

UTILIZACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO OCINE3 EN UNA MICROCUENCA DE PAMPA ONDULADA, ARGENTINA

M.G. CASTIGLIONI; M.J. MASSOBRIO; C.I. CHAGAS y O. SANTANATOGLIA¹

Recibido: 25/10/00

Aceptado: 26/03/01

RESUMEN

En estudios de erosión y contaminación es importante poder predecir el comportamiento hidrológico de las cuencas agropecuarias. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) calibrar el modelo de onda cinemática OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) en una microcuenca de Pampa Ondulada, ajustando los parámetros curva número (CN) (Soil Conservation Service, 1975) y rugosidad (n) de Manning y 2) contrastar los resultados de dicha calibración con los provenientes (Castiglioni *et al.*, 1999) de la utilización del modelo Hidrograma triangular (Kent, 1968; Schwab *et al.*, 1966). La microcuenca bajo estudio posee 300 ha y está ubicada en la cuenca media del Arroyo del Tala, San Pedro, Pcia. de Bs.As. Para evaluar el grado de ajuste entre los hidrogramas observados y estimados se utilizó el coeficiente de eficiencia de Nash y Sutcliffe (1970) y se realizaron comparaciones gráficas. El modelo OCINE3 estimó mejor los hidrogramas, respecto al modelo Hidrograma triangular, dada la posibilidad que ofrece el primero de modificar la rugosidad (n) de la cuenca. Este parámetro mostró ser sensible a las condiciones climáticas y a la fenología y manejo de los cultivos. Se observó una correlación significativa entre los valores de CN ajustados con el modelo OCINE3 y aquellos calculados mediante la fórmula de Haan y Schultze (1987).

Palabras clave. Modelos hidrológicos, microcuenca, rugosidad, curva número.

USE THE HYDROLOGICAL MODEL OCINE3 IN A MICROBASIN OF THE ROLLING PAMPAS, ARGENTINA

SUMMARY

In erosion and contamination studies it is very important to predict the hydrological behaviour of the agricultural catchments. The aim of the present work was: 1) to calibrate the kinematic wave model (OCINE3) (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) in a microbasin of the Rolling Pampas, fitting the parameters runoff curve number (CN) (Soil Conservation Service, 1975) and roughness (n) of Manning and 2) to contrast these results with those obtained (Castiglioni *et al.*, 1999) with the Triangular hydrograph model (Kent, 1968; Schwab *et al.*, 1966). The microbasin studied had 300 ha and was located in the Arroyo Tala middle basin, San Pedro, Buenos Aires Province. To evaluate the fitness between estimated and observed hydrographs we used the Nash and Sutcliffe (1970) coefficient and graphical plots. The OCINE3 model performance was better than the Triangular hydrograph model associated with its ability to modify the roughness parameter. Roughness was sensitive to climatic conditions and to the phenology and management of crops. We found a significant correlation between the runoff CN values, fitted with the OCINE3 model, and those obtained with the Haan and Schultze (1987) formula.

Key words. Hydrologic models, microbasin, roughness, runoff curve number.

¹Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453 -Capital Federal-C.P.1417

INTRODUCCIÓN

En estudios de erosión y contaminación es de suma importancia poder predecir el comportamiento hidrológico de las cuencas agropecuarias. Para alcanzar dicho objetivo es de gran utilidad el desarrollo y/o la validación de modelos hidrológicos que permitan estimar la capacidad de exportación de sedimentos y contaminantes de dichas cuencas, ante eventos meteorológicos de distinta magnitud y bajo distintos usos y manejos de las tierras.

El modelo Hidrograma triangular (Kent, 1968; Schwab *et al.*, 1966) es utilizado comúnmente en microcuencas agropecuarias de la Argentina para el dimensionamiento de obras estructurales. Para su funcionamiento requiere el conocimiento del Tlag (tiempo comprendido entre el centro de gravedad de la lluvia efectiva y el momento en el que se produce el caudal pico del hidrograma correspondiente). Debido a la falta de información experimental este valor normalmente se estima a partir de la relación sugerida por el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. (Soil Conservation Service, 1968): $Tlag = 0,6 Tc$ (tiempo de concentración de la cuenca). De esta manera este modelo necesita para su funcionamiento: información pluviográfica, número de curva (CN) (Soil Conservation Service, 1975) y tiempo de concentración (Tc) de la cuenca analizada.

Castiglioni *et al.* (1999) calibraron el mencionado modelo en una microcuenca perteneciente al Arroyo del Tala, San Pedro, Pcia. de Bs.As., utilizando distintos estimadores de tiempo de concentración. En dicho trabajo el grado de ajuste entre los hidrogramas observados y estimados fue alto únicamente cuando las tormentas analizadas superaban los 70 mm y cuando las intensidades medias de las mismas eran mayores a 10 mm/h.

El modelo hidrológico de onda cinemática OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) es un modelo determinístico en régimen no permanente presentando la particularidad que los parámetros intervinientes se pueden discretizar espacialmente en áreas aproximadamente homogéneas (Zimmermann, 1999). Esta característica hace que si la cuenca estudiada posee zonas diferenciales en cuanto al uso y manejo de sus tierras, el modelo permite la subdivisión de la misma en áreas (segmentos) relativamente homogéneas para poder así tener una representación más ajustada de la realidad de campo. En este modelo se simplifica el

escurrimiento en la cuenca asimilándolo a un conjunto de planos inclinados que desaguan en "canaletas" que simulan la red de drenaje. La transformación lluvia-escurrimiento se basa en el movimiento del agua a través de las laderas y de la red de canales planteando una solución a las ecuaciones de la onda cinemática (Zimmermann, 1999). El modelo OCINE3 es una herramienta conveniente para modelar el escurrimiento superficial ya que las principales fuerzas que actúan sobre el flujo son la gravedad y la fricción, siendo estas las únicas contempladas en su simplificación (Zimmermann, 1999). Para ser utilizado requiere la siguiente información: gradiente y largo de las pendientes, número de curva (CN) (Soil Conservation Service, 1975) y rugosidad (n) de Manning que asumen los distintos sectores en que se subdivide la cuenca bajo estudio (segmentos de cauce y segmentos de cuenca).

Respecto a estos últimos parámetros mencionados, Massobrio *et al.*, (1998) encontraron en la microcuenca de San Pedro ya citada, una alta sensibilidad en los resultados alcanzados con un modelo de producción de sedimentos (AGNPS) (Young *et al.*, 1989), ante variaciones de la CN y del coeficiente n de Manning, mientras que dicha sensibilidad en los resultados disminuyó fuertemente cuando se modificó la longitud y gradiente de las pendientes.

Lamentablemente no se cuenta con tablas de CN y del coeficiente n de Manning de alcance regional para las distintas alternativas de uso y manejo de las tierras, por lo que una vez validado el modelo OCINE3 en una determinada área, puede ser una herramienta útil para generar dicha información a partir de registros pluviográficos y limnográficos.

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) calibrar el modelo de onda cinemática OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) en una microcuenca de Pampa Ondulada, a través del ajuste de los parámetros CN y n de Manning y 2) contrastar los resultados de dicha calibración con los provenientes (Castiglioni *et al.*, 1999) de la utilización del modelo Hidrograma triangular (Kent, 1968; Schwab *et al.*, 1966).

MATERIALES Y MÉTODOS

La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha (Figura 1) y está ubicada en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala, San Pedro, Pcia. de

Bs. As. (Chagas *et al.*, 1998; 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 865 km². Los suelos presentes corresponden a la serie Ramallo (Argiudol vértico) y sus fases por erosión (INTA, 1973). En las áreas con pendiente los gradientes de: 0-0,5%; 0,5-1%; 1-2% ocupan una superficie del 22%; 35% y 34% respectivamente, mientras que los sectores de vaguada abarcan el 9% de la superficie total de esta microcuenca. El uso de la misma, durante el período de análisis, fue predominantemente agrícola con alta presencia de cultivos de verano (fundamentalmente soja, además de girasol y maíz), mientras que la ganadería ocupó solamente un 10% de la superficie total

Las mediciones pluviográficas (pluviógrafo a cangilones PG 9, Telemet Siap) y limnigráficas (limnógrafo-freatígrafo de lectura continua, modelo L.E. 203) se realizaron entre 1995 y 1998, escogiéndose para la calibración del modelo OCINE3 diez eventos de escurrimiento (Cuadro N° 1). Debido a que la forma de la microcuenca estudiada es bastante simple (Figura 1) y a que el uso y manejo de las tierras durante el período analizado fue bastante homogéneo, la estructura de la misma en el modelo se redujo a dos segmentos de cuenca y uno de cauce.

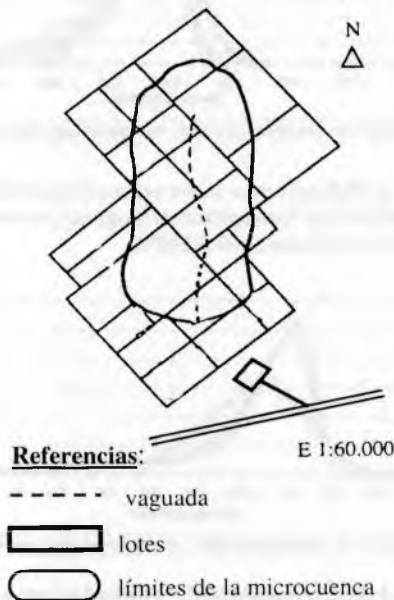


Figura 1. Esquema de la microcuenca bajo estudio.

Para evaluar el grado de ajuste de los hidrogramas reales y estimados se utilizaron los criterios de: superposición de hidrogramas y la utilización del coeficiente de eficiencia (Nash y Sutcliffe, 1970).

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2}$$

Siendo E: coeficiente de eficiencia; Q_i : caudal observado; \hat{Q}_i : caudal estimado; \bar{Q} : caudal observado medio, y N: intervalos de 30 minutos en el transcurso del hidrograma. Este coeficiente (E) puede variar entre $-\infty$ a +1, con una perfecta correspondencia en $E = 1$.

También se compararon los valores de CN utilizados al calibrar el modelo hidrológico OCINE3 con los obtenidos mediante el uso de la fórmula de cálculo de S (Haan y Schultze, 1987) ampliamente utilizada cuando se tienen pares de datos lluvia-escurrimiento.

$$S = 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1,25PQ)^{1/2}$$

Siendo S: retención potencial máxima (mm), P: lámina de lluvia caída (mm), Q: lámina de escurrimiento (mm). Estos valores de S fueron luego

Cuadro N° 1. Coeficientes de eficiencia surgidos de la aplicación de los modelos OCINE3 e Hidrograma Triangular a las tormentas analizadas.

Fecha	Precipitaciones (mm)	Modelo Triangular	Modelo Ocine
37/4/95	123	0,87	0,93
3/10/95	110	0,77	0,96
9/11/95	35	0,52	0,79
5/2/96	79	0,83	0,96
10/1/97	66	0,70	0,89
14/1/98	42	0,71	0,89
27/1/98	92	0,66	0,97
3/2/98	45	0,63	0,78
6/2/98	30	0,67	0,89
7/3/98	11	0,30	0,67

transformados en valores de CN, por la siguiente ecuación (Soil Conservation Service, 1975):

$$CN = 25400 (S + 254)^{-1}$$

Siendo CN: curva número y S: retención potencial máxima:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en el Cuadro N° 1, los coeficientes de eficiencia (Nash y Sutcliffe, 1970) logrados al utilizar los dos modelos en las distintas tormentas, muestran la superioridad del modelo OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) en la predicción de los distintos hidrogramas, respecto al modelo Hidrograma triangular (Kent, 1968; Schwab *et al.*, 1966)

Este coeficiente arrojó valores muy cercanos o superiores a 0,8 en casi todos los eventos simulados con el modelo OCINE3, mientras que lo mencionado sólo ocurrió en tres simulaciones hechas con el modelo Hidrograma triangular (7/4/95; 3/10/95; 5/2/96). Si bien no hay una absoluta coincidencia entre los distintos investigadores (James y Burgess, 1982; Refsgaard y Knudsen, 1996), Refsgaard y Knudsen (1996) mencionan el valor de 0,8 como el mínimo que debe alcanzar este coeficiente para aceptar la validez de los ajustes logrados por los distintos modelos hidrológicos.

La metodología del Hidrograma triangular asume un tiempo de concentración de la cuenca constante cuyo valor sirve para la generación de un triángulo base que luego es utilizado en la confección de los distintos hidrogramas. Este triángulo base permanece constante independientemente de las condiciones superficiales de la cuenca, otorgándole a esta metodología rigidez y no permitiéndole tomar en cuenta los cambios del ambiente. El modelo OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999), a través de la modificación de su parámetro rugosidad (n), simula mejor las condiciones superficiales de la cuenca y es por ello que el ajuste que logró con los hidrogramas reales siguió siendo alto aún con aquellas lluvias que presentaron láminas menores a los 70mm.

En las Figuras 2, 3 y 4 se pueden observar los hidrogramas reales y los estimados por los modelos OCINE3 e Hidrograma triangular, originados por tres tormentas de gran volumen, pero que produjeron caudales bastante diferentes a la salida de la micro-

cuenca estudiada. Dicha visualización confirma lo ya señalado respecto al Cuadro N° 1. También se puede observar que con la lluvia de mayor lámina (7/4/95) la diferencia entre los hidrogramas estimados ocurre fundamentalmente en el tramo descendente del caudal, perdurando dicha caída por más tiempo en la simulación hecha con el modelo OCINE3, coincidiendo esto con lo sucedido a cam-

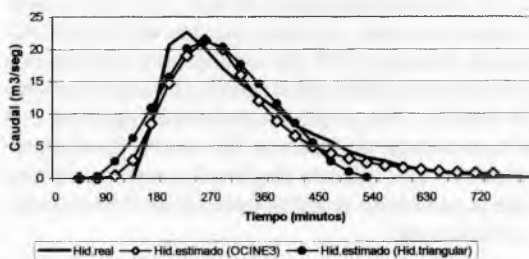


Figura 2. Hidrogramas real y estimados por los modelos OCINE3 e Hidrograma triangular, correspondientes a la tormenta del 7/4/95.

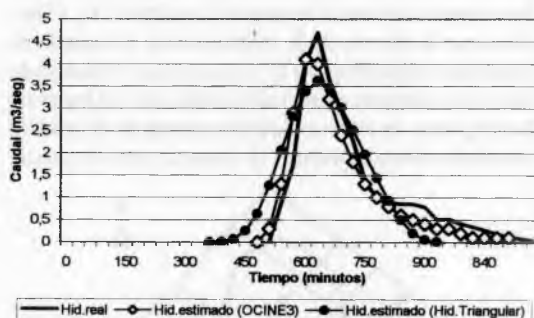


Figura 3. Hidrogramas real y estimados por los modelos OCINE3 e Hidrograma triangular, correspondientes a la tormenta del 3/10/95.

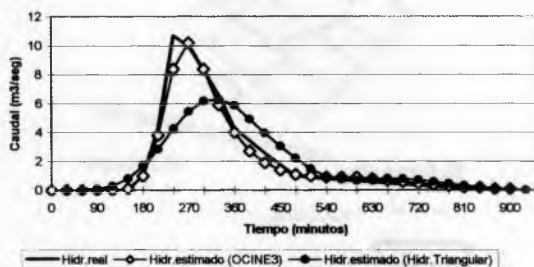


Figura 4. Hidrogramas real y estimados por los modelos OCINE3 e Hidrograma triangular, correspondientes a la tormenta del 27/1/958.

Cuadro N° 2. Valores de rugosidad (n de Manning) de toda la microcuenca para cada una de las tormentas analizadas.

Fecha de la tormenta	Rugosidad (n) ajustada por el modelo OCINE3
7/4/95	0,15
3/10/95	0,085
9/11/95	0,15
5/2/96	0,081
10/1/97	0,22
14/1/98	0,082
27/1/98	0,078
3/2/98	0,12
26/2/98	0,11
7/3/98	0,117

po (Figura 2). En la tormenta del 3/10/95 las diferencias se encuentra tanto al inicio como al final del escurrimiento (Figura 3), mientras que en la menor precipitación de las tres elegidas (27/1/98), tanto el tiempo al pico como el caudal pico estimados por el modelo Hidrograma triangular resultaron bastante distintos a lo evidenciado en la realidad y a lo simulado por el otro modelo (Figura 4).

En el Cuadro N° 2, se presentan los valores de n de Manning ajustados, que lograron los coeficientes de eficiencia detallados en el Cuadro N° 1.

Estos valores de rugosidad ajustados se encuentran dentro de los propuestos por Foster *et al.*, (1980) para tierras agrícolas de Estados Unidos, quienes señalan un rango para este coeficiente entre 0,06 y 0,130, dependiendo del estado, tipo y fenología del cultivo y de la cantidad de rastrojo superficial. Nuestros resultados (Cuadro N° 2) muestran una alta variabilidad inter e intranual del n de Manning, reflejando la influencia de las distintas condiciones climáticas, de cultivo y de manejo de los mismos sobre la rugosidad. Por ejemplo, analizando el período del 14/1/98 al 7/3/98, cuando toda la microcuenca estaba bajo el mismo uso (soja), se ve claramente la influencia del crecimiento del cultivo y de las malezas sobre dicho parámetro. También se observan diferencias al comparar estos resultados con el obtenido el año anterior (10/1/97), poniéndose nuevamente en evidencia las distintas condiciones climáticas y de manejo que sufrió el mismo cultivo entre estos dos años.

Entre el 3/10/95 y el 9/11/95 se visualiza un aumento significativo de los valores de rugosidad ajustados. En dicho período el lote donde se cierra la microcuenca (Figura 1) estaba sembrado con trigo evidenciando un distinto estado de desarrollo entre las mencionadas fechas (macollaje el 3/10/95, encañazón el 9/11/95), mientras que el resto de la microcuenca estaba en preparación para ser sembrada con soja. A través del análisis de esta situación se puede inferir que el uso en la parte inferior de la microcuenca gobernaría, independientemente de lo acontecido en el resto de la misma, el comportamiento de la salida de los escurrimientos de este ambiente.

De acuerdo a lo expuesto hasta aquí surge la necesidad de generar tablas de rugosidad con un alto grado de detalle, que reflejen en mejor medida la condición de campo (climática, cultivo y manejo del mismo) para la obtención de resultados más satisfactorios.

Analizando los valores de curva número ajustados con el modelo OCINE3 (Gioria *et al.*, 1986; Zimmermann, 1999) para toda la cuenca y para cada uno de los eventos estudiados (Figura 5), se observó que los mismos correlacionaron en forma significativa con su estimación a partir de la fórmula de Haan y Schultze (1987). Santanotoglia *et al.*, (1996), observaron falta de coincidencia entre los valores de CN surgidos de las tablas del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Soil Conservation Service, 1975) y los estimados aplicando dicha fórmula. El uso del modelo OCINE3 nos lleva a la misma conclusión, ya que los valores de CN ajustados por el mismo difirieron en forma significativa con los sugeridos por las tablas del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos, lo que concuerda con lo señalado por Massobrio *et al.*, (1998), respecto a la recomendación

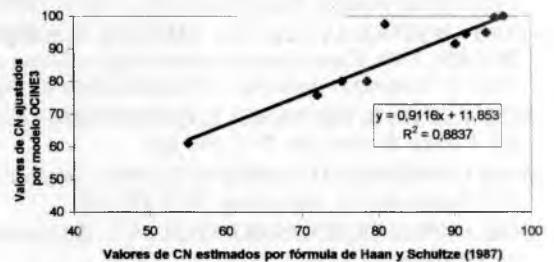


Figura 5. Análisis de regresión entre valores de OCINE3 y los estimados por la fórmula de Haan y Schultze (1987).

de generar tablas de CN ajustadas a las condiciones locales.

CONCLUSIONES

- El modelo OCINE3 resultó ser más eficiente en la estimación de los hidrogramas respecto al modelo Hidrograma triangular, dada la posibilidad de modificación del parámetro rugosidad (n)

- Los valores de rugosidad (n) ajustados por el modelo OCINE3 mostraron ser altamente sensibles a las condiciones climáticas, a la fenología de los cultivos así como al manejo de los mismos.

- Se observó una correlación significativa entre los valores de CN ajustados con el modelo OCINE3 y aquellos calculados mediante la fórmula de Haan y Schultze (1987)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los proyectos UBACYT TG037 y G058 (Universidad de Buenos Aires)

Se agradece la colaboración del Dr. Erik Zimmermann por el asesoramiento suministrado en la utilización del modelo OCINE3.

BIBLIOGRAFÍA

- CASTIGLIONI M.G.; M.J.MASSOBRIO; C.I. CHAGAS y O.J. SANTANATOGLIA. 1999. Evaluación de un modelo hidrológico en una microcuenca de pampa ondulada, Republica Argentina. *Revista de Investigación Agraria Producción y Protección vegetales*. 14(3): España.
- CHAGAS C.I.; O.J. SANTANATOGLIA; M.J. MASSOBRIO; M.G. CASTIGLIONI y A. BUJÁN. 1998. Influencia de las lluvias previas sobre el comportamiento hidrológico de una microcuenca de Pampa Ondulada. En: Balbuena R. H. Bebez S H, Jorajuria D (Ed.). *Avances en el Manejo del Suelo y Agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. pp 314-322.
- FOSTER G.R.; L.J.LANE, and J.D.NOWLIN. 1980. A model to estimate sediment yield from field-sized areas: Selection of parameter values. In Knisel, W., ed., *CREAMS, A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion From Agricultural Management Systems*. U.S. Dep. Agric. Cons. Res. Rep. 26, vol. 2, ch. 2, pp 193-281.
- GIORIA R.; C. PAOLI; E. CEIRANO; J. MORIN y L. LENZI. 1986. Modelo OCINE de simulación de crecidas y su aplicación. Publicación FICH-UNL N°027/86; Proyecto 03-02; UNL-SECYT.
- HAAN C.T. and R.E. SCHULTZE. 1987. Return period flow prediction with uncertain parameters. *Transactions of the ASAE* 30(3):665-669.
- INTA. 1973. *Carta de Suelos de la República Argentina*, Hoja 3360-33 Pérez Millán, E 1: 50000, 45 pp.
- KENT K.M. 1968. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. USDA SCS. TR 149.
- JAMES L.D. and S.J. BURGESS. 1982. Selection, calibration and testing of hydrologic models. In *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*, eds. C.T. Haan, H.P. Johnson and D.L. Brakensiek. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- MASSOBRIO M.J.; M.G.CASTIGLIONI; C.I. CHAGAS y O..J. SANTANATOGLIA. 1998. Análisis de sensibilidad de un modelo predictivo distributivo de producción de sedimentos y nutrientes asociados (AGNPS), en una microcuenca del Arroyo del Tala. *Revista TERRA* 16(4):371-377.México.
- NASH J.E. and J.V. SUTCLIFFE. 1970. River flow forecasting through conceptual models, part I: A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10 (3): 282-290.
- REFSGAARD J.C. and J KNUDSEN. 1996. Operational validation and intercomparison of different types of hydrological models. *Water Resour.Res.*, 32(7), 2189-2202
- SANTANATOGLIA O.J.; C.I. CHAGAS; E.A.RIENZI; M.G. CASTIGLIONI; M.J. MASSOBRIO y A. BUJÁN. 1996. Comportamiento hidrológico de una microcuenca en Pampa Ondulada en condiciones de suelo seco. *IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural*. II 461-464.
- SCHWAB G.; R. FREVERT; T. EDMINSTER y K.BARNES. 1966. *Soil and water conservation engineering*. Ed. J.Wiley & sons, Inc. N Y, 683 pp.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. 1968. A method for estimating volume and rate of runoff in small watershed. U.S Department of Agriculture. SCS-TP-149.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. 1975. *Engineering field manual for conservation practices*. U.S.Department of Agriculture.
- YOUNG R. A.; C.A.ONSTAD; D.D. BOSCH and W.P. ANDERSON. 1989. AGNPS: A non point source pollution model for evaluating agricultural watersheds. *J. Soil and Water Cons.* 44:168-172.
- ZIMMERMANNE. 1999. Adaptación de tecnologías existentes a los sistemas hidrológicos de llanura: modificación y aplicación del modelo de onda cinemática. *Cuadernos del Curiham* 5(2):15-35.