



## Simulación espacio - temporal del escurrimiento directo en la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande

Gaspari, Fernanda Julia<sup>1</sup> ✉ - Senisterra, Gabriela Elba<sup>1</sup> - Rodríguez Vagaría, Alfonso<sup>1</sup>  
Delgado, María Isabel<sup>1-2</sup> - Besteiro, Sebastián<sup>2</sup>

Recibido: 08 de abril de 2011 • Aceptado: 05 de junio de 2011

### Resumen

*La estimación del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal permite la simulación espacio-temporal. El objetivo del trabajo fue realizar la simulación espacio-temporal del escurrimiento directo a partir de la tendencia de cambios de uso del suelo en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, sudoeste bonaerense, Argentina. Se utilizó el método del número de curva (NC) para transformar la precipitación total en precipitación efectiva, procesando imágenes LANDSAT para la zonificación de la vegetación y uso del suelo, mediante el software Idrisi Andes®. El análisis espacio-temporal de cambio de uso generó nuevos NC. Los resultados de la zonificación temporal de uso del suelo se exponen a nivel diagnóstico. La variación del uso del suelo incidió directamente sobre el escurrimiento emitido, en consecuencia también cambió la cantidad de agua infiltrada y las pérdidas por abstracciones, y un aumento del coeficiente de escurrimiento.*

**Palabras clave:** *Escurrecimiento directo - Número de curva - Sistema de Información Geográfica.*

### Abstract

*Superficial runoff estimation of a particular pluvial event, taking into account the particular soil and land use characteristics, allows a spatial-temporal simulation. The aim of this work was to simulate the direct runoff, considering the land use tendency of change, in the basin of the Pillahuinco Grande's Creek, SouthWest of Buenos Aires, Argentina. The Curve Number (CN) method was used to transform the total precipitation in effective precipitation, by processing LANDSAT images with the software Idrisi Andes®, for the distribution of vegetation and land use. The spatial-temporal analysis of the land use changes generated new values of CN. The land use variation had a direct impact over the runoff, changing the quantity of infiltrated water and the loss by abstraction, and also an increment of the runoff coefficient.*

**Keywords:** *Direct runoff - Curve Number - Geographic Information System.*

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) Av. 60 y 119  
La Plata, Buenos Aires, Argentina.

✉ fgaspari@agro.unlp.edu.ar

<sup>2</sup> Becario de Postgrado de CONICET, CCT La Plata.

## INTRODUCCIÓN

El conocimiento de los factores que intervienen en los procesos hidrológicos es muy importante debido a que es, en las cuencas hidrográficas, donde se genera el agua necesaria para diferentes usos del suelo o consumo urbano, y por tanto la calidad y la cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico (Chow et al. 1994).

El agua de las precipitaciones que no alcanza a infiltrar en el suelo, drena o escurre sobre la superficie del mismo, generando escurrimiento superficial fluyendo hacia los cauces. Este caudal puede ocasionar picos de crecida originando excesos hídricos con potenciales pérdidas de productividad. En esta instancia del ciclo hidrológico se debe intervenir activamente mediante la prescripción y aplicación de diferentes prácticas de conservación de suelos, que controlen el agua para evitar sus efectos negativos y que ocasione graves daños (Gaspari et al. 2007).

La infiltración y el escurrimiento dependen de las condiciones de la superficie del suelo, del contenido de agua y de la conductividad hidráulica del mismo (Villar Mir y Ferrer Alegre, 2005). Estos componentes del ciclo hidrológico pueden ser modelizados según una tendencia de cambio espacio - temporal expresando el carácter dinámico de la información incluida en el sistema (Gaspari et al., 2009).

Un modelo hidrológico que permite transformar la precipitación total en precipitación efectiva (escurrimiento superficial) es el método del número de curva (NC). La estructura y textura del suelo y la cobertura vegetal junto a los registros pluviográficos, conforman los datos básicos para el análisis hidrológico espacio-temporal, en pequeñas cuencas hidrográficas (Kent, 1968).

El método del NC constituye una herramienta que permite realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables, y además, fácilmente incorporable a una base de datos georreferenciados.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una valiosa herramienta para la modelización hidrológica, permitiendo realizar operaciones de manera automática. Existen en la Argentina trabajos que utilizan esta metodología, como el realizado por Pusineri et al. (2002), en un sector de la llanura pampeana, desarrollando un procedimiento para determinar el parámetro NC, en forma distribuida a nivel regional usando técnicas de Teledetección y SIG. Otra aplicación es utilizar el modelo Lthia Gis, que permite el procesamiento cartográfico geoespacial bajo entorno SIG para el cálculo a nivel píxel de la lámina de escorrentía. Su empleo requiere de cartografía de suelos y vegetación y usos del suelo para obtener un mapa de número de curva a partir del cual se determina la lámina de escorrentía (Engel et al, 2005).

Para analizar el escurrimiento superficial desde el punto de vista de los cambios que se producen sobre la cobertura vegetal por acción antrópica y la representación de su distribución espacial, se tomó como área modal de estudio, la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande, en la región serrana del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El clima de la región es templado, sub-húmedo, con temperaturas moderadas y alta variabilidad. La región presenta índices de aridez elevados y prácticamente nulo exceso de agua, con deficiencia en la época estival, que cuando no coincide con los momentos de mayores requerimientos de los cultivos no pone en riesgo las

cosechas (Spinelli Zinni, 1970). Particularmente, la cuenca hidrográfica del arroyo Pillahuinco Grande se asienta sobre el cordón serrano de Ventania, el cual presenta una topografía abrupta, que durante las tormentas genera actividad torrencial, originando caudales de avenida con escurrimientos instantáneos que pueden provocar pérdida de suelo superficial e inundaciones, a nivel local.

Fitogeográficamente se encuentra en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral. La fisonomía dominante en la región es el pastizal cuyas comunidades están dominadas por arbustos, lo que estaría indicando un pastoreo excesivo y otras áreas con suelos erosionados principalmente en forma natural. Las áreas ubicadas en barrancas bajas, muy húmedas de los bordes de cursos de agua serranos, a veces formando una franja marginal estrecha, paralela al cauce sobre suelos en general profundos, húmedos ligados a vertientes en concavidades y pendientes serranas suaves (3 a 11%), y abanicos aluviales (Frangi y Bottino, 1994). El sistema de producción actual es esencialmente mixto, basado en una ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada aprovechando la cobertura natural para la alimentación del ganado durante el periodo invernal.

Según Spinelli Zinni, (1970), en la región, se reconocen 4 ambientes geológicos, denominados: serrano, intraserrano, periserrano y de llanura. En el ambiente serrano, el loess postpampeano, puede estar apoyado directamente sobre escasas rocas antiguas frescas. El ambiente intraserrano se extiende sobre depresiones y valles longitudinales y transversales. Los materiales que rellenan estas depresiones son predominantemente gruesos y de tipo coluvial en contacto con las sierras, de carácter loessico sobre el llano general y fluvio lacustres, en parte recubiertos por material edáfico retransportado, hacia los ejes de los cursos. El ambiente periserrano se desarrolla adosado a la sierra y la bordea a manera de una falda, con depósitos eólicos lujanenses, en un plano inclinado, apoyado contra las sierras y según la pendiente decreciendo hasta la llanura. El ambiente de llanura se extiende externamente al ambiente periserrano y se caracteriza porque la cobertura loessica va perdiendo homogeneidad al tiempo que se torna más abundante la presencia de tosca, destacándose distintos sectores: (a) Septentrional: predomina la llanura extendida, homogénea, cuyos cursos fluviales alcanzan una inflexión apenas perceptible, (b) De derrames: en áreas con riqueza en carbonato de calcio disuelto, el cual, por evaporación se depositó bajo la forma de una plancha calcárea, (c) Sudoriental: representado por una capa de sedimentos eólicos, espesa y abundante, al pie de las sierras.

El objetivo del trabajo fue realizar la simulación espacio-temporal del escurrimiento superficial, a partir de la tendencia de cambios de uso del suelo en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El método del número de curva (NC), desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cobertura vegetal (SCS, 1964; Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990; López Cadenas del Llano, 1998). El método expresa el escurrimiento directo (Pe) en respuesta ante una precipitación (P). Este modelo asume que un complejo suelo-vegetación se comporta de manera similar frente a P. A menor NC, menor es el escurrimiento.

El método NC utiliza datos de precipitación y características de los suelos donde no existen aforos de corrientes o datos hidrométricos (SCS, 1964).

Los números de curva en este trabajo se corresponden con la condición II de humedad antecedente, representando la humedad media del suelo.

Se simuló la tendencia de cambio de uso del suelo a partir de la situación actual en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina (38° LS y 61° LW), y su influencia directa sobre el escurrimiento superficial (Figura 1). Para ello, se utilizó un modelo cartográfico georreferenciado en el sistema de coordenadas planas Gauss Krügger, Faja 5 Argentina con unidades de longitud expresadas en metros. A partir de la misma se obtuvo una superficie total de la cuenca de 109.350 has.

La zonificación de la vegetación y uso del suelo actual (Situación a) en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande fue generada por el procesamiento de imágenes LANDSAT TM con una clasificación supervisada por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Andes® (Eastman, 2006). Para ello se tomaron y analizaron datos a campo, encuestas a productores y estudios antecedentes (Gaspari et al., 2007) y se contempló la clasificación de Spinelli Zinni (1970).

La simulación temporal se estableció con una zonificación proyectada de la cobertura vegetal a partir del uso actual del suelo (situación a), y dos períodos consecutivos (situación b, a los 5 años; y c, a los 10 años), donde se proyecta una condición de cobertura vegetal en degradación debido a la ausencia de medidas de manejo y conservación de suelos.

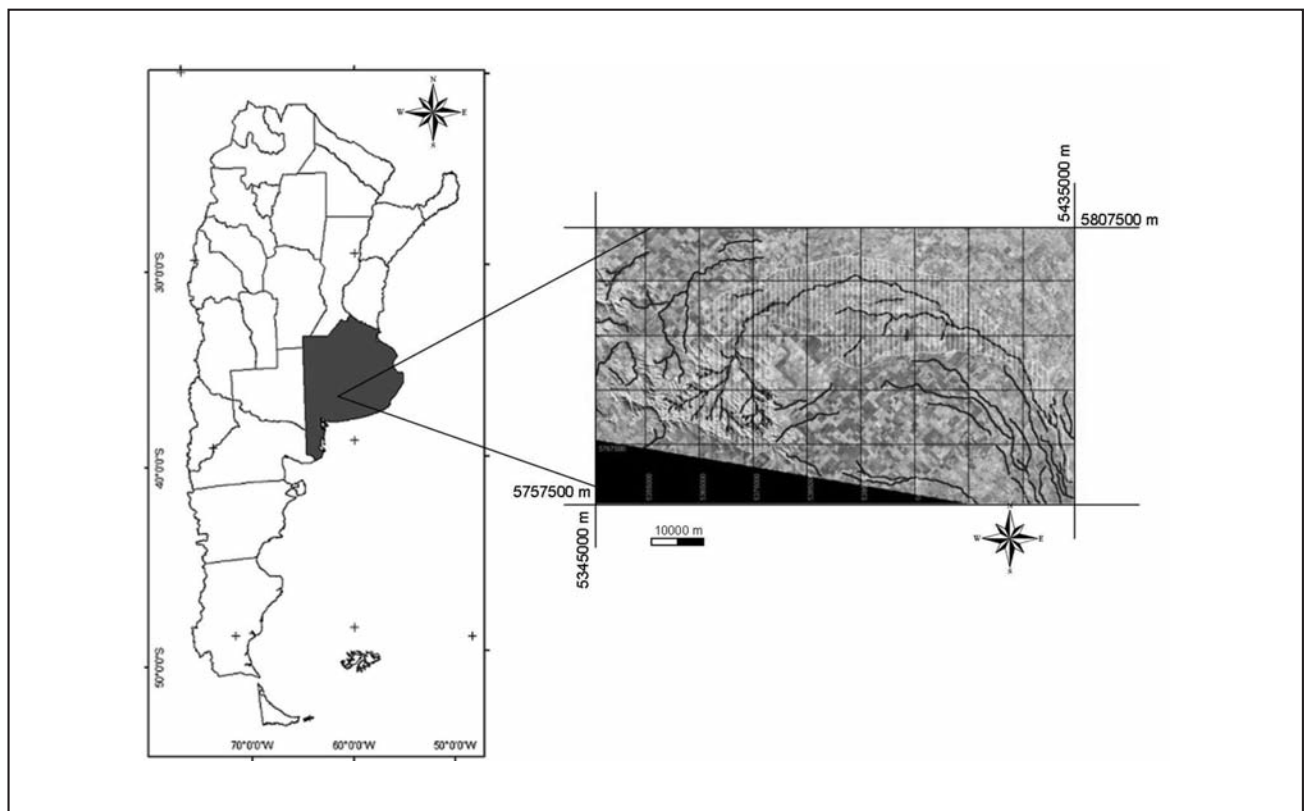


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande.

Para la definición del GH de suelos se utilizó la clase textural y el diagrama triangular con las curvas de conductividad hidráulica a saturación según la clasificación de USDA (United States Departamento of Agricultura) (López Cadenas del Llano, 1998). Posteriormente, con el procesamiento de los mapas de suelos y geomorfología, se generó el mapa de GH.

La determinación del NC actual y potencial se realizó con el uso del Macro Modeler GeoQ (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010) del SIG Idrisi Andes®, representando cartográficamente diferentes situaciones de escurrimiento superficial.

A partir de la zonificación del NC se definió el coeficiente de escurrimiento ponderado para la cuenca, considerando una tormenta modal representativa de Coronel Pringles (Figura 2).

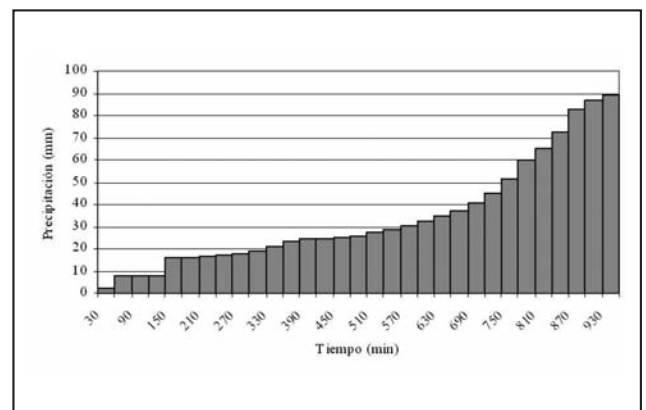


Figura 2. Curva de masa de lluvia modal de Coronel Pringles.

El escurrimiento directo (Pe) se determinó con la metodología del NC, cuantificando las pérdidas iniciales (Ia) y la infiltración (F) (Kent, 1968; López Cadenas del Llano, 1998).

El análisis se complementó con la simulación del grado de ocupación en superficie de cada NC en los períodos estudiados

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis espacio temporal de cambio de uso del suelo, por medio del procesamiento de imágenes con Sistema de Información Geográfica, generó la zonificación actual de la cobertura vegetal y uso del suelo (Figura 3 a; Tabla 1). El 65,7% de la cuenca presenta un paisaje de llanura, con uso agrícola-ganadero. La actividad agrícola-ganadera denominada en derrame, ocupa un 48,7% de la superficie basada en ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada, aprovechando la cobertura natural para su alimentación. Además se identificaron áreas con uso agrícola predominante (agricultura), donde se practican técnicas convencionales y de siembra directa (17% de ocupación).

Sobre los faldeos de la sierra, en relieves de baja pendiente, se realiza agricultura extraserrana, ocupando el 19 % de la superficie de la cuenca. La actividad forestal es complementaria

a la actividad agropecuaria, en forma de cortinas rompevientos, montes de reparo y sombra.

El área serrana (14 % de la superficie de la cuenca) está cubierta por vegetación de pastos serranos y pequeños bosques de vegetación arbustiva densa, con buenas condiciones de humedad.

Tabla 1. Caracterización de la cobertura vegetal y uso del suelo.

Tipo de cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie ocupada (hectáreas)	Porcentaje de ocupación en la cuenca (%)
Pastizal serrano	1.562,5	13,95
Agricultura extraserrana	20.827,8	19,03
Agricultura	18.605,9	17,00
Agrícola ganadero en derrame	53.299,5	48,70
Urbanización	1.249,8	1,14
Lagunas	190,9	0,17

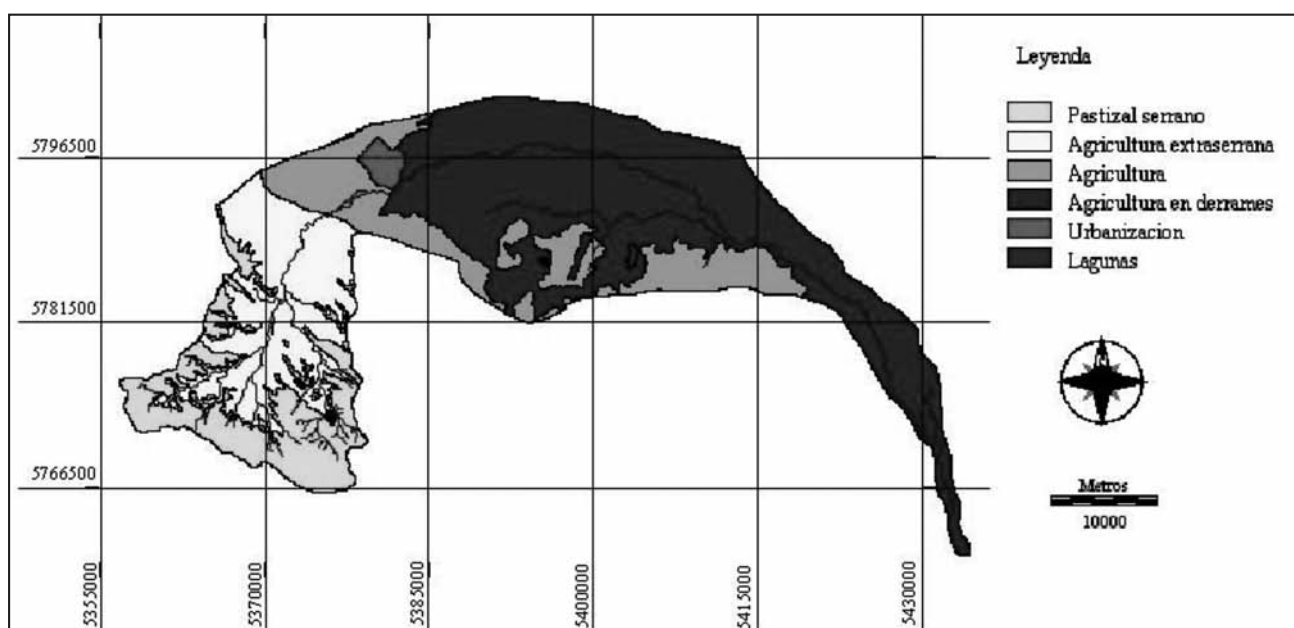


Figura 3a. Zonificación de la cobertura vegetal.

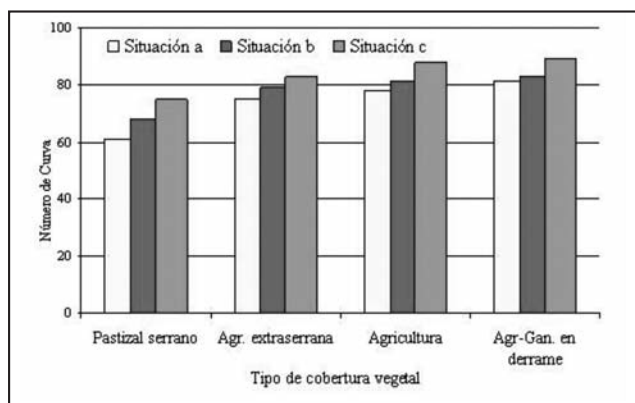


Figura 3b. Valores de NC para los períodos considerados.

Cabe mencionar que las clases urbanización y lagunas también corresponden a paisajes de llanura y no han sufrido modificaciones en el análisis temporal.

La simulación espacio temporal de los cambios de uso del suelo se exponen a nivel de diagnóstico. Los mismos generan nuevos valores de NC y coeficiente de escurrimiento (CE). Esta zonificación de la cobertura vegetal a nivel temporal indicó aumentos del valor de NC, como se expresa en la Figura 3 b. El pastizal serrano se simuló con una sobreexplotación ganadera, generando una degradación del suelo, aumentando el NC. En relación a la los tres tipos de agricultura practicadas en la zona, presentaron un NC creciente en el tiempo, debido a la ausencia de implementación de prácticas conservacionistas del suelos.

La zonificación espacio temporal del NC en la cuenca hidrográfica se expone en la Figura 4 a, b, c, indicando la situación a, b y c, respectivamente.



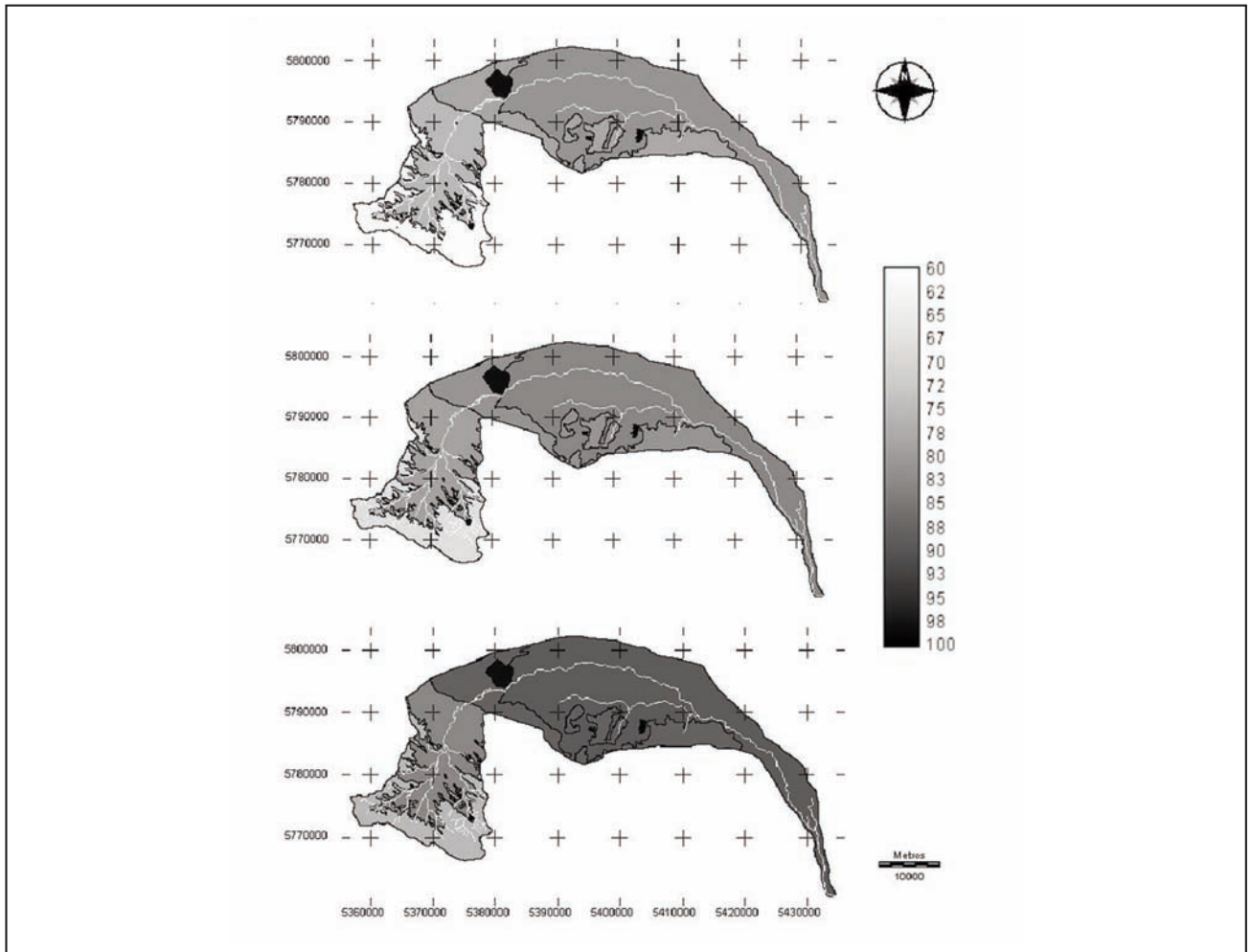


Figura 4. Zonificación de la tendencia de cambio del NC en la Cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande.

En la Figura 5 se observan los resultados de la aplicación del método de NC para las tres situaciones temporales de estudio (a, b, c), identificando las tres variables cuantificadas (Pe, Ia, F).

El análisis de los resultados permite inferir que la variación del uso del suelo incide directamente sobre la cantidad de escurrimiento emitido, la infiltración y las pérdidas por abstracciones. Esta relación expresa un aumento temporal del coeficiente de escurrimiento alcanzando los valores de 39, 45 y 53 % para los períodos a, b y c respectivamente.

En los últimos años la agricultura parece expandirse, obediendo a factores tecnológicos, económicos y climáticos. Esta situación que en muchos casos significa el uso de los suelos por encima de su aptitud productiva y en detrimento de su potencial de producción y del suelo puede conducir a un grave deterioro de los mismos y sin duda constituye uno de los problemas prioritarios a enfrentar (Gaspari y Rodríguez Vagaría, 2006).

De esta manera se plantea la necesidad de un manejo adecuado de los recursos ambientales, a fin de evitar la degradación ambiental en la cuenca. Las actuaciones deben centrarse en la utilización racional de las áreas de cultivo, que cubren las zonas de menores pendientes y suelos más fértiles, y el establecimiento de una cubierta vegetal protectora adecuada en el resto del territorio. Esta cobertura del suelo puede adquirir distintas formas: praderas, áreas de matorral, zonas forestadas. Las mismas pueden contemplar prácticas conservacionistas tendientes a evitar la degradación del ambiente de llanura y el aprovechamiento sustentable del recurso hídrico.

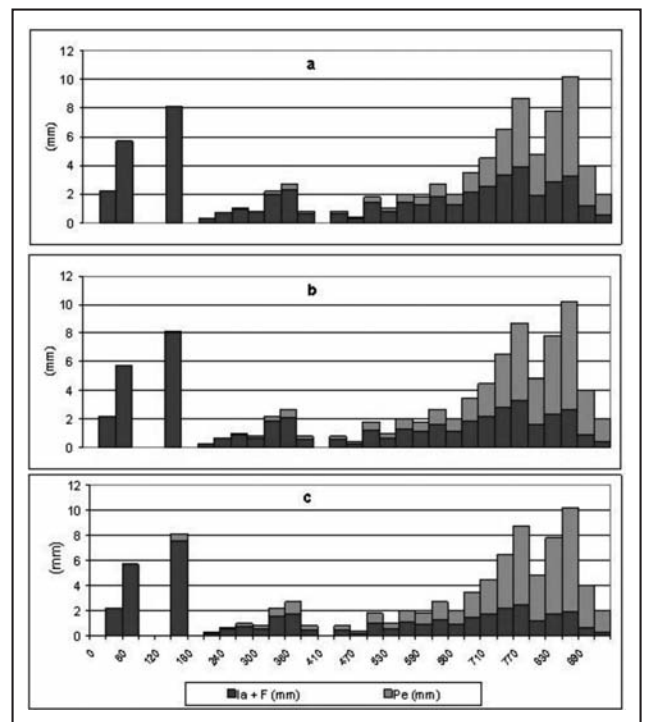


Figura 5. Variables del método de abstracciones de precipitación del SCS.

## CONCLUSIONES

El cambio temporal del uso del suelo incidió directamente sobre la disponibilidad de agua superficial y demostró una falta potencial del manejo del suelo y del recurso hídrico.

En la actualidad, en la cuenca del arroyo Pillahuinco Grande el uso del suelo provoca procesos de degradación sobre el complejo suelo-agua-vegetación debido a la falta de prácticas conservacionistas. La simulación realizada indicó el aumento

del NC y consecuentemente del escurrimiento directo potencial, demostrando la necesidad de llevar adelante medidas que atiendan a un ordenamiento territorial, para el desarrollo sustentable en la cuenca.

En la cuenca, los estudios de modelización hidrológica son incipientes. Este trabajo continúa con el aporte de conocimientos básicos hidrológicos - geoespaciales para la zona en estudio.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- CHOW, V.T; MAIDMENT, D. Y L. MAYS. 1994.  
Hidrología Aplicada.  
*Editorial Mc Graw Hill. 584 pp. Colombia.*
- FRANGI, J. Y O. BOTTINO. 1994.  
Comunidades de Sierra de La Ventana, Bs. As., Arg.  
*Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata. Tomo 71(1), p 93-133. Argentina*
- GASPARI, F.J. Y A.M.RODRÍGUEZ VAGARÍA. 2006.  
Zonificación Ambiental de la Cuenca Pillahuinco Grande.  
*XI Reunión Argentina de Agrometeorología. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Versión CD. p 9-10. Argentina.*
- GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E. Y R.M. MARLATS. 2007.  
Relación precipitación-escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana.  
*Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.C. Tomo XXXIX. N°1. p 21-28. Argentina.*
- GASPARI, F.J.; SENISTERRA, G.E.; DELGADO, M.I.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. Y S. BESTEIRO. 2009.  
Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.  
*Primera Edición. La Plata. 321 pp. Argentina.*
- EASTMAN, J.R. 2006.  
User Manual Idrisi Andes. Clark University. Web: <http://www.clarklabs.org>.
- ENGEL, B, HARBOR, J, MUTHUKRISHNAN,S, PANDEY,S, KYOUNG, J.L, THELLER,L. 2005. L-THIA Nps.  
User Manual.  
*Purdue University, United States Environmental Protection Agency. 46 pp. United States.*
- KENT, K.M. 1968.  
A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds.  
*U.S. Departamen of Agriculture. Soil Conservation Service. SCS-TP-149. 63 pp. United States.*
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998.  
Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión.  
*Ed. TRAGSA. 945 pp España.*
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A.; F. LÓPEZ UNZU. 1990.  
La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación.  
*Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 308 pp. España.*
- PUSINERI, G.M.B, D'ELIA, M.P., PEDRAZA, R.A. Y MARANO, R.P. 2002.  
Uso de los sistemas de información geográfica y teledetección para la estimación del parámetro número de curva.  
*En: CD y Memorias del Congreso Nacional del Agua. Villa Carloz Paz, Córdoba, Argentina.*
- RODRÍGUEZ VAGARÍA, A. Y F. GASPARI, 2010.  
GeoQ: herramienta para la determinación del número de curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®.  
*GeoFocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. N° 10, p.11-26. España.*
- SOIL CONSERVATION SERVICE (SCS). 1964.  
Hydrology. Part I. Wathershed Olanning.  
*S.C.S. National Engineering Handbook. Section 4. U.S. Department of Agriculture. Washington DC. 33 pp. United States.*
- SPINELLI ZINNI, F. 1970.  
Estudio de situación del Partido de Coronel Pringles.  
*INTA. Tomo III. 92 pp Argentina.*
- VILLAR MIR, J. Y F. FERRER ALEGRE, 2005.  
Agua y Agronomía. Técnicas de medida y control del agua en el suelo. Capítulo I  
*Mundi-Prensa. p 23-86. España*