

PREDICCIÓN DE HIDROGRAMAS MODIFICANDO EL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN DE UNA MICROCUENCA DE LA PAMPA ONDULADA (ARGENTINA) CON PENDIENTES MENORES AL 2%

M G CASTIGLIONI, M J MASSOBRIO, C I CHAGAS, O J SANTANATOGLIA

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. UBA Av. San Martín 4453 (1417) Buenos Aires. Argentina

PREDICTION OF HYDROGRAPHS BY CHANGING THE TIME OF CONCENTRATION IN A MICROBASIN FROM THE ROLLING PAMPA (ARGENTINA) WITH SLOPE GRADIENTS SMALLER THAN 2%

In the present paper, the adequacy of different estimates of the hydrological time parameters of a microbasin belonging to the Tala's River, Buenos Aires, Argentina, was assessed by comparing them with field measurements. The time of concentration was calculated according to the model of Kirpich and through those developed by Sheridan for regions with low slope gradients. The theoretical hydrological response of the microbasin was computed employing the triangular hydrograph. A coefficient of performance was employed in order to obtain the best estimation for the studied area, relative to the one obtained by Kirpich.

Key words: Microbasin - Hydrograph time parameters - Hydrology - Flatlands

INTRODUCCION

En la Pampa Ondulada (Argentina) hay extensas superficies que se dedican a la producción agropecuaria y que están conformadas por microcuencas con pendientes que no superan el 2% de gradiente. La importancia de poder modelar el comportamiento hidrológico superficial de las mismas radica no solamente en poder diseñar obras de control de escurrimientos, sino en la posibilidad de poder estimar la capacidad de exportación de sedimentos de dichas microcuencas durante eventos meteorológicos de distinta magnitud y para distintos usos y manejos de la tierra.

Uno de los métodos para estimar el comportamiento hidrológico de pequeñas cuencas es el del hidrograma triangular (Kent 1968, Schwab *et al.* 1966). La aplicación de dicho método requiere de una adecuada estimación del tiempo de concentración para la confección de

los hidrogramas correspondientes a los distintos eventos meteorológicos. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el grado de ajuste de distintos estimadores del tiempo de concentración, a través de su confrontación con mediciones hidrológicas realizadas en una microcuenca del Arroyo del Tala, San Pedro, Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y METODOS

La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha y está ubicada en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala, San Pedro, Provincia de Buenos Aires, Argentina (Chagas *et al.* 1993, Santanatoglia *et al.* 1996). Esta microcuenca es representativa de todas las microcuencas de primer orden presentes en la cuenca media del Arroyo del Tala, la que abarca una extensión de 116 km². Los suelos presentes en la misma corresponden a la serie Ramallo (Argiudol Vértico) y sus fases por erosión (INTA 1973), con gradientes en las pendientes que varían entre el 0,5% y el 2%, y con un desnivel promedio en la

Tabla 1. Lluvia caída, antecedentes de humedad (AMC) y lámina de escurrimiento para cada evento registrado

Fecha	7-3-95	31-3-95	7-4-95	28-4-95	3-10-95	9-11-95	23-2-96	29-1-97
Lluvia caída (mm)	117	21	125	68	110	35	79	66
AMC	I	II	I	I	I	III	II	III
Lámina de escurrimiento (mm)	21,7	6	97,5	12	17	24	31,2	50,4

Tabla 2. Coeficientes de performance de los parámetros seleccionados de los hidrogramas, según el tiempo de concentración surgido de las distintas fórmulas.

	Fórmula 1	Fórmula 2	Fórmula 3	Fórmula 4
Caudal pico ($\text{m}^3 \text{seg}^{-1}$)	2,713	0,031	0,103	0,210
Tiempo al pico desde el inicio de la lluvia	0,25	0,017	0,014	0,033
Duración del hidrograma (horas)	6,184	1,160	2,064	4,305

vanguardia principal de 0,36%. La actividad predominante dentro de esta microcuenca es la producción agrícola ganadera con predominio de los cultivos de verano.

El período en que realizaron las mediciones pluviométricas, con un pluviógrafo a cangilones PG 9 de Telemet Siap, y limnigráficas mediante un limnigrafo-freatigrafo de lectura continua, modelo L.E. 203, fue entre los años 1995 y 1997, dentro del cual se registraron ocho eventos de escurrimiento (Tabla 1) con distintos antecedentes de humedad (AMC) según el método del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Kent 1968).

Se calculó el tiempo de concentración (TC) de acuerdo a la fórmula empírica de Kirpich (1940): 1) TC (min.): $0,02 L^{0,77} (m) S_{0,385}^{-0,385} (m \text{ m}^{-1})$; y a las desarrolladas por Sheridan (1994) en cuencas con gradientes en las vertientes menores al 5% y con desniveles en el cauce principal inferiores al 1%: 2) TC (horas): $2,2 L^{0,92}$; 3) TC (horas): $0,39 (L/(S)^{1/2})^{0,72}$; 4) TC (horas): $2,96 (DA)^{0,54}$, siendo L: longitud en km del canal principal, DA: área de drenaje en km^2 y S: gradiente del canal principal.

Los hidrogramas resultantes de cada tormenta y para cada uno de los tiempos de concentración surgidos de la aplicación de las mencionadas fórmulas, se estimaron por el método del hidrograma triangular (Kent 1968, Schwab *et al.* 1966). Debido a que en trabajos anteriores (Chagas *et al.* 1993; Santanatoglia *et al.* 1996) se observó una falta de ajuste entre los valores de S (retención potencial máxima de agua) reales y los surgidos de las tablas del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, se calcularon para cada evento los valores de S reales a partir de la fórmula de Haan, Schultz (1987), para evitar una fuente adicional de error.

Se seleccionaron tres parámetros de los hidrogramas surgidos: caudal pico, tiempo transcurrido desde el inicio de la lluvia al pico del hidrograma y duración del hidrograma, y con dichos resultados se pudieron categorizar a las distintas fórmulas de TC, a través del uso del coeficiente de performance (CP) (James, Burgess 1982), que al igual que el coeficiente de eficiencia (Nash, Sutcliffe 1970) son comúnmente utilizados como medida de ajuste en la calibración de modelos en hidrología y en las ciencias del suelo (Yu *et al.* 1997)

$$CP = \frac{\sum_{j=1}^n (S(i) - O(i))^2}{\sum_{j=1}^n (O(i) - O(m))^2}$$

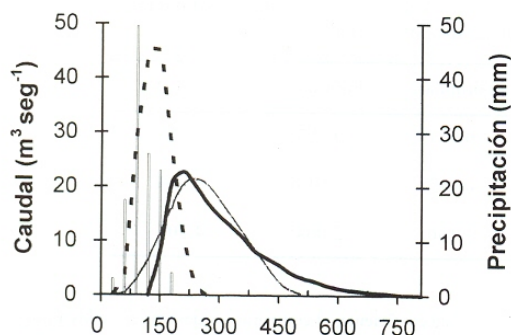
Siendo S(i): valor estimado; O(i): valor observado; O(m): media de los valores observados y n: 8

Este coeficiente, al comparar los desvíos entre los valores observados y estimados respecto a los desvíos entre los valores observados y su correspondiente media, determina el grado de ajuste entre los valores de los parámetros estimados y los reales, siendo dicho grado de ajuste mayor cuanto más cercano a cero sea el CP sugerido. Este procedimiento permitió evaluar los resultados de cada una de las fórmulas de TC analizadas. También se calculó, para cada uno de los eventos analizados, el porcentaje de error en la estimación de los valores de los tres parámetros seleccionados respecto de aquellos surgidos de los hidrogramas reales.

RESULTADOS Y DISCUSION

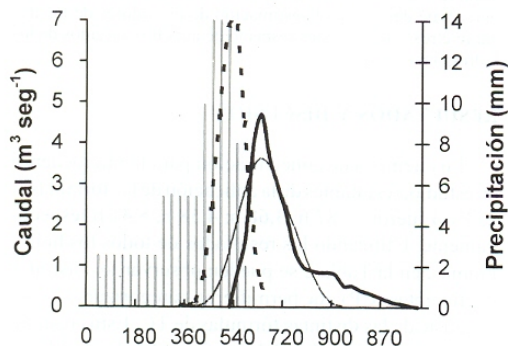
Los tiempos de concentración para la microcuenca en estudio, resultantes de la aplicación de las fórmulas 1, 2, 3 y 4 fueron: 0,87 h; 3,68 h; 4,58 h; 5,41 h respectivamente. Utilizando los resultados de todos los hidrogramas, en la Tabla 2 se pueden observar los distintos coeficientes (CP) que permitieron categorizar el grado de ajuste de las distintas fórmulas de TC. Estos resultados confirman la utilidad de las fórmulas desarrolladas por Sheridan (1994), para las condiciones del área por nosotros custodiada, respecto de la obtenida por Kirpich (1940) en áreas de mayores gradientes topográficos. Del análisis de la Tabla 2 surge que la fórmula 2 es la que mejor predijo, a través de su uso, el comportamiento hidrológico de la microcuenca bajo estudio, ya que todos los parámetros que fueran seleccionados de los hidrogramas tuvieron el menor coeficiente de performance respecto de los obtenidos por las otras fórmulas. En las Figuras 1 y 2 se observan los hidrogramas correspondientes a dos tormentas surgidos de la utilización de la metodología de Kent (1968), y de acuerdo a los TC calculados mediante las fórmulas 1 y 2. El error medio en la estimación de los distintos parámetros seleccionados de los hidrogramas al utilizar las fórmulas mejor (2) y peor (1) categorizadas fueron: 13,75% y 71,5% para caudal pico; 10,18% y 39,26% para tiempo al pico y 11,97% y 36,02% para duración del hidrograma, respectivamente. Dicho error, al aplicar la fórmula dos, fue en el 80% de los casos menor al 15%.

La dominancia de longitud de canal como indicador,



Tiempo desde inicio de lluvia (minutos)

Figura 1. Precipitación e hidrogramas real y estimados, aplicando fórmulas de tiempo de concentración (TC) 1 y 2, correspondientes a tormenta del 7-4-95



Tiempo desde inicio de lluvia (minutos)

Figura 2. Precipitación e hidrogramas real y estimados, aplicando fórmulas de tiempo de concentración (TC) 1 y 2, correspondientes a tormenta del 3-10-95

presente en dicha fórmula, es consistente con lo hallado por Pilgrim (1977) en pequeñas cuencas de alto gradiente de Australia. A pesar de estas diferencias fisiográficas con nuestra área de trabajo, dicho autor llegó a conclusiones generales similares: la forma exponencial de un parámetro (largo de canal) como estimador del tiempo de concentración resultó ser más ajustada que la utilización de otros parámetros más complejos. Sin embargo, Ludwig, Walters (1985) sugieren que adicionar más parámetros a un modelo puede mejorar el comportamiento de los datos observados en un lugar determinado, pero añaden que ello puede resultar en un peor ajuste del modelo predictivo para otras áreas. Es por ello que los parámetros intervinientes en los mismos deberían poder

independizarse de la variabilidad espacio temporal de cada sitio en particular. Esto concuerda, a su vez, con lo aportado por Rodríguez Iturbe, Valdés (1979) en que la respuesta hidrológica de las cuencas son dependientes de características simples y evidentes.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo subsidiado por la Universidad de Buenos Aires (proyecto UBACYT AG 054)

REFERENCIAS

- Chagas C I, Santanatoglia O J, Rienzi, E A. 1993. Análisis del escurrimiento de una microcuenca utilizando distintas metodologías. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 8: 177-190.
- Haan C T, Schultz R E. 1987. Return period flow prediction with uncertain parameters. *Transactions of the ASAE* 30:665-669.
- INTA 1973. Carta de Suelos de la República Argentina, Hoja 3360-33 Pérez Millán, E. 1:50000, 45 pp.
- James L D, Burgess S J. 1982. Selection, calibration and testing of hydrologic models. *Hydrologic modeling of small watersheds*, Eds. C T Haan, H P Johnson and D L Brakensiek. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Kent K M. 1968. A method for estimating volumen and rate of runoff in small watershed. USDA SCS. Technical Paper 149, 20 pp.
- Kirpich Z P. 1940. Time of concentration of small agricultural watershed. *Civ. Eng.* 10:362.
- Ludwig D, Walters C J. 1985. Are age-structured models appropriate for catch-effort data? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 42:1066-1072.
- Nash J E, Sutcliffe J V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10:282-290.
- Pilgrim D H. 1977. Isochrones of travel time and distribution of flood storage from a tracer study on a small watershed. *Water Resources Res.* 13:587-595.
- Rodríguez-Iturbe I, Valdés J B. 1979. The geomorphic structure of hydrologic response. *Water Resource Res.* 15:1409-1420.
- Santanatoglia O J, Chagas C I, Rienzi E a, Castiglioni M G, Massobrio M J, Buján A. 1996. Comportamiento hidrológico de una microcuenca en Pampa Ondulada en condiciones de suelo seco. IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. 461-464.
- Schwab G, Frevert R, Edminster T, Barnes K. 1966. Soil and water conservation engineering Ed. J. Wiley & sons, Inc. N Y, 683 pp.
- Sheridan, J M. 1994. Hydrograph time parameters for flatland watersheds. *Transactions of the ASAE* 37:103-113.
- Yu B, Rose C W, Coughlan K J, Fentie B. 1997. Plot-scale rainfall-runoff characteristics and modeling at six sites in Australia and Southeast Asia. *Transactions of the ASAE* 40:1295-1303.