

# 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

## RUNOFF CURVE NUMBER CALIBRATION OF A 116 km<sup>2</sup> AGRICULTURAL BASIN, BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

M. Guadalupe Ares<sup>1,3\*</sup>, Marcelo Varni<sup>1</sup>, Celio Chagas<sup>2</sup>, Ilda Entraigas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Hidrología de Llanuras. República de Italia 780 Azul, B7300, Buenos Aires, Argentina. (gares@faa.unicen.edu.ar). <sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Avenida San Martín 4453 (1417) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina (chagas@agro.uba.ar). <sup>3</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Avenida Rivadavia 1917 (C1033AAJ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

### RESUMEN

En el área de las sierras bonaerenses argentinas, el aumento de las precipitaciones y de la superficie destinada a agricultura ha contribuido a la generación de excesos de escurrimiento de gran impacto en la región y a la erosión hídrica de las tierras. La relación lluvia-escurrimiento en esta región permitirá estimar los efectos de las crecidas. Se calcularon valores locales de Número de la Curva de Escurrimiento ( $N$ ) para la cuenca del arroyo Videla (Buenos Aires, Argentina) y se estudió su relación con las precipitaciones a partir de datos de lluvia diaria y volúmenes escurridos. Se obtuvieron valores de 51 a 99 y los más frecuentes estuvieron entre 60 y 90. La relación entre  $N$  y precipitación mostró un patrón estándar que permitió ajustar un valor asintótico de 57. Lluvias menores que 15 mm se asociaron a  $N$  entre 85 y 90 y las de 15 a 85 mm se relacionaron con  $N$  de 60 a 85. Hubo concordancia entre los  $N$  intermedios observados y los valores tabulados de este parámetro asociados a cada cobertura vegetal. Así destaca la importancia de obtener valores locales de la variable estudiada para la implementación adecuada del método en cuencas de 100 km<sup>2</sup>.

**Palabras clave:** precipitación diaria, escurrimiento, número de la curva de escurrimiento, tamaño de cuenca, hidrogramas.

### INTRODUCCIÓN

La Pampa Húmeda Argentina es una zona económicamente importante allí está la mayor producción agrícola del país. Un área

### ABSTRACT

In the mountainous area of Buenos Aires, Argentina, an increase in precipitation and in cultivated area has contributed to generating excessive runoff that has had severe impact on the region and on soil water erosion. The rain-runoff ratio in this region can help estimate the effects of floods. The local values of the runoff curve number ( $N$ ) were calculated for the basin of the Arroyo Videla (Buenos Aires, Argentina), and its relationship to rainfall events was studied parting from daily rain data and runoff volumes. Values of 51 to 99 were obtained, and the most frequent were between 60 and 90. The relationship between  $N$  and precipitation exhibited a standard pattern that allowed adjusting an asymptotic value of 57. Rains less than 15 mm were associated with  $N$  between 85 and 90, while rains between 15 and 85 mm were related to  $N$  of 60 to 85. There was concordance between intermediate observed  $N$  and tabulated values of this parameter associated with each plant cover. This highlights the importance of obtaining local values of the studied variable to appropriately implement the method in basins of 100 km<sup>2</sup>.

**Key words:** daily rainfall, runoff, runoff curve number, basin size, hydrographs.

### INTRODUCTION

The Argentinean Humid Pampa is an important region economically because there the major agricultural production of the country is located. An interesting area due to its productive potential and its hydrological dynamics belong to the mountain systems of the Buenos Aires province, where precipitation has increased (Saravia,

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2011. Aprobado: agosto, 2012.

Publicado como NOTA en *Agrociencia* 46: 535-541. 2012.

de interés por su potencial productivo y su dinámica hidrológica corresponde a los sistemas serranos de la provincia de Buenos Aires, donde ha aumentado las precipitaciones (Saravia, 1987). Esto ha causado desbordes de ríos, arroyos y lagunas, entre ellos el arroyo del Azul y sus tributarios, lo que produce perjuicios económicos y sociales en los ámbitos rural y urbano. Estos fenómenos están asociados al aumento de la superficie destinada a la agricultura en deterioro de los pastizales naturales y las praderas implantadas. Por tanto es relevante conocer la respuesta lluvia-escurrimiento de precipitaciones de diferente magnitud para estimar los efectos de las crecidas en eventos extremos. El método del Número de la Curva de Escurrimiento (USDA SCS, 1985) se usa para predecir el volumen potencial de escurrimiento directo para un evento de lluvia en cuencas agrícolas, forestales y urbanas pequeñas, con la estimación de un solo parámetro: el  $N$ . Pero es necesario determinar los  $N$  con datos locales (Van Mullem *et al.*, 2002), lo cual contribuirá a reducir la incertidumbre en la calibración de los modelos de simulación de crecidas. Ponce y Hawkins (1996) señalan algunas limitaciones en la aplicabilidad de este método y una de ellas es el tamaño máximo de las cuencas donde se puede implementar, el cual no está definido bajo un criterio claramente especificado. Simanton *et al.* (1996) estimaron los  $N$  para cuencas en Arizona, EE.UU. y registraron una disminución en  $N$  al aumentar la superficie de las cuencas.

Los objetivos del presente estudio fueron obtener valores de  $N$  con datos locales de lluvia-escurrimiento en una cuenca agropecuaria de 116 km<sup>2</sup> perteneciente al sistema serrano bonaerense argentino, estudiar su respuesta hidrológica ante precipitaciones de distinta magnitud y discutir los alcances predictivos del método de  $N$  en relación a la extensión de dicha cuenca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Está situada en el sector central de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en la subregión de las sierras bonaerenses (Figura 1A) y pertenece a la cuenca del arroyo Videla, la cual incluye áreas de sierras, lomeríos y otras de pendientes menores del sector intraserrano. El arroyo Videla es afluente del arroyo del Azul y su cuenca tiene una superficie de 116.3 km<sup>2</sup>. La pendiente media es 2.8 %, su altitud máxima es 340 m y la mínima es 188 m.

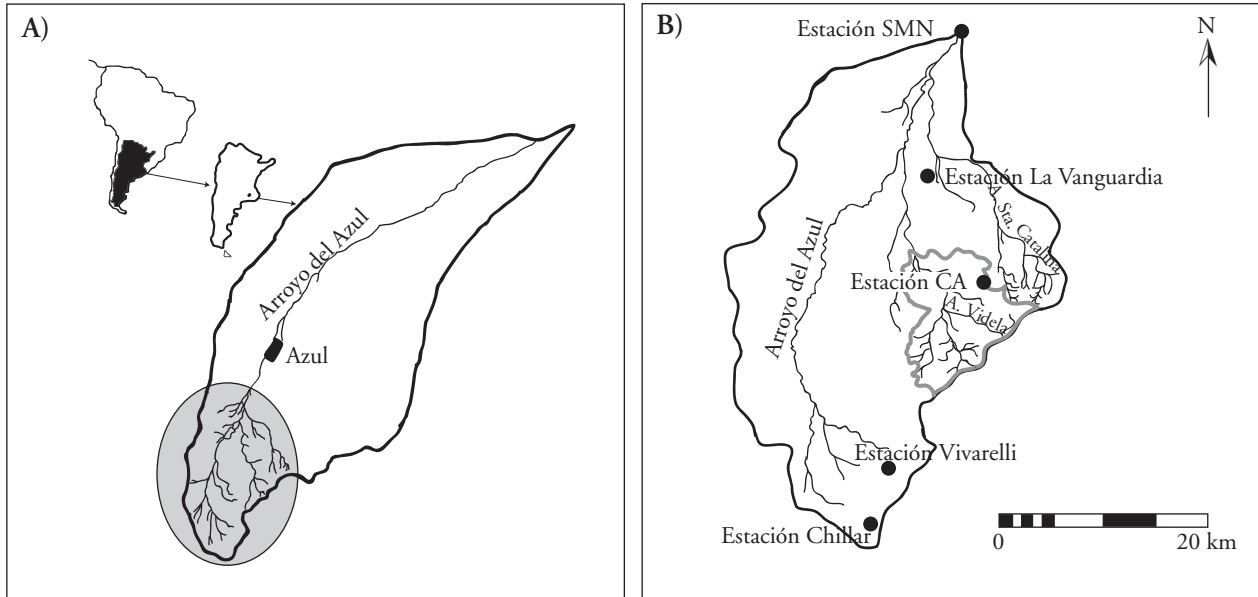
1987). This has caused rivers, streams and lagoons to overflow, among these the stream Azul and its tributaries, which has resulted in economic and social damage in both rural and urban areas. These phenomena are associated with the increase in area destined for agricultural production at the expense of natural grass and planted pastures. Therefore, it is relevant to determine the rainfall-runoff response of precipitations of different magnitude to estimate the effects of floods in extreme events. The Runoff Curve Number method (USDA SCS, 1985) is used to predict the potential volume of direct runoff for a rainfall event in agricultural, forest and small urban basins from the estimation of a single parameter:  $N$ . But it is necessary to determine  $N$ s from local data (Van Mullem *et al.*, 2002), which would contribute to reducing uncertainty in the calibration of the flood simulation models. Ponce and Hawkins (1996) point out some limitations in the applicability of this method, and one of them is the maximum size of the basins where it can be implemented, but it is not defined under a clearly specified criterion. Simanton *et al.* (1996) estimated the  $N$ s for basins in Arizona, USA, and recorded a decrease in  $N$  as the area of the basins increased.

The objectives of this study were to obtain  $N$  values from local rainfall-runoff data in a 116 km<sup>2</sup> agricultural basin belonging to the mountain system of Buenos Aires, Argentina, to study its hydrological response to precipitations of different magnitudes, and to discuss the predictive scope of the  $N$  method in relation to the extension of this basin.

## MATERIALS AND METHODS

### Study area

The study area is located in the central sector of the province of Buenos Aires, Argentina, in the subregion Sierras de Tandilla (Figure 1A). It belongs to the basin of the Arroyo Videla, which includes mountainous and hilly areas as well as parts with less steep slopes in the intermountain sector. The Videla stream is an affluent of the Azul stream and has an area of 116.3 km<sup>2</sup>. The mean slope is 2.8 %; its maximum altitude is 340 m and the minimum is 188 m. Predominant soils are Argiudolls (55.5 %) and Hapludolls (28.1 %); there are also Natraqualfs (9.2 %) and Paleudolls (5.8 %) and 1.4 % correspond to rocky outcrops (INTA, 1992). The soils have variable infiltration capacities from 60 mm h<sup>-1</sup> in well-drained Argiudolls to 24 mm h<sup>-1</sup> in deep soils limited by the presence of rock.



**Figura 1. A) Ubicación de la cuenca del arroyo del Azul. B) Detalle de subcuenca superior con sus tributarios, subcuencas, estación limnigráfica (Videla), estaciones pluviométricas: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), La Vanguardia, Cerro del Águila (CA), Vivarelli y Chillar, Argentina.**

**Figure 1. A) Location of the basin of the Azul stream. B) detail of the upper subbasin with its tributaries, subbasins, limnigraphic station (Videla), rain stations: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), La Vanguardia, Cerro del Águila (CA), Vivarelli and Chillar, Argentina.**

Los suelos predominantes son Argiudoles (55.5 %) y Hapludoles (28.1 %), además hay Natraculfes (9.2 %) y Paleudoles (5.8 %) y 1.4 % corresponde a afloramientos rocosos (INTA, 1992). Los suelos tienen capacidades de infiltración variables desde 60 mm h<sup>-1</sup> en Argiudoles bien drenados hasta 24 mm h<sup>-1</sup> en suelos de profundidad limitada por presencia de roca.

**Método del Número de la Curva de Escurrimiento**

El método del *N* expresa el volumen de agua disponible para escurrir superficialmente como una función de la lluvia y el almacenamiento según:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{para } P > 0.2S \quad (1)$$

mientras que  $Q=0$  para  $P \leq 0.2S$ , donde  $Q$ = escurrimiento (mm),  $P$ = precipitación (mm),  $S$ = retención potencial máxima (mm).  $S$  se transforma en el parámetro adimensional  $N$  mediante:

$$N = \frac{25400}{(254 + S)} \quad (2)$$

**Runoff Curve Number method**

The *N* method expresses the volume of water available to surface runoff as a function of rain and storage, according to:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{for } P > 0.2S \quad (1)$$

while  $Q=0$  for  $P \leq 0.2S$ , where  $Q$ =runoff (mm),  $P$ =precipitation (mm),  $S \leq$  maximum potential retention (mm).  $S$  is transformed into the adimensional parameter  $N$  by:

$$N = \frac{25400}{(254 + S)} \quad (2)$$

where  $0 < N \leq 100$  represents a condition whereby all the rain becomes runoff, while  $N=0$  represents a basin with infinite retention capacity (Ponce and Hawkins, 1996). If local data on precipitation and runoff are available, it is possible to determine the  $N$  corresponding to each event. From equation (1), we obtain:

donde  $0 < N \leq 100$ . Un valor de  $N=100$  representa una condición donde toda la lluvia se transforma en escurrimiento, mientras que  $N=0$  representa una cuenca con capacidad de retención infinita (Ponce y Hawkins, 1996). Si hay datos locales de precipitación y escurrimiento es posible determinar los  $N$  correspondientes a cada evento. De la Ecuación (1) se obtiene:

$$S = 5 \left[ P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{1/2} \right] \quad (3)$$

Entonces, cualquier par (P, Q) ( $0 < Q < P$ ) da una solución para  $S$  y mediante la Ecuación (2) un valor de  $N$  (Hawkins, 1993). Para obtener valores locales de  $N$  se seleccionaron y procesaron los datos de hidrogramas y de lluvias diarias correspondientes al arroyo Videla, como se describe a continuación.

1) Crecientes seleccionadas y su escurrimiento directo

Se analizaron registros de altura del arroyo Videla correspondientes al periodo 2001 a 2007 obtenidos mediante un limnógrafo instalado en la estación ubicada a la salida de la cuenca (Figura 1B). Los niveles se transformaron en gastos por medio de la curva altura-gasto de la sección, obtenida a través de aforos realizados con molinetes hidrométricos. En el análisis ingresaron las crecidas con escurrimientos mayores que  $10\,000\text{ m}^3$ . Los eventos menores se consideraron de poca envergadura y originados por tormentas pequeñas por lo que su inclusión conduciría a incrementar el error en las estimaciones (Feyereisen *et al.*, 2008). Para estimar los volúmenes de escurrimiento superficial se separaron los mismos del gasto base a partir del hidrograma de cada crecida. Para ello, en cada hidrograma se trazó una recta uniendo el origen de la crecida con el fin del escurrimiento superficial, señalado por una ligera ruptura en la curva de descenso (Chow *et al.*, 1994). Esta separación se realizó manualmente usando hoja de papel milimétrico y planilla de cálculo. Los resultados de estos procedimientos fueron finalmente expresados en lámina de lluvia (mm). Asimismo, se determinó la duración de las crecidas que fue considerada como el tiempo de duración del escurrimiento superficial obtenido del procesamiento de los hidrogramas.

2) Datos de precipitación correspondientes

Las lluvias relativas a los eventos de crecida se obtuvieron a partir de la estimación de la precipitación diaria en el centro de gravedad de la cuenca, para lo cual se usaron los datos pluviométricos diarios disponibles correspondientes a las cinco estaciones de registro más cercanas (Figura 1) y distancia variable al centro de gravedad de la cuenca (Cuadro 1). Para la estimación se

$$S = 5 \left[ P + 2Q - (4Q^2 + 5PQ)^{1/2} \right] \quad (3)$$

Then, any pair (P,Q) ( $0 < Q < P$ ) gives a solution for  $S$  and with Equation (2) a value of  $N$  (Hawkins, 1993). To obtain local  $N$  values, data from hydrographs and of daily rainfall in the Videla Stream basin were selected and processed, as described below.

1) Selected floods and their direct runoff.

Registers of Videla stream levels were analyzed; these corresponded to the period 2001 to 2007 and were obtained with a limnigraph installed in the station located at the mouth of the basin (Figure 1B). The levels were transformed into discharge by means of the height-discharge curve obtained by gauging with hydrometric current meters. The analysis included floods with runoff above  $10\,000\text{ m}^3$ . The lesser events were considered of little importance, originating from small storms, and so were not included since their inclusion would increase the error in estimations (Feyereisen *et al.*, 2008). To estimate the surface runoff volumes, the volumes of the base discharge were separated from the hydrograph of each flood. To this end, in each hydrograph, a line was drawn joining the origin of flood with the end of the surface runoff, marked by a slight rupture in the descent curve (Chow *et al.*, 1994). This separation was done manually using millimetric paper and a spreadsheet. The results of this procedure were finally expressed in runoff depth (mm). Also, duration of the floods was determined as the duration time of the surface runoff obtained from processing the hydrographs.

2) Corresponding precipitation data

The rains relative to the flood events were obtained from the estimation of daily precipitation in the center of gravity of the basin, for which the available pluviometric data corresponding to the five closest recording stations (Figure 1) and variable distance to the basin's center of gravity (Table 1) were used. For this estimation, the inverse-distance squared weighting method was used (Dingman, 2002) in which the values of precipitation are calculated with

$$\hat{P}_0 = \frac{1}{D} * \sum_{g=1}^G d_g^{-b} * P_g \quad (4)$$

$$D = \sum_{g=1}^G d_g^{-b} \quad (5)$$

empleó el método de ponderación por el inverso de la distancia elevado al cuadrado (Dingman, 2002), en el cual los valores de precipitación se calculan a través de:

$$\hat{p}_0 = \frac{1}{D} * \sum_{g=1}^G d_g^{-b} * p_g \quad (4)$$

$$D = \sum_{g=1}^G d_g^{-b} \quad (5)$$

donde  $\hat{p}_0$ : precipitación diaria estimada para el centro de gravedad de la cuenca,  $d_g$ : distancia de cada estación al centro de gravedad de la cuenca,  $p_g$ : precipitación diaria de cada estación  $g$  ( $g=1, 2, \dots, G$ ). En este caso se consideró  $b=2$ .

Una vez obtenida la información de escurrimiento superficial y lluvias diarias, se conformaron los pares precipitación-escurrimiento y se calculó primero el valor de  $S$  y luego el correspondiente  $N$  a través de las Ecuaciones (3) y (2).

#### Análisis de la relación entre el $N$ y la precipitación

Los valores de  $N$  calculados a partir de los registros mencionados se relacionaron con las precipitaciones que le dieron origen mediante un gráfico que vinculaba ambas variables. A partir de esta información se caracterizó el tipo de patrón de respuesta de la cuenca estudiada que se clasifica en violenta, con decaimiento y estándar (Hawkins, 1993).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las 108 crecidas analizadas presentaron duración promedio de 69 h, máxima de 158 h y mínima de 22 h, mientras que la lámina escurrida promedio fue 3.3 mm, con valor máximo de 22 mm y mínimo de 0.1 mm. Los valores de  $N$  variaron entre 51 y 99 (media de 75) y esta diversidad de valores de  $N$  podría relacionarse primero con la capacidad de infiltración diferencial de los suelos, y luego con la humedad antecedente de cada tormenta la cual varió desde cero hasta más de 90 mm en los 5 días previos. A su vez, el uso y grado de cobertura del suelo presentaron cambios importantes en la cuenca. Cabe mencionar que la variabilidad espacial de las precipitaciones, como la trayectoria de las tormentas, si bien son factores no contemplados por el método, también inciden en la respuesta al escurrimiento.

#### Cuadro 1. Distancias desde las cinco estaciones pluviométricas consideradas al centro de gravedad de la cuenca del arroyo Videla.

Table 1. Distances from the five rain stations to the center of gravity of the Videla stream basin.

Estación	Distancia al centro de gravedad (km)
SMN	30.0
Chillar	24.3
Vivarelli	18.1
La Vanguardia	15.1
Cerro del Águila	3.8

where  $\hat{p}_0$ : daily precipitation estimated for the basin center of gravity,  $d_g$ : distance of each station from the basin's center of gravity,  $p_g$ : daily precipitation of each station  $g$  ( $g=1,2, \dots, G$ ). In this case,  $b=2$ .

Once the surface runoff and daily rain information was obtained, precipitation-runoff pairs were formed, and the  $S$  value was calculated first, then the corresponding  $N$ , using equations (3) and (2).

#### Analysis of the relationship between $N$ and precipitation

The  $N$  values calculated from the mentioned registers were matched to the precipitations that originated them using a graph that linked the two variables. From this information, the response pattern type of the study basin was characterized and classified as violent, complacent and standard (Hawkins, 1993).

### RESULTS AND DISCUSSION

The 108 floods analyzed had an average duration of 69 h, maximum of 158 h and minimum duration of 22 h, while the average runoff depth was 3.3 mm, with a maximum of 22 mm and minimum of 0.1 mm. The  $N$  values varied between 51 and 99, (mean of 75); this diversity of  $N$  values could be related, first, with the differential infiltration capacity of the soils and, second, with the antecedent moisture of each storm, which varied from zero to more than 90 mm in the 5 days previous to the storm. In turn, the use and degree of soil cover had important changes in the basin. It should be mentioned that even though precipitation spatial variability and storm trajectory are factors not contemplated by the method, they also influence response to runoff.

The graphic relationship between calculated  $N$  and the corresponding precipitation (Figure 2) shows

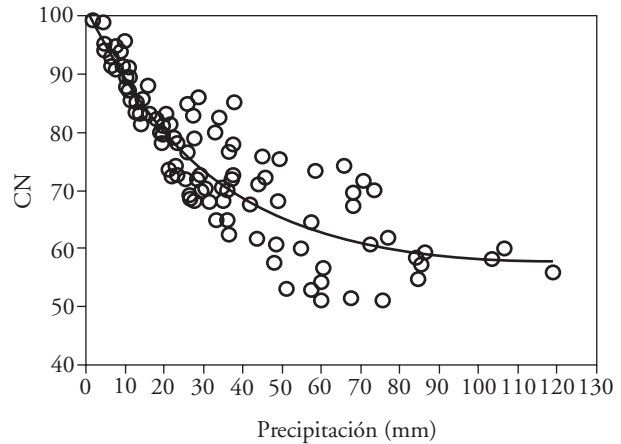
La relación gráfica entre los  $N$  calculados y la precipitación correspondiente (Figura 2) muestra la tendencia conjunta de estas variables para la cuenca del arroyo Videla. Los valores de  $N$  tienden a disminuir a medida que la lluvia aumenta y pueden ser ajustados a ecuaciones para hallar el valor de la asíntota según lo definido por Hawkins (1993). La tendencia muestra un patrón tipo estándar que ha permitido obtener el ajuste:

$$N(P) = 45.55 * e^{(-0.034 * P)} + 56.87 \quad (6)$$

con  $r^2=0.79$ . De esta manera, se obtiene  $N=57$  para grandes eventos. Este valor describe la tendencia del  $N$  ante eventos lluviosos de magnitud importante (Hawkins, 1993). Además, lluvias menores que 15 mm se asocian a  $N$  entre 85 y 90, y precipitaciones entre 15 y 85 mm, a  $N$  de 60 a 85.

La presencia de valores de  $N$  mayores para los eventos de lluvia pequeños, se debe a que las precipitaciones de magnitud baja con  $N$  bajos no producen escurrimiento significativo y, por tanto, las únicas situaciones que causarían escurrimiento con lluvias pequeñas son aquellas que resultan en  $N$  altos (Hawkins, 1993). Crecidas con  $N > 85$  coincidieron en algunos casos con eventos en los que la lluvia de los 5 días previos era alta, y en la mayoría de los eventos que no presentaron humedad antecedente alta, correspondieron a los años 2001 y 2002 en los que las precipitaciones anuales superaron en 84 y 53 % el promedio anual histórico de 1901 a 2007, que fueron años muy húmedos.

Los valores de precipitación intermedios representan las situaciones de ocurrencia más frecuente en la cuenca, y corresponden a  $N$  entre 60 y 85 (Figura 2). Estos resultados son comparables con aquellos que surgen de las estimaciones a través del uso de tabulaciones de  $N$ . Además, los  $N$  tendientes a 57 asociados a las lluvias de mayor magnitud, podrían considerarse bajos en relación a lo comentado anteriormente. En el presente estudio el tamaño de la cuenca es mayor al recomendado para estimar escurrimiento mediante el método del  $N$  lo cual produciría escurrimientos menores que los que predice el mismo. Ello se debe a que participan otros procesos que no son relevantes en cuencas pequeñas como el de transmisión del agua a través de cursos, almacenamiento en depresiones, o la detención asociada a la presencia de elementos introducidos por el hombre en el paisaje (alambrados,



**Figura 2.** Relación gráfica de los valores de  $N$  calculados en función de la lámina de agua precipitada para cada tormenta, y su correspondiente ajuste.

**Figure 2.** Graphic relationship of the calculated  $N$  values in function of the precipitated water depth for each storm and its corresponding fit.

the joint tendency of these variables for the Videla Stream basin. The  $N$  values tend to decrease in the measure that rain increases and can be fit to equations to find the value of the asymptotic, according to the definition of Hawkins (1993). The tendency shows a standard type pattern that allows the fit:

$$N(P) = 45.55 * e^{(-0.034 * P)} + 56.87 \quad (6)$$

with  $r^2=0.79$ . In this way  $N=57$  is obtained for large events. This value describes the tendency of  $N$  in rain events of major magnitude (Hawkins, 1993). Furthermore, rains of less than 15 mm are associated with an  $N$  between 85 and 90, while precipitations of 15 to 85 mm are associated with  $N$ s of 60 to 85.

The presence of higher  $N$  values for small rainfall events is due to the fact that low magnitude precipitations with low  $N$  do not produce significant runoff, and therefore, the only situations that would cause runoff with small rain storms are those that result in high  $N$  values (Hawkins, 1993). Floods with  $N > 85$  coincided in some cases with events in which the five-day antecedent rainfall was high, and most events that did not have high antecedent moisture occurred in the very wet years 2001 and 2001 when annual precipitation surpassed the historic annual average (1901 to 2007) by 84 and 53 %.

Intermediate precipitation values are the most frequent in the basin, corresponding to  $N$  between

camino, alcantarillas), los cuales implican una disminución del volumen de agua que sale de la cuenca respecto del escurrimiento potencial que estima el método. Por ello, para eventos de lluvia superiores a 85 mm en esta cuenca cuya superficie es del orden de los 100 km<sup>2</sup>,  $N$  debería tender a 57, independientemente de las condiciones de suelos, usos y humedad antecedente.

## CONCLUSIONES

A través de los procedimientos presentados se caracterizó una relación estándar entre  $N$  y las precipitaciones asociadas en una cuenca agrícola de la Pampa Húmeda Argentina. Los valores tabulados del parámetro  $N$  resultarían adecuados en caso de lluvias comprendidas entre 15 y 85 mm. Para precipitaciones superiores a 85 mm los valores de  $N$  deberían ser menores que los propuestos en las tablas y relativamente independientes de las variaciones de cobertura y humedad edáfica de la cuenca. Esta respuesta podría deberse a la extensión del área estudiada, la que favorecería la infiltración en la cuenca. Los resultados obtenidos aportan elementos que permitirán hacer interpretar mejor la tendencia de los  $N$  en cuencas del orden de los 100 km<sup>2</sup> y muestran la importancia de conocer esos valores.

## LITERATURA CITADA

- Chow, V. T., D. Maidment, y L. W. Mays. 1994. Hidrología aplicada. Mc Graw Hill. Bogotá, Colombia. 584 p.
- Dingman, L. 2002. Physical Hydrology. 2nd Edition. Prentice Hall. New Jersey. pp: 115-116.
- Feyereisen, G. W., T. C. Strickland, D. D. Bosch, C. C. Truman, J. M. Sheridan, and T. L. Potter 2008. Curve number estimates for conventional and conservation tillages in the southeastern Coastal Plain. *J. Soil Water Conservation* 63 (3): 120-128.
- Hawkins, R. 1993. Asymptotic determination of runoff curve numbers from data. *J. Irrigation Drainage Eng.* 19(2): 334-345.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1992. Carta de Suelos de la República Argentina. Hoja 3760-22, Chillar.
- Ponce, V. M., and R. Hawkins. 1996. Runoff Curve Number: has it reached maturity? *J. Hydrologic Eng.* (1): 11-19.
- Saravia, J. R. 1987. Lineamientos generales y regionales para un plan maestro de ordenamiento hídrico del territorio bonaerense. Ministerio de Obras y Servicios Públicos, Provincia de Buenos Aires, La Plata.
- Simanton, J., R. Hawkins, M. Mohseni-Saravi, and K. Renard. 1996. Runoff Curve Number variation with drainage area, Walnut Gulch, Arizona. *Trans. ASAE* 39(4): 1391-1394.

60 and 85 (Figure 2). These results are comparable to estimations obtained with  $N$  tabulations. Moreover, the  $N$ s tending toward 57, associated with rains of greater magnitude, could be seen as low considering the above comments. In this study, the size of the basin is larger than that recommended for estimating runoff with the  $N$  method, and thus, runoff could be underestimated. This is due to the fact that other processes that are irrelevant in small basins occur in larger ones, for example, transmission through water courses, storage in depressions, or detention associated with the presence of elements introduced by man in the landscape (fences, roads, culverts and drainage), implicating a reduction in the volume of water leaving the basin relative to the potential runoff estimated by the method. For this reason, for rainfall events above 85 mm in this basin whose area is in the order of 100 km<sup>2</sup>,  $N$  should tend toward 57, regardless of soil conditions, uses and antecedent moisture.

## CONCLUSIONS

With procedures presented in this paper, the standard relationship between  $N$  and associated rainfall in the agricultural basin of the Humid Pampa, Argentina, was characterized. The tabulated values of the  $N$  parameter were shown to be adequate in the case of rainfall between 15 and 85 mm. For rainfall above 85 mm, the  $N$  values should be lower than those proposed in the tables and relatively independent of the variations in cover and soil moisture in the basin. This response may be due to the extension of the studied area, which would favor infiltration. The results obtained contribute elements that help to better interpret the tendency of  $N$ s in basins in the order of 100 km<sup>2</sup> and show the importance of determining these values.

—End of the English version—

-----\*

- USDA SCS (United States Department of Agriculture Soil Conservation Service). 1985. National Engineering Handbook, Section 4. Hydrology U.S. Government. Printing Office. Washington DC.
- Van Mullem, J., R. Hawkins, A. Hjelmfelt, and Q. Quan. 2002. Runoff Curve Number method: Beyond the handbook. 2<sup>nd</sup> Federal Interagency Hydrologic Modelling Conference. Las Vegas, USA.