basin Huixtla from the Chiapas Coast, Mexico, using the calculation methods of Distributed and Aggregated, described by Dal-Ré (2003), using the expressions defined by the Soil Conservation Service (2 and 4) involving the concepts of curve number Nc and the retention parameter Sr and algebra map technique, geographic information systems and algorithm numbers base 10 (NB_{10}) are proposed to associate the characteristics that depend on Nc .

Materials and methods

Was proposed to define the runoff value given as sheet Le in expression 2 and as volume (Ve) from expression 1, calculated on a cell level in a raster map format, generating for it a map for each Sr and Nc component; for the purpose, a geographical information system is generated, the algebra map technique is used and also applies a math algorithm called numbers base 10. For the final calculation of Nc , Le and Ve , are used distributed and aggregated models, described by (Todini, 1988; Dal-Ré, 2003; Bedient *et al.*, 2012); the basic software for the manipulation of information and the generation of results was Arc MAP 10.0 form ESRI.

The study was conducted for the Upper and Middle from the Huixtla River Basin, located in the Soconusco region of Chiapas, and for the precipitation data from the tropical cyclone Stan occurred in the first week of October 2009; on the north bounds by the Sierra Madre de Chiapas and practically on the border with the of Guatemala, to the east with the Huehuetan River Basin, south to the Pacific Ocean, and west, with Despoblado River Basin; territorial and politically the Huixtla basin is located in the municipalities

aplica un algoritmo matemático propuesto denominado números de base 10. Para el cálculo final del N_c , del L_e y del V_e , se emplean los modelos distribuido y agregado, descritos por (Todini, 1988; Dal-Ré, 2003; Bedient *et al.*, 2012) y; el software fundamental para la manipulación de la información y la generación de los resultados fue el Arc MAP 10.0 de ESRI.

El estudio se realizó para la Cuenca Alta y Media del Río Huixtla, localizada en la región del Soconusco del estado de Chiapas, y para los datos de precipitación del ciclón tropical Stán ocurrido en la primera semana de octubre de 2009; limita al norte con la Sierra Madre de Chiapas y prácticamente en la frontera con la República de Guatemala, al oriente con la cuenca del Río Huehuetán, al sur con el Océano Pacífico, y al poniente, con la cuenca del Río Despoblado; territorial y políticamente la cuenca Huixtla se ubica en los municipios de Huixtla, Tuzantán y Motozintla; y su definición en la parte baja se hizo en el punto de cruce del Río Huixtla con la Carretera Costera.

Inmediatamente aguas arriba de la Ciudad de Huixtla, como se muestra en la Figura 1; la superficie de la cuenca A_c es de 35 527.4 ha, la longitud L_{cp} y la pendiente Sc_p de su cauce principal son 3 910.9 m y 40.7%, respectivamente; en tanto que la elevación media de la cuenca $Elev_m$ es de 1 100 msnm y su pendiente media Sc de 41%, (CONAGUA/UACH, 2006). El análisis se realizó para cada una de las 53 subcuencas definidas por CONAGUA/UACH (2006) y sus valores se integran para calcular los correspondientes de L_e y V_e para toda la cuenca.

Se desarrolla y propone el algoritmo de números de base 10 (denotado como variable por NB_{10}), para la denominación y valoración cuantitativa de los diversos componentes o parámetros hidrológicos para su cálculo. Se trata de emplear la condición decimal o de base 10 utilizada en la numeración arábiga, designando los números de un solo dígito (1 a 9) para una característica que no sea superior a 9; la de los múltiplos de 10 (10, 20, ..., 90) para otra característica cuyos componentes tampoco sea mayor de 9; los múltiplos de 100 (100, 200, ..., 900) para la siguiente característica con la misma condición; y para la característica con mayores componentes (hasta 99), se emplean los múltiplos de 1 000 (1 000, 2 000, 3 000, ..., 99 000).

Definido cada valor de base 10 asignado a cada componente de los elementos o características consideradas en el análisis, se suman en la línea deseada para obtener un sólo número

of Huixtla, Tuzantán and Motozintla; and its definition in the bottom part was made at the crossing point of the Huixtla River with the Coast Highway.

Immediately upstream Huixtla City, as shown in Figure 1; the surface of the basin A_c is 35 527.4 ha, the length L_{cp} and slope Sc_p of its main channel is 3 910.9 m and 40.7%, respectively; while the average elevation of the basin $Elev_m$ is 1 100 m and the average slope Sc of 41% (CONAGUA-UACH, 2006). The analysis was made for each of the 53 sub basins defined by CONAGUA-UACH (2006) and its values are integrated to calculate the corresponding L_e and V_e for the entire basin.

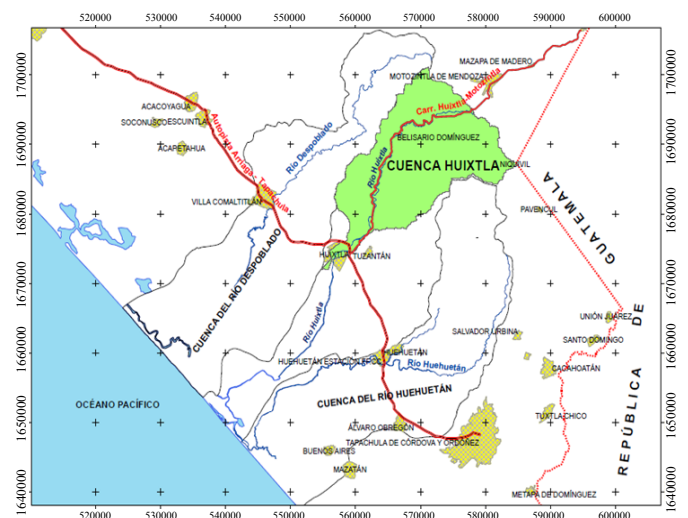


Figura 1. Localización de la Cuenca del Río Huixtla en el estado mexicano de Chiapas.

Figure 1. Localization of the Huixtla River Basin in the Mexican state of Chiapas.

Develops and proposes the algorithm number base 10 (denoted as variable by NB_{10}), for the denomination and quantitative assessment of the different components or hydrological parameters for calculation. We are trying to use the decimal condition or base 10 used in Arabic numerals, designating numbers of a single digit (1 to 9) for a characteristic that is not greater than 9; the multiples of 10 (10, 20, ..., 90) for another characteristic whose components are not greater than 9; multiples of 100 (100, 200, ..., 900) for the following characteristic with the same condition; and for the characteristic with higher components (up to 99), the multiples of 1000 (1 000, 2 000, 3 000, ..., 99 000) are used.

Defined each base 10 value assigned to each component of the elements or considered characteristics in the analysis, are added in the required line to obtain a single number

para cada combinación de ellos, asociando el resultado a la característica resultante que le corresponde según se define previamente.

Se complementó la definición y descripción de los componentes del elemento de condición hidrológica del suelo para pradera y bosques, que en general es buena, regular y pobre, para todas y cada uno de los usos del suelo, definidos en el Cuadro 1, siguiendo el mismo criterio empleado por (McCuen, 2005; Campos, 2011b; Arellano, 2012; Rivera *et al.*, 2012), y se les asignaron los números de base 10, múltiplos de 100 y con esta codificación se elaboró el plano codificado de condición hidrológica de la Cuenca Huixtla. Asimismo se conformó la capa de grupo hidrológico al considerar la definición al respecto de Campos (2011b), asignándole los NB_{10} múltiplos de 10 y con la codificación así definida se generó el plano codificado para el grupo hidrológico de la Cuenca Huixtla. En la Figura 2, se muestran los tres planos codificados referidos. En la Figura 3 se esquematiza a técnica del álgebra de mapas.

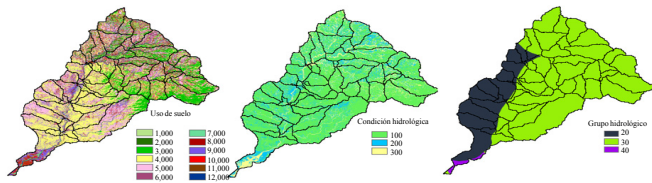


Figura 2. Mapas codificados para uso del suelo, condición hidrológica y grupo hidrológico.

Figure 2. Encoded maps for land use, hydrologic condition and hydrological group.

Empleando la TAM se aplicó la expresión 4 entre los píxeles correspondientes de las capas uso del suelo, condición hidrológica y grupo hidrológico 4 obteniendo el Sr para cada uno y generando la capa denominada parámetro de retención; aplicando análogamente la expresión 3, se obtuvo la capa denominada número de curva que contiene los Nc_2 obtenidos del Cuadro 2.

En el Cuadro 3, se elaboró un plano de isoyetas, y en el SIG, una capa denominada precipitación codificada para aplicarse a cada píxel de los planos de la cuenca y a cada subcuenca. En este cuadro, también se presenta la magnitud de la precipitación considerada como humedad antecedente (HA), ocurrida en los cinco días previos al Stán (26 a 30 de septiembre de 2009), y que se consideró para corregir el Nc_2 y obtener la Nc_3 aplicando la expresión 5, según (Neitsch *et al.*, 2001).

$$Nc_3 = Nc_2 \times e^{0.00673(100 Nc_2)} \quad (5)$$

for each combination of them, associating the result to the resulting characteristic that corresponds as defined previously.

The definition and description of the components from the element of hydrological soil condition for meadow and forest was complemented, which is generally good, fair and poor, for all and every one of the land uses defined in Table 1, following the same criterion used by (McCuen, 2005; Campos, 2011b; Arellano, 2012; Rivera *et al.*, 2012), and assigned numbers base 10, multiples of 100 and with this coding was developed the encoded plane of the hydrologic condition of Huixtla Basin. Also was formed the layer of the hydrologic group considering the definition of Campos (2011b), assigning NB_{10} multiples of 10 and with this encoding was elaborated the encoded plane for the hydrologic group of the Huixtla Basin. Figure 2 shows the three encoded planes. Figure 3 outlines the algebra map technique.

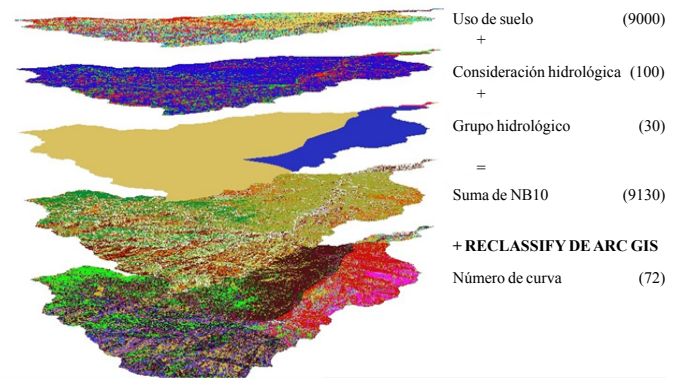


Figura 3. Esquemización de la aplicación de la TAM para generar la capa número de curva.

Figure 3. Outlining the application of TAM to generate the layer curve number.

Using TAM, expression 4 between the corresponding pixels of the layers of land use, hydrologic condition and hydrological Group was applied, obtaining Sr for each layer and generating the layer called parameter of retention; analogously using expression 3, was obtained the layer denominated curve number containing Nc_2 obtained from Table 2.

In Table 3, was developed an isohyetal plane and on GIS, a layer called coded precipitation to apply to each pixel of the planes from the basin and each sub basin. In this table, the amount of precipitation considered as antecedent moisture (HA), occurred in the five days previous to Stan (September 26 to 30, 2009), and considered to correct Nc_2 and obtain Nc_3 , applying expression 5 (Neitsch *et al.*, 2001).

Cuadro 2. Definición de los NB_{10} y sus correspondientes Nc considerando uso del suelo, la condición hidrológica y el grupo hidrológico.**Table 2. Defining NB_{10} and its corresponding Nc considering land use, hydrologic condition and hydrological group.**

Uso del suelo		Condición hidrológica		Grupo hidrológico							
				A: $NB_{10}=10$		B: $NB_{10}=20$		C: $NB_{10}=30$		D: $NB_{10}=40$	
Clave	NB_{10}	Denominación	NB_{10}	NB_{10F}	Nc	NB_{10F}	Nc	NB_{10F}	Nc	NB_{10F}	Nc
BP	1000	Bueno	100	1110	30	1120	41	1130	61	1140	71
		Regular	200	1210	36	1220	58	1230	73	1240	80
		Pobre	300	1310	56	1320	75	1330	85	1340	89
BPQ	2000	Bueno	100	2110	30	2120	41	2130	61	2140	71
		Regular	200	2210	36	2220	58	2230	73	2240	80
		Pobre	300	2310	45	2320	75	2330	85	2340	89
BQP	3000	Bueno	100	3110	25	3120	30	3130	41	3140	48
		Regular	200	3210	36	3220	48	3230	57	3240	63
		Pobre	300	3310	45	3320	66	3330	74	3340	79
SMSC/VS	4000	Bueno	100	4110	32	4120	58	4130	72	4140	79
		Regular	200	4210	43	4220	65	4230	76	4240	82
		Pobre	300	4310	57	4320	73	4330	82	4340	86
SMSC/CP	5000	Bueno	100	5110	32	5120	58	5130	72	5140	79
		Regular	200	5210	43	5220	65	5230	76	5240	82
		Pobre	300	5310	57	5320	73	5330	82	5340	86
SBC/VS	6000	Bueno	100	6110	30	6120	48	6130	65	6140	73
		Regular	200	6210	36	6220	60	6230	73	6240	79
		Pobre	300	6310	45	6320	66	6330	77	6340	83
PAST-RAS	7000	Buenos	100	7110	39	7120	61	7130	74	7140	80
		Regulares	200	7210	49	7220	69	7230	79	7240	84
		Pobres	300	7310	68	7320	79	7330	86	7340	89
S-DESN	8000	Pobre	300	8310	77	8320	86	8330	91	8340	94
UA-SDESC	9000	Buenos	100	9110	39	9120	61	9130	74	9140	80
		Regulares	200	9210	49	9220	69	9230	79	9240	84
		Pobres	300	9310	68	9320	79	9330	86	9340	89
UA-CP	10000	Buenos	100	10110	32	10120	58	10130	72	10140	79
		Regulares	200	10210	43	10220	65	10230	76	10240	82
		Pobres	300	10310	57	10320	73	10330	82	10340	86
AUyPOB	11000	Bueno	100	11110	39	11120	61	11130	74	11140	80
		Regular	200	11210	49	11220	69	11230	79	11240	84
		Pobre	300	11310	68	11320	79	11330	86	11340	89
VC	12000	Terracería	200	12210	72	12220	82	12230	87	12240	89
		Pavimento	300	12310	83	12320	89	12330	92	12340	93
C_AGUA	13000	Buena	100	13110	92	13120	92	13130	92	13140	92

Cuadro 3. Números de base 10 (NB_{10}), y volúmenes de escurrimiento (Ve), para las subcuencas de la Cuenca Huixtla, calculados por los modelos distribuido y agregado.**Table 3. Numbers base 10 (NB_{10}), and runoff volumes (Ve), for sub-basins of the Huixtla Basin calculated by the aggregated and distributed models.**

Núm.	Denominación de la Subcuenca Nombre	Prom. para las subcuencas			Mod. distribuido			Mod. agregado			Δvec (%)	
		<i>Asc</i> (ha)	NB_{10US} (adim)	NB_{10CH} (adim)	NB_{10GH} (adim)	NC_2 (adim)	NC_3 (adim)	Vec (1 000 m ³)	NC_2 (adim)	NC_3 (adim)		Vec (1 000 m ³)
1	El Retiro	1 047.08	5 000	200	30	72	86	8 511.61	73	88	8 659.32	-1.74
2	Loma Bonita	470.78	5 000	200	30	72	86	3 541.77	73	88	3 621.61	-2.25
3	Chevolcán	845.96	5 000	200	30	72	86	5 810.89	73	88	5 941.05	-2.24
4	Río Agua Fría	946.03	6 000	200	30	73	87	5 794.06	79	91	5 993.19	-3.44
5	Tolimán Uno	263.94	6 000	200	30	73	87	1 982.16	79	91	2 054.55	-3.65
6	Río Ojo de Agua	1 192.9	5 000	100	30	65	80	7 389.55	65	82	7 529.02	-1.89
7	Concep. Villaflores	930.48	5 000	200	30	70	85	7 603.74	73	88	7 749.02	-1.91
8	Ampl. Villahermosa	596.23	5 000	200	30	68	83	4 649.31	73	88	4 885.26	-5.07
9	El Pozolero	760.09	6 000	200	30	70	85	6 645.92	79	91	6 877.42	-3.48
10	Doce de Diciembre	665.2	5 000	100	30	70	84	5 762.99	65	82	5 741.76	0.37
11	Río Toquián	548.07	6 000	200	20	67	82	4 891	69	85	4 975.65	-1.73
12	Cueva Faldeada	184.33	5 000	100	30	72	87	1 670.09	65	82	1 654.79	0.92
13	Arroyo la Juchita	406.36	5 000	100	20	60	78	3 653.08	48	68	3 503.21	4.1
14	Blanema	33.68	6 000	200	20	70	85	312.05	69	85	311.3	0.24
15	Nueva Reforma	652.87	5 000	200	30	70	85	4 817.47	73	88	4 928.94	-2.31
16	Río Agua Zarca	1 139.65	5 000	200	30	70	84	8 805.33	73	88	9 042.32	-2.69
17	Villa Hermosa	55.84	6 000	200	30	75	89	472.01	79	91	478.08	-1.29
18	Nva. Independencia	608.82	5 000	100	30	63	79	5 017.84	65	82	5 171.55	-3.06
19	Río Ecumú	440.13	5 000	200	30	69	84	2 585.49	73	88	2 684.87	-3.84
20	Justo Sierra	1 043.24	5 000	100	30	64	80	6 642.35	65	82	6 840.38	-2.98
21	Santa Clara	305.66	6 000	200	30	72	86	2 076.76	79	91	2 144.19	-3.25
22	La Libertad	221.41	6 000	200	30	71	84	1 550.61	79	91	1 625.68	-4.84
23	San Lucas	1 310.12	5 000	100	30	61	77	9 499.27	65	82	9 915.87	-4.39
24	Río Checulé	1 337.11	5 000	100	30	58	75	9 733.3	65	82	10 287.94	-5.7
25	Libertad Calera	476.32	4 000	100	30	61	77	3 705.04	72	87	3 972.18	-7.21
26	Llano Grande	496.96	5 000	100	30	62	78	3 750.84	65	82	3 868.14	-3.13
27	El Consuelo	676.91	5 000	100	20	63	78	6 311.86	48	68	5 936.75	5.94
28	Peña Flor	541.99	5 000	100	30	69	84	4 959.54	65	82	4 936.51	0.46
29	Santa Lucía Etzumú	615.79	6 000	200	30	71	85	4 377.74	79	91	4 539.28	-3.69
30	Lindavista	751.78	5 000	100	30	64	79	5 576.98	65	82	5 740.21	-2.93
31	La Antigua	45.39	5 000	100	30	73	87	440.58	65	82	428.23	2.8
32	Bélgica	563.35	5 000	100	30	68	84	5 185.11	65	82	5 195.26	-0.2
33	Nueva Victoria	405.29	6 000	200	20	61	78	3 834.39	69	85	3 982.5	-3.86
34	El Paraiso	77.73	6 000	200	20	68	83	750.63	69	85	752.71	-0.28
35	Solo Dios	15.64	7 000	300	20	66	82	154.8	86	95	158.74	-2.55
36	La Florida	419.94	5 000	100	30	66	82	3 834.48	65	82	3 890.35	-1.46
37	España	630.54	6 000	100	20	58	76	5 877.05	61	79	5 981.43	-1.78
38	Santa Tersa de Jesús	550.48	5 000	100	20	58	74	5 030.5	48	68	4 820.35	4.18
39	Nuevo Paraiso	119.64	6 000	100	20	62	79	1 164.77	61	79	1 157.94	0.59
40	El Vergel	750.17	6 000	200	20	63	80	7 190.77	69	85	7 404.64	-2.97
41	El Parral	8.4	7 000	300	20	68	83	83.84	86	95	87.07	-3.86
42	La Verbena	210.68	5 000	100	30	72	87	2 099.4	65	82	2 053.46	2.19
43	Santa Elena	1 086.93	5 000	100	30	69	84	10 264.9	65	82	10 216.46	0.47
44	San Lucas Manacal	442.19	5 000	100	30	72	87	4 504.32	65	82	4 427.84	1.7
45	Río Pedregoso	1 056.11	5 000	100	20	57	75	9 524.13	48	68	9 163.64	3.79

Cuadro 3. Números de base 10 (NB_{10}), y volúmenes de escurrimiento (Ve), para las subcuencas de la Cuenca Huixtla, calculados por los modelos distribuido y agregado (Continuación).**Table 3. Numbers base 10 (NB_{10}), and runoff volumes (Ve), for sub-basins of the Huixtla Basin calculated by the aggregated and distributed models (Continuation).**

Denominación de la Subcuenca		Prom. para las Subcuencas				Mod. distribuido			Mod. agregado			Δvec
Núm.	Nombre	Asc (ha)	NB_{10US} (adim)	NB_{10CH} (adim)	NB_{10GH} (adim)	NC_2 (adim)	NC_3 (adim)	Vec (1 000 m ³)	NC_2 (adim)	NC_3 (adim)	Vec (1 000 m ³)	
46	Chapingo	1 172.44	5 000	100	20	66	82	11 511.23	48	68	10 789.41	6.27
47	Río Cangrejero	973.99	5 000	100	20	58	77	8 689.52	48	68	8 352.18	3.88
48	Vado Ancho	299.14	6 000	100	30	72	86	3 098.33	74	88	3 120.47	-0.71
49	31 de Diciembre	979.62	5 000	100	30	72	87	10 298.26	65	82	10 152.36	1.42
50	Río Negro	3 597.73	5 000	100	30	68	83	35 325.1	65	82	35 339.15	-0.04
51	La Lucha	178.16	5 000	100	20	60	78	1 679.63	48	68	1 628.31	3.06
52	Nueva Tenochtitlan	265.19	5 000	100	30	73	88	2 824.26	65	82	2 774.85	1.75
53	Huixtla	2 112.92	7 000	300	20	70	85	19 762.37	86	94	20 628.13	-4.38
	Suma	35 527.4						301 229.03			304 115.52	
	Promedio	670.3	5 000	100	30	67	82	5 683.57	68	83	5 738.03	-1.07

Resultados y discusión

El la Figura 4, se muestra el mapa de la magnitud de la lámina escurrida Le calculada con la expresión 2 para cada píxel del SIG por el modelo distribuido y en el Cuadro 3 se muestran los valores de área de las subcuencas (Asc), y los de los número de base 10, con los que se determinaron los números de curva a partir del Cuadro 3 (NC_2) y su corrección por humedad antecedente (NC_3), así como los resultados de volumen escurrido para las subcuencas (Vec) de la cuenca del Río Huixtla, tanto por el modelo distribuido como por el modelo agregado. Se observa que las diferencias de los volúmenes escurridos calculados por ambos métodos son mínimas, siendo en promedio de 1.07%.

Obtenido como la suma de los resultados de las subcuencas para ambos modelos, se obtuvo que el volumen de escurrimiento (Ve) en la Cuenca Huixtla, correspondiente a la precipitación del Ciclón Tropical Stán ocurrido del 01 a 06 de octubre de 2009, calculado por el modelo distribuido, es de 301 229 025.17 m³ (que equivale a una Le de 0.847 m) y por el método agregado de 304 115 519.13 m³ (correspondiente a 0.856 m), lo que implica una diferencia de 0.965% y significa que ambos modelos proporcionan prácticamente los mismos resultados, pudiendo emplearse uno u otro indistintamente.

$$NC_3 = NC_2 \times e^{0.00673(100 - NC_2)} \quad (5)$$

Results and discussion

Figure 4, shows the map of the magnitude of the runoff sheet Le calculated with expression 2 for each pixel of GIS by the distributed model and in Table 5 are shown the values of the sub basins area (Asc) and the number base 10, with which were determined the curve numbers from Table 3 (NC_2) and its correction by antecedent moisture (NC_3), thus the results of runoff volume for the sub basins (Vec) of the Huixtla River Basin, both by the distributed and the aggregate model. It is noted that differences in the runoff volumes calculated by both methods are minimum, being on average 1.07%.

Obtained as the sum of the results of the sub-basins for both models, was obtained that the runoff volume (Ve) in the Huixtla Basin, corresponding to precipitation of the Tropical Cyclone Stan occurred from October 01 to 06, 2009, calculated by the distributed model 301 229 025.17 m³ (equivalent to a Le of 0.856 m) and by the aggregated method 304 115 519.13 m³ (corresponding to 0.856 m), which means a difference of 0.965% and means that both models provide practically the same results, and may either be used interchangeably.

Conclusiones y recomendaciones

De éstos resultados se demuestra que, los modelos distribuido y agregado para estimar la magnitud del escurrimiento derivado de la precipitación de la Tormenta Tropical Stán, para las subcuencas de la Cuenca Huixtla, empleando el concepto de número de curva, las técnicas de SIG, Álgebra de Mapas y el algoritmo propuesto de números de base 10, dieron resultados muy similares, tanto para las subcuencas con una diferencia de 1.07%, como para toda la Cuenca, con una diferencia de 0.97% lo cual contrasta ampliamente con los resultados obtenidos por Dal-Ré (2003) que obtuvo diferencias de más de 100% entre el modelo distribuido y el agregado aplicados a una cuenca de España. De esta forma, se puede afirmar, que cualquiera de los dos métodos puede adoptarse para la estimación del escurrimiento de cuencas costeras en condiciones similares como las de Chiapas, México.

Literatura citada

- 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.
- Bedient, P. B.; Huber, W. C.; Vieux, B. E. 2012. Hydrology and floodplain analysis. 5th. (Ed.). Prentice-Hall. 816 p.
- Campos, A. D. F. 2011a. Identificación del número N mediante el método del HUT, en siete cuencas del alto río Grijalva, México. Ingeniería, Investigación y Tecnología. 20(3):269-276. México.
- Campos, A. D. F. 2011b. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Primera Edición. Primera edición. San Luis Potosí, S L P. México. 333 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)-Universidad Nacional Autónoma de Chapingo (UACH). 2006. Evaluación de los efectos del cambio de cobertura y de uso del suelo en la erosión hídrica y las relaciones precipitación-escurrimiento en las cuencas de los Ríos Huixtla, Huehuetán y Coatán, del estado de Chiapas. Informe final. Ed. Universidad Autónoma Capingo. Chapingo, Estado de México, México. 225 p.
- Dal-Ré Tenreiro, R. 2003. Pequeños embalses de uso agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 385 p.
- Juárez, M. J.; Ibáñez, C. L. A.; Pérez, N. S.; Arellano, M. J. L. 2009. Uso del suelo y su efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del Río Huehuetán. Ingeniería Agrícola y Biosistemas. 1(2): 60-76.
- McCuen, R. H. 2005. Hydrologic analysis and design. Ed. Prentice-Hall. 859 p.
- Miranda, A. 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. Agrociencia 43(4):333-344.

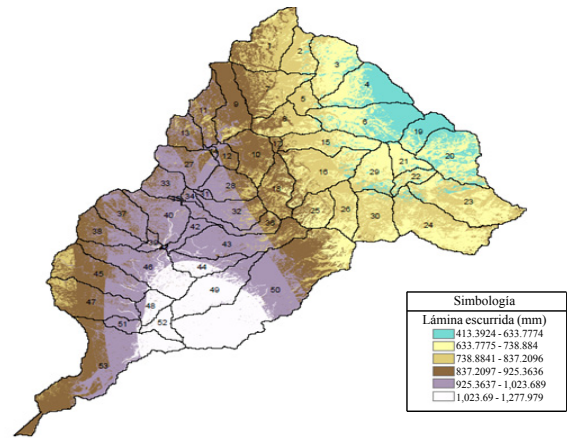


Figura 4. Plano de Le calculado por el modelo distribuido para las Subcuencas de la Cuenca Huixtla.

Figure 4. Plane of Le calculated by the distributed model for the sub basins of the Huixtla Basin.

Conclusions and recommendations

From these results it is shown that the distributed and aggregated models to estimate the magnitude of runoff derived from precipitation of the Tropical Storm Stan, for the sub basins of the Huixtla Basin, using the concept of curve number, GIS techniques, algebra map and the proposed algorithm of numbers base 10, gave very similar results for sub-basins with a difference of 1.07%, and for the entire basin, with a difference of 0.97%, which contrasts widely with the results obtained by Dal Ré (2003) who obtained differences of more than 100% between distributed and aggregate model applied to a basin of Spain. Thus, it can be assumed that any of the two methods can be adopted to estimate the runoff of coastal basins in similar conditions as those of Chiapas, Mexico.

End of the English version



- 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.
- 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>.
- Neitsch, S. L.; Arnold, J. G.; Kiniry, J. R. and Williams, J. R. 2001. Soil and water assessment tool user's manual; versión 2000. Grassland, soil and water research laboratory of agricultural research service and blackland research Center at Texas Agricultural Experiment Station. Temple, Texas. USA. 506 p.

- Pérez-Nieto, S.; Ibáñez-Castillo L. A.; Hernández, S. F. R. y Arellano, M. J. L. 2007. Tasa de erosión en la Costa de Chiapas estimada por álgebra de mapas. Ponencia presentada en el XIV Congreso Nacional de Irrigación. ANEI, A. C. Morelia, Michoacán.
- Pérez, N. S.; Arellano, M. J. L.; Ibáñez, C. L. A. y Hernández, S. F. R. 2012. Estimación de la erosión hídrica provocada por el huracán Stan en las cuencas costeras de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*. 30(2):103-110.
- Pérez, N. S. 2013. Erosión hídrica en cuencas costeras de Chiapas y estrategias para su restauración hidrológico-ambiental. Tesis Doctoral. Programa de Hidrociencias del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 260 p.
- Ponce, V. M. and Hawkins, R. H. 1996. Runoff curve number: has it reached maturity? *J. Hydrol. Engin.* 1(1):11-19.
- Rivera, T. F.; Pérez-Nieto, S.; Ibáñez, C. L. A. y Hernández, S. F. R. 2012. Aplicabilidad del Modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia*. 46(2):101-105.
- Terzoudi, Chr. B.; Gemtos, T. A.; Danalatos, N. G. and Argyrokastritis, I. 2007. Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. *Soil and Tillage Res.* 198-212 pp.
- Todini, E. 1988. Rainfall-Runoff Modeling- past, present and future. *J. Hydrol.* 100:341-352.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic modeling system. HEC-HMS. Technical reference manual. Washington, D. C.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2010. Hydrologic modeling system. HEC-GeoHMS, Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User's Manual, Version 5.0. Washington, D. C.