

MITOS Y FALACIAS DEL MÉTODO HIDROLÓGICO DEL NÚMERO DE CURVA DEL SCS/NRCS

MYTHS AND FALLACIES ABOUT THE CURVE NUMBER HYDROLOGICAL METHOD OF THE SCS/NRCS

Fernando Paz-Pellat*

Campus Córdoba y Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco.
56230. Montecillo, Estado de México (pellat@colpos.mx)

RESUMEN

La modelación de la relación precipitación-escorrentía directa es un requerimiento básico en la gestión de cuencas hidrográficas, particularmente bajo condiciones de información escasa. Un modelo simple de esta relación es muy atractivo para las aplicaciones hidrológicas. En este trabajo se analizan las hipótesis intrínsecas en el método simple del número de curva (*NC*) del Soil Conservation Service / Natural Resources Conservation Service del USDA. La formulación básica entre la precipitación y el escurrimiento directo del método del *NC* es revisada en cuanto a sus implicaciones, concluyéndose que no tiene bases hidrológicas.

Palabras clave: Hipótesis intrínsecas, método del número de curva, relación precipitación-escorrentía

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de una relación simple entre la precipitación (*P*) y el escurrimiento (*Q*) directo ha sido una de las tareas básicas de los modeladores de los procesos hidrológicos en cuencas o en parcelas experimentales. Este trabajo es particularmente crítico cuando la información de precipitación disponible en la mayoría de las cuencas hidrográficas sólo existe a nivel diario. Así, el SCS (Soil Conservation Service del U. S. Department of Agriculture; actualmente llamado NRCS o Natural Resources Conservation Service) planteó en la década de los cuarenta (Mockus, 1949) una aproximación práctica a la relación entre la precipitación y el escurrimiento directo. De estos desarrollos emergió el denominado método del número de curva (*NC*) del SCS (1972), que actualmente es usado por el NRCS (2004) y muchas otras instituciones nacionales e internacionales. Las bases históricas del método del *NC* se pueden revisar en la página del NRCS (2007)^[1].

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Abril, 2008. Aprobado: Abril, 2009.

Publicado como NOTA en Agrobiencia 43: 521-528. 2009.

ABSTRACT

The modeling of the rainfall-direct runoff relationship is a basic requirement in the dynamics of watersheds, especially when information is scarce. A simple model of this relationship is very attractive in hydrological applications. In this paper an analysis is made of the hypotheses intrinsic to the simple method of the curve number (*NC*) of the USDA Soil Conservation Service / Natural Resources Conservation Service. The basic formulation of the rainfall-direct runoff relationship of the *NC* method is revised with a focus on its implications, coming to the conclusion that it has no hydrological support.

Key words: Intrinsic hypotheses, curve number method, rainfall-runoff relationship.

INTRODUCTION

The search of a simple relationship between rainfall (*P*) and direct runoff (*Q*) has been one of the basic tasks of those modeling hydrological processes in watersheds or experimental plots. This approach is particularly critical when precipitation information available in most watersheds is only on a daily basis. Thus, the SCS (Soil Conservation Service of the U. S. Department of Agriculture; currently called NRCS or Natural Resources Conservation Service) put forward in the 40s (Mockus, 1949) a practical approximation to the relationship between rainfall and direct runoff. From these developments the curve number method (*NC*) of SCS (1972) emerged, that is currently used by NRCS (2004) and many other national and international institutions. The historical foundations of the *NC* method are described on the NRCS (2007)^[1].

The *NC* model establishes an empirical relationship between direct runoff *Q* (mm) and rainfall *P* (mm), at a daily scale, like:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}, \quad P \geq I_a$$
$$Q = 0, \quad \text{otherwise}$$
(1)

¹ http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H&H/tech_refs/CNarchive.html, consultada el 8 de diciembre de 2007.

El modelo del *NC* establece una relación empírica entre el escurrimiento directo Q (mm) y la precipitación P (mm), a escala diaria, como:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}, \quad P \geq Ia$$

$$Q = 0, \text{ de otra forma} \quad (1)$$

donde, Ia (mm) es la abstracción inicial antes del escurrimiento (almacenamientos superficiales, intercepción por la vegetación, evapotranspiración, infiltración antes de la saturación del suelo y otros factores) y S (mm) es un parámetro de retención, el cual varía espacialmente por cambios en el tipo y uso del suelo, manejo y pendiente; así como por cambios temporales en la humedad del suelo.

El parámetro Ia generalmente se expresa en función de S :

$$Ia = kS \quad (2)$$

donde, el valor de k es puesto generalmente como 0.2 (SCS, 1972; NRCS, 2004) y S es estimado como:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right) \quad (3)$$

donde, NC (0 a 100), adimensional, es función de la humedad antecedente del suelo, la pendiente del terreno, el uso del suelo y sus prácticas de manejo, principalmente.

La Ecuación 1 permite establecer una relación funcional entre P y Q que se utilizan en forma práctica, ya que depende sólo de NC que se puede estimar a partir de información disponible (mapas temáticos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, por ejemplo), aunque no actualizada, en las cuencas hidrográficas; con excepción del uso de la tecnología de los sensores remotos. Esta ecuación da una falsa apariencia de funcionalidad, particularmente cuando se tiene el soporte institucional del SCS/NRCS. En el apartado siguiente se revisan sus hipótesis intrínsecas, esto bajo una argumentación estrictamente matemática, para evitar caer en discusiones estériles relacionadas con los ajustes de datos experimentales a una ecuación matemática. La línea de discusión es muy simple y pragmática, si la ecuación usada para realizar ajustes experimentales no tiene sustento hidrológico, entonces no tiene sentido seguir usándola y hay que buscar otra ecuación que sí lo tenga.

where, Ia (mm) is the initial abstraction before runoff (surface storages, interception by vegetation, evapotranspiration, infiltration before soil saturation and other factors) and S (mm) is a retention parameter which varies spatially due to changes in the type of soil and soil use, management and slope; and to seasonal changes in soil moisture.

The Ia parameter is generally expressed according to S :

$$Ia = kS \quad (2)$$

where, the value of k is generally set at 0.2 (SCS, 1972; NRCS, 2004) and S is estimated as:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right) \quad (3)$$

where, NC (0 to 100) is dimensionless, depends mostly on the soil previous moisture, the land slope, soil use and management practices.

Equation 1 allows to establish a functional relationship between P and Q which is used in practice as it depends only on NC that can be estimated upon the basis of available information (thematic maps of the National Statistics, Geography and Informatics Institute, INEGI, for example), though not updated in the watersheds, with the exception of the use of the remote sensing technology. This equation gives a false appearance of being functional, especially when having the institutional support of SCS/NRCS. In the following section its intrinsic hypotheses are examined under a strict mathematical argumentation to prevent futile discussion related to the adjustments of experimental data to a mathematical equation. The line of discussion is very simple and pragmatic. If the equation used to carry out the experimental adjustments has no hydrological support it is pointless to continue using it, so it is necessary to find another one having it.

INTRINSIC HYPOTHESES OF THE CURVE NUMBER METHOD

To clarify the implications of Equation 1, Figure 1 presents two scenarios for the P - Q relationship.

The basic hypothesis put forward in the NC method is that insofar as the amount of rainfall increases, the soil will rapidly get saturated and will then run off ($Q = P$); this is represented by the dotted line that goes through the origin in Figure 1. In this

HIPÓTESIS INTRÍNECAS DEL MÉTODO DEL NÚMERO DE CURVA

Para aclarar las implicaciones de la Ecuación 1, en la Figura 1 se presentan dos escenarios de la relación P - Q .

La hipótesis básica planteada en el método del NC es que a medida que la intensidad de la precipitación es mayor, entonces el suelo se saturará rápidamente y todo lo que se precipita escurrirá ($Q = P$), representado por la línea punteada que pasa por el origen en la Figura 1. En la misma figura se presenta una curva, con línea sólida, que tiene una fase no lineal y después una lineal que intersecta el eje P en S y es paralela a la línea $Q = P$ (pendiente unitaria). Así, sin pérdida de generalidad, se puede suponer que la relación P - Q está compuesta de dos fases: una no-lineal inicial y después una lineal, cuya transición está dada por el punto (P_T , Q_T). La fase lineal se presenta en forma completa, más allá de la transición suavizada, a partir del punto (P_L , Q_L). De la Figura 1, resulta aparentemente claro que el método del NC aproxima el patrón mostrado de alguna forma la relación no lineal (en sus dos fases).

En esencia, el método del NC parte de la idea de que la relación no-lineal deberá tender a una línea que cumpla la condición $Q = P$ cuando P sea grande (saturación del suelo). Esto puede formularse arbitrariamente como:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{P} &= 1 \\ \frac{P-Q}{S} &= \frac{S}{S} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

donde, la segunda relación se obtuvo de la ecuación de la línea recta (fase lineal) mostrada en la Figura 1. El planteamiento de las relaciones (4) se puede generalizar para cualquier pendiente λ , donde $\lambda = 1$ es un caso cualquiera. La argumentación siguiente es válida para cualquier valor de λ , usando $P = \lambda P$.

La obtención de la Ecuación 1, caso de $Ia = 0$, es simplemente producto de igualar las dos relaciones en (4):

$$\frac{Q}{P} = \frac{P-Q}{S} = 1 \quad (5)$$

El caso general dado por $Ia > 0$, implica sólo un desplazamiento sobre el eje P del origen de la Figura 1 al nuevo definido por (Ia , 0). En este caso, la precipitación se interpreta como una precipitación efectiva $Pe = P - Ia$. La relación (1) se obtiene del cambio de P por Pe en la relación (5).

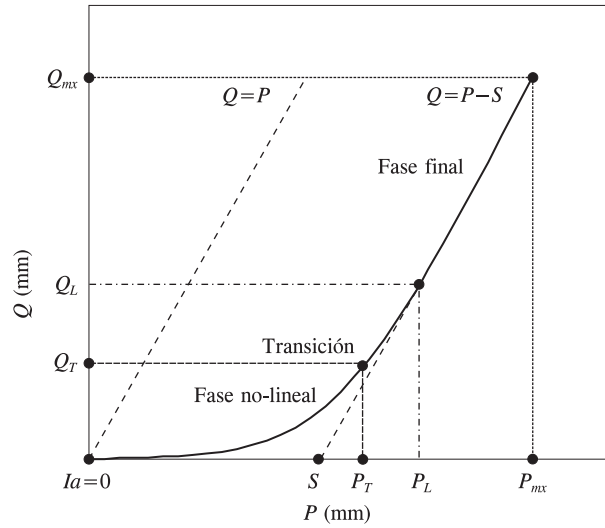


Figura 1. Esquemización de las relaciones entre P y Q , caso de $Ia = 0$.

Figure 1. Schematization of the P and Q relationships, the case of $Ia = 0$.

same figure a curve drawn with a continuous line is presented, which has a non linear phase and then one linear that intersects axis P in S and is parallel to line $Q = P$ (unitary slope). Therefore it is possible to assume that the P - Q relationship is made up of two phases: an initial non linear one and then one linear whose transition is given by the point (P_T , Q_T). The linear phase is presented in full, beyond the gradual transition, as of the point (P_L , Q_L). Figure 1 shows that the NC method approximates to a certain extent the exhibited pattern to the non linear relationship (in its two phases).

In essence, the NC methods starts from the notion that the non linear relationship should tend to a line fulfilling the condition $Q = P$ when P gets large (soil saturation). This can be arbitrarily expressed as follows:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{P} &= 1 \\ \frac{P-Q}{S} &= \frac{S}{S} = 1 \end{aligned} \quad (4)$$

where, the second relationship was obtained from the straight line equation (linear phase) shown in Figure 1. The enunciation about relations (4) can be generalized and applied to any slope λ , where $\lambda = 1$ is just any case. The following argumentation is valid for any value of λ , using $P = \lambda P$.

Obtaining Equation 1, the case of $Ia = 0$, is simply the result of balancing the two relationships in (4):

En el aspecto de las aplicaciones empíricas del método del *NC*, es interesante señalar que su autor principal Mockus, en una entrevista con Victor Ponce^[2] señaló que la relación implicada en el método del *NC*, $(P-Q)/S = Q/P$, fue utilizada después de probar muchas relaciones empíricas y los resultados obtenidos en el ajuste a los datos experimentales fueron satisfactorios. Este argumento puramente empírico es circular, ya que la relación utilizada tiene ambas variables de los dos lados de la ecuación, por lo que se obtienen resultados estadísticos mejores en forma artificial que las relaciones en formato normal.

Implicaciones del método del número de curva

El desarrollo mostrado anteriormente para obtener el método del *NC* implica:

- La relación (1) no busca aproximar el comportamiento no-lineal de $P-Q$ y sólo es consecuencia de la hipótesis de suponer una pendiente unitaria cuando P es grande. De hecho, el método del *NC* no supone nada sobre la fase no lineal de la relación entre P y Q , Figura 1.
- La hipótesis definida por la relación (5) sólo se satisface cuando P tiende a infinito (es decir, nunca, ya que ésta es indeterminada y el límite supuesto sólo es un artefacto matemático) y aproxima algo la relación entre P y Q cuando P es muy grande (Mishra *et al.*, 2005). La forma simple de decir lo mismo es que S y Ia tienden a cero en la Ecuación 1.
- El método del *NC* no permite obtener P_T o P_L , ya que estos puntos no están definidos (P_T y P_L tienden a infinito).

HACIA UNA MEJOR APROXIMACIÓN MATEMÁTICA

El uso de funciones matemáticas para relacionar P con Q es sin duda un problema abierto cuando no se utiliza conocimiento hidrológico. Como primera aproximación, en lo siguiente se presenta un esquema de modelación que puede justificarse en términos teóricos, además de que se obtienen excelentes ajustes empíricos a los datos experimentales (no mostrados).

Tal como se muestra en forma esquemática en la línea continua de la Figura 1, el patrón entre la precipitación y el escurrimiento puede aproximarse como compuesta de dos fases: una exponencial y una lineal.

$$\frac{Q}{P} = \frac{P-Q}{S} = 1 \quad (5)$$

The general case given by $Ia > 0$ implies only a displacement on the axis P from the origin of Figure 1 to the new one defined by $(Ia, 0)$. In this case, rainfall is interpreted as an effective rainfall $Pe = P - Ia$. The relationship (1) is obtained from the change of P for Pe in the relationship (5).

In the empirical applications of the *NC* method it is worth pointing out that its main author Mockus, in an interview with Victor Ponce^[2], said that the relationship implied in the *NC* method, $(P-Q)/S = Q/P$, was utilized after testing many empirical relationships and the results obtained from the adjustment to experimental data were satisfactory. This purely empirical argument is circular since the relationship used has both variables from the two sides of the equation; hence the statistical results obtained in this artificial way are better than the relationships under a normal format.

Implications of the curve number method

The development shown above to obtain the *NC* method entails that:

- The relationship (1) does not seek to approximate the non linear behavior of $P-Q$ and is only a consequence of the hypothesis of assuming a unitary slope when P is large. In fact, the *NC* method does not assume anything about the non linear phase of the relationship between P and Q , Figure 1.
- The hypothesis defined by the relationship (5) is met only when P tends to infinity (that is, never, as it is undetermined and the assumed limit is only a mathematical artifact) and approximates to some extent the relationship between P and Q when P is very large (Mishra *et al.*, 2005). A simple form of saying the same is that S and Ia tend to zero in Equation 1.
- The *NC* method does not allow to obtain P_T or P_L , since these points are not defined (P_T and P_L tend to infinity).

TOWARDS A BETTER MATHEMATICAL APPROXIMATION

The use of mathematical functions to relate P to Q is undoubtedly an unresolved issue when hydrological knowledge is not used. As a first approximation, a

² http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H&G/tech_info/mockus.html. Consultada en Octubre 13 del 2007.

- Crecimiento exponencial:

$$\begin{aligned}\frac{dQ}{dP} &= rQ \\ Q(t) &= Q(0) \exp(rP)\end{aligned}\quad (6)$$

- Crecimiento lineal:

$$\begin{aligned}\frac{dQ}{dP} &= C \\ Q(t) &= C(P - P_b)\end{aligned}\quad (7)$$

donde, r es una tasa relativa de cambio, C es la tasa máxima de cambio y P_b ($= S$ en la Figura 1) es el tiempo cuando $P = 0$ (proyectado) en la fase lineal de la relación P - Q .

La relación (6) muestra que los cambios instantáneos de escurrimiento por cambios instantáneos en la precipitación son función del escurrimiento previo.

La relación (7) muestra una fase posterior a la exponencial de tipo lineal y representa la situación donde se ha alcanzado la tasa de cambio máxima y la relación P - Q mantiene una pendiente constante (que puede ser menor a 1.0). El modelo expo-lineal propuesto tiene como solución el patrón exponencial y el lineal como únicos, por lo que puede reproducir comportamientos exponenciales, lineales y expo-lineales. Eso le da una gran versatilidad en los ajustes a datos experimentales.

Las dos fases planteadas pueden ser analizadas en forma independiente haciéndolas compatibles en los puntos de transición (Figura 2) o se puede generar un modelo con una transición gradual entre ambos tipos de patrones. En el último caso, en el momento de la

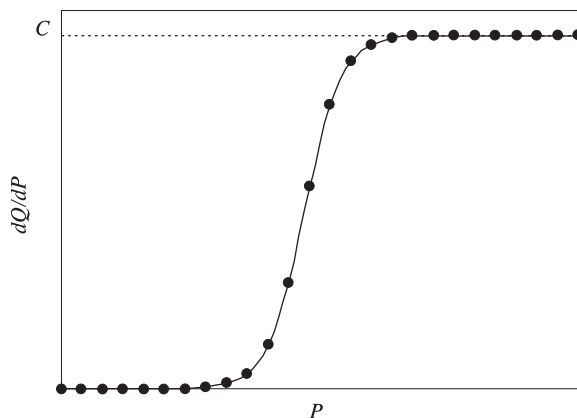


Figura 2. Tasas de cambio del modelo expo-lineal.
Figure 2. Rates of change of the expo-linear model.

modeling scheme is presented below, which can be justified in theoretical terms, in addition to obtaining excellent empirical adjustments of experimental data (not shown).

As shown graphically in the continuous line of Figure 1, the pattern between rainfall and runoff can be approximated as made up of two phases: one exponential and one linear.

- Exponential growth:

$$\begin{aligned}\frac{dQ}{dP} &= rQ \\ Q(t) &= Q(0) \exp(rP)\end{aligned}\quad (6)$$

- Linear growth:

$$\begin{aligned}\frac{dQ}{dP} &= C \\ Q(t) &= C(P - P_b)\end{aligned}\quad (7)$$

where, r is a relative rate of change, C is the maximum rate of change and P_b ($= S$ in Figure 1) is the time when $P = 0$ (projected) in the linear phase of the P - Q relationship.

Relationship (6) shows that the instantaneous changes of runoff due to instant changes in precipitation depend on a previous runoff.

Relationship (7) shows a phase subsequent to the exponential one of linear type and it is here when the maximum rate of change has been reached, and the P - Q relationship keeps a constant slope (that can be less than 1.0). The expo-linear model proposed has the exponential and linear patterns as its sole solution; hence it can reproduce exponential, linear and expo-linear behaviors. This makes it versatile to adjustments to experimental data.

The two phases presented here can be analyzed independently making them compatible at the transition points (Figure 2) or a model can be developed with a gradual transition between both types of patterns. In the last case, at the moment of transition from the exponential pattern to the linear one, the rates of change must be the same:

$$rQ = C \quad (8)$$

The expo-linear model is simply the solution of the two types of patterns represented by the former differential equations subject to the condition given by the relationship of equality of rates of change (adapted from Goudriaan and van Lar, 1994):

transición del patrón exponencial al lineal las tasas de cambio deben ser iguales:

$$rQ = C \quad (8)$$

El modelo expo-lineal es simplemente la solución de los dos tipos de patrones representados por las ecuaciones diferenciales anteriores sujeta a la condición dada por la relación de igualdad de las tasas de cambio (adaptado de Goudriaan y van Lar, 1994):

$$Q(t) = \frac{C}{r} \ln \{1 + \exp[r(P - P_b)]\} \quad (9)$$

Con las siguientes características:

$$\begin{aligned} Q(P = P_T) &= \frac{C}{r} = Q_T \\ P_T &= P_b + \frac{0.541}{r} \end{aligned} \quad (10)$$

donde, P_T es la precipitación donde la condición (8) se cumple. La relación $Q - (dQ/dP)$ es un sigmoideo simétrico para el modelo expo-lineal:

$$\frac{dQ}{dP} = \frac{C \exp[r(P - P_b)]}{1 + \exp[r(P - P_b)]} \quad (11)$$

Una justificación simple del modelo expo-lineal propuesto puede realizarse usando consideración de respuestas hidrológicas fraccionales en una cuenca, en relación a la respuesta máxima ($Q = \lambda P$). Steenhuis *et al.* (1995) plantearon que la hipótesis de la hidrología de área variable, donde la precipitación que cae sobre un suelo no saturado se infiltra incrementando el contenido de humedad del suelo hasta que el perfil del suelo se satura y la precipitación adicional se convierte en escurrimiento (Hewlett y Hibbert, 1967; Dunne y Black, 1970; Boughton, 1987), puede plantearse como:

$$\frac{dQ}{dP} = A_f \quad (12)$$

donde, A_f (C en la ecuación 7) es la fracción de área de la cuenca o parcela experimental que contribuye al escurrimiento (fracción de área saturada de suelo del área total). Esta fracción tiene un comportamiento temporal gradual de saturación, hasta alcanzar su máximo para un evento de precipitación dado e

$$Q(t) = \frac{C}{r} \ln \{1 + \exp[r(P - P_b)]\} \quad (9)$$

With the following characteristics:

$$\begin{aligned} Q(P = P_T) &= \frac{C}{r} = Q_T \\ P_T &= P_b + \frac{0.541}{r} \end{aligned} \quad (10)$$

where, P_T is rainfall where condition (8) is fulfilled. The $Q - (dQ/dP)$ relationship is a symmetric sigmoid for the expo-linear model:

$$\frac{dQ}{dP} = \frac{C \exp[r(P - P_b)]}{1 + \exp[r(P - P_b)]} \quad (11)$$

A simple justification of the expo-linear model proposed can be made considering the use of fractional hydrological responses in a watershed in relation to the maximum response ($Q = \lambda P$). Steenhuis *et al.* (1995) proposed that the hypothesis of variable area hydrology where the precipitation falling on a non saturated soil infiltrates increasing the soil moisture until the soil profile saturates and the additional rainfall turns into runoff (Hewlett and Hibbert, 1967; Dunne and Black, 1970; Boughton, 1987), can be put forward as:

$$\frac{dQ}{dP} = A_f \quad (12)$$

where, A_f (C in equation 7) is the area fraction of the watershed or experimental plot that contributes to runoff (soil saturated area fraction of the total area). This fraction has a temporary gradual behavior of saturation until reaching its maximum level for a given precipitation event, and entails a non linear and linear relationship (compound) like the one displayed with a continuous line on Figure 1.

CONCLUSIONS

From the previous discussion it is possible to conclude that the NC method, relationship (1), is a consequence of the absurd hypothesis of equaling two straight lines ($Q = P$ and $Q = P - S$, Figure 1; where P can be the effective precipitation), that by definition do not converge. This hypothesis is valid only when S tends to zero and P tends to infinity (*reductio ad absurdum*). This is a mathematical limit

implica una relación no-lineal y lineal (compuesta) como la mostrada con línea continua en la Figura 1.

CONCLUSIONES

De la discusión anterior se puede concluir con toda certeza que el método del NC, relación (1), es consecuencia de la hipótesis absurda de igualar dos líneas rectas ($Q = P$ y $Q = P - S$, Figura 1; donde P puede ser la precipitación efectiva), que por definición no convergen entre sí. Esta hipótesis sólo es válida cuando S tiende a cero y P tiende a infinito (*reductio ad absurdum*); esto es un límite matemático que puede interpretarse como que dos líneas rectas nunca serán iguales, a menos que tengan un origen común. Más allá de este intento sin sustento hidrológico, el método del NC no tiene ninguna base teórica o de otro tipo, más allá de su facilidad de aplicación y el argumento de hacerlo operacional a través del uso de la relación entre S y el NC.

La argumentación del uso del método del NC para valores intermedios de P está sesgada por las hipótesis usadas. El caso extremo, base del método, de que $Q = P$ nunca se cumple por la sencilla razón de que dos líneas rectas paralelas con orígenes distintos jamás se juntan. Los otros casos no extremos están definidos en forma arbitraria y pueden o no pueden generar buenos ajustes experimentales.

Después de 35 años de uso del método del NC de forma indiscriminada (validada muy pocas veces; y, cuando esto es así, sólo se comporta bien cuando P es muy grande), es imperativa una formulación hidrológicamente sólida entre P y Q , en un esquema simple similar al formato del NC. El seguir buscando darle solidez al método a través de relaciones empíricas o adecuaciones *ad hoc* (Mishra *et al.*, 2005), parte de hacer viable un absurdo sin bases teóricas.

En el sentido propositivo de esta contribución, se ha planteado un modelo alternativo al método del número de curva que tiene un sustento hidrológico sólido, dentro del contexto de modelos simples y operacionales. El modelo expo-lineal propuesto requiere tres parámetros para su caracterización. En trabajos posteriores, usando un esquema de simplificación similar al desarrollado para el número de curva (tipo de suelo y condición de la cobertura de vegetación), se plantea la reducción de los parámetros del modelo expo-lineal a solo uno, volviéndose atractivo como un sustituto operacional del método del NC.

AGRADECIMIENTO

El autor agradece al Profesor Jorge Etchevers del Colegio de Postgraduados la revisión crítica del borrador inicial de este trabajo.

establishing that two straight lines will never be equal, unless they have a common origin. In addition to this attempt with no hydrological support, the NC method has no theoretical foundation or of any other kind; only that it is easy to apply and can be operational when using the relationship between S and NC.

The argument in favor of using the NC method for P intermediate values is biased by the hypotheses used. The extreme case—the core of the method—that $Q = P$, is not fulfilled for the simple reason that two parallel straight lines of different origin never converge. Other non extreme cases are arbitrarily defined and may or may not generate good experimental results.

After 35 years of indiscriminate use of the NC method (rarely validated; and it has worked only when P is very large), it is imperative to develop a solid formulation in hydrological terms between P and Q , following a simple scheme, similar to the NC format. Trying to demonstrate the soundness of this method through empirical relationships or *ad hoc* adjustments (Mishra *et al.*, 2005) has proven fruitless and lacking in theoretical foundations.

An alternative model to the curve number method with a solid hydrological support has been put forward, in the framework of simple and operational models. The expo-linear model proposed requires three parameters for its characterization. In subsequent papers, using a simplification scheme similar to that used for the curve number (type of soil and condition of the vegetation cover), the proposal made is to reduce the parameters of the expo-linear model to only one, which makes it attractive as an operational replacement of the NC method.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Boughton, W. C. 1987. Evaluating partial areas of watershed runoff. *J. Irrigation and Drainage Eng.* ASCE 113: 356-366.
- Dunne, T., and R. D. Black. 1970. Partial area contributing to storm runoff in a small New England watershed. *Water Resources Res.* 6: 1296-1311.
- Goudriann, J., and H. M. van Laar. 1994. Modelling potential crop growth processes. Textbook with exercises. *Current Issues in Production Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 238 p.
- Hewlett, J. D., and A. R. Hibbert. 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid area. In: Sopper, W. E., and H. W. Loll (eds). *Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology*. Pergamon, Oxford, England pp: 275-290.
- Mishra, S. K., M. K. Jain, P. K. Bhunya, and V. P. Singh. 2005. Field applicability of the SCS-CN-based Mishra-Singh general model and its variants. *Water Resources Manage.* 19: 37-62.

- Mockus, V. 1949. Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms. Exhibit A of appendix B. Interim Survey Report. Grand (Neosho) River Watershed. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture.
- NRCS. 2004. Part 630 Hydrology. National Engineering Handbook. Chapter 10 Estimation of direct runoff from storm rainfall. Natural Resources Conservation Service.
- United States Department of Agriculture. (210-VI-NEH, July 2004).
- SCS. 1972. Section 4: Hidrology. National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture.
- Steenhuis, T. M., M. Wincell, J. Rossing, J. A. Zollweg, and M. F. Walter. 1995. SCS runoff equation revisited for variable-source runoff areas. J. Irrigation and Drainage Eng. 121: 234-238.