

USO DEL SUELO Y GRADO DE COBERTURA VEGETAL EN UNA CUENCA DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

María G. Ares¹, Marcelo R. Varni², Ilda Entraigas² y Martín Marzoratti¹

(1) Comisión de Investigaciones Científicas de la Prov. de Buenos Aires (gares@faa.unicen.edu.ar)

(2) Instituto de Hidrología de Llanuras, CC 44, 7300 Azul, Argentina (varni@faa.unicen.edu.ar)

RESUMEN

El uso del suelo y el grado de cobertura vegetal son parámetros importantes para estimar la potencialidad de escurrimiento superficial y erosión en una cuenca, y además para evaluar el desarrollo de cultivos, producción, etc. En este trabajo se evalúa la variación del uso del suelo y de la cobertura vegetal porcentual a lo largo de un año (abril de 2005 hasta marzo de 2006) en una cuenca agrícola ganadera del centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Este ciclo anual, mientras no se produzcan modificaciones de estructura productiva de la zona, puede ser válido para muchos años más. Para lograr el objetivo buscado, se recurre a técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales y de sistemas de información geográfica. Así se determina el uso del suelo por medio de clasificación no supervisada de las imágenes. A cada uso luego se le asigna su cobertura porcentual estimada de manera conjunta según mediciones a campo y de acuerdo al estado fenológico, si se trata de cultivos. Se obtuvieron 12 categorías de uso a lo largo del año, a las que se agregan lagunas, afloramientos rocosos y montes. Los resultados muestran menores grados de cobertura en invierno, y presentan un mínimo del 66 % en septiembre, para luego crecer hasta alcanzar un máximo del 92 % en febrero y marzo, en el apogeo de los cultivos de soja y maíz.

Palabras clave: Cobertura vegetal, Uso del suelo, Teledetección

ABSTRACT

The agricultural land use and the degree of vegetal cover are important parameters to consider the potentiality of runoff and erosion in a basin and, in addition, to evaluate the development of crops, production, etc. In this work the variation of the land use and the vegetal cover throughout a year (April of 2005 until March of 2006) in a cattle agricultural river basin of the center of the Buenos Aires province, Argentina, is evaluated. This annual cycle, while modifications of productive structure of the zone do not take place, can be valid for many years. In order to obtain the desired objective, techniques of digital processing of satellite images and GIS are used. Thus the land use is determined by means of nonsupervised classification of the images. Then, to each use a percentage of cover is assigned according to field measurements and to the phenologic state, in the case of crops. 12 land use categories throughout the year are obtained, to which lagoons, rock outcrops and forest are added. The results show minor degrees of cover in winter, with a minimum of 66 % in September, and then grow until to reach a maximum of 92 % in February and March, in the apogee of the cultures of soybean and maize.

Keywords: Vegetal cover, Land use, Remote sensing

INTRODUCCIÓN

Los efectos de las inundaciones en la ciudad de Azul han sido de gran importancia, y su mayor expresión fue la inundación del año 1980. Desde entonces, la ciudad ha sufrido recurrentes desbordes, con frecuencia creciente. También han sido importantes los efectos de la erosión hídrica en la zona de mayores pendientes de la cuenca, ubicada en las Sierras del Sistema de Tandilia.

El uso de la tierra tiene influencia directa sobre muchos aspectos ambientales, tales como escurrimiento y erosión (Walling, 1999; Lu et al., 2003), calidad del agua de ríos (Arheimer y Liden, 2000; Ahearn et al., 2005), posibles modificaciones al ciclo del fósforo (McDowell et al., 2002), etc.

La vegetación es reconocida como un factor eficiente para prevenir la erosión, y es utilizada como una medida importante para la conservación del suelo y del agua (Pan y Shangguan, 2006). El follaje de los cultivos y el mantillo mantienen el potencial de infiltración impidiendo el sellado de la superficie del suelo producido por el impacto de las gotas de lluvia. La intercepción por el follaje retrasa el período inicial de escurrimiento. Asimismo, la vegetación y sus residuos constituyen numerosas barreras para el flujo del agua sobre la superficie del suelo: la rugosidad se incrementa y disminuye la velocidad de movimiento del agua, aumenta el tiempo disponible para la infiltración, lo que resulta en un aumento del tiempo de concentración y en una reducción del pico del hidrograma (USDA SCS, 1985). Por lo tanto, para calibrar modelos de predicción de escurrimiento y erosión, el conocimiento de la variación espacial y temporal de la cobertura vegetal es de fundamental importancia (Mishra y Singh, 2003; Toy et al., 2002).

Es fundamental definir cobertura y uso del suelo, ya que existen varias clasificaciones posibles. Se entiende por tipo de cobertura del suelo a la cobertura biofísica sobre la superficie del terreno (Di Gregorio y Jansen, 2005). Pero, en este trabajo se considera la cobertura desde el punto de vista del grado de cobertura del suelo refiriéndonos a la cobertura biofísica medida como porcentaje del área total. En el sentido más estricto, esto se limitaría a la vegetación y a estructuras creadas por el hombre. Por lo tanto, áreas donde la superficie consiste en roca o suelo desnudo son *terreno* en sí y no *cobertura del terreno*. Sin embargo, en la práctica, la comunidad científica los incluye generalmente como cobertura del terreno. Se hace una consideración análoga respecto a los cuer-

pos de agua. Por otra parte, el uso de la tierra se refiere a las actividades y modificaciones que el hombre realiza en cierto tipo de cobertura del suelo para producirlo, mantenerlo o modificarlo (Di Gregorio y Jansen, 2005). Esta definición de uso de la tierra establece un vínculo directo entre el tipo de cobertura del suelo y las acciones del hombre en este ambiente.

El objetivo de este trabajo es evaluar la variación del uso del suelo y del grado de cobertura vegetal a lo largo de un año mediante el análisis y clasificación de imágenes del satélite Sac-C en la cuenca del arroyo Santa Catalina, afluente del arroyo del Azul. Para ello, en primer lugar se determinan los diferentes usos del suelo mediante la utilización de imágenes satelitales. Estos usos se verifican en visitas a campo, pero además, con las observaciones realizadas en dichas visitas y de acuerdo al estado fenológico de los cultivos (usos) se les asigna para la fecha de cada imagen un grado porcentual de cobertura del terreno.

La cuenca tiene una superficie de 12295 ha y se encuentra dentro de la cuenca superior del arroyo del Azul, ubicada en el centro de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). La pendiente media del terreno de esta última es del 5 % y decrece hasta el 0,8 % en la zona norte de la cuenca (Sala et al., 1987). El arroyo Santa Catalina tiene sus nacientes en zona serrana, pero luego se desarrolla en la zona pedemontana para finalmente volcar sus aguas en el arroyo del Azul.

METODOLOGÍA

Los mapas de uso del suelo se realizan en este caso mediante clasificación digital de imágenes del satélite Sac-C, ya que se considera que tiene resoluciones espacial, temporal y espectral adecuadas para este tipo de estudio. La resolución espacial se refiere al objeto más pequeño que es posible distinguir en una imagen. En este caso es de 175 m, apropiada para conocer las actividades agropecuarias (www.conae.gov.ar). La resolución temporal indica la periodicidad con la que potencialmente pueden adquirirse imágenes del área bajo análisis. Se considera la posibilidad potencial dado que algunas imágenes pueden estar afectadas por la presencia de nubes. Durante el período de análisis el período de revisita fue en principio de 16 días, y luego, desde el 1 de agosto de 2005, de 9 días, lo que aumentó la disponibilidad de imágenes. Finalmente, la resolución espectral está referida al número y ancho de bandas espectrales que puede discriminar el sensor. La cámara MMRS del satélite



Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo Santa Catalina en a cuenca superior del arroyo del Azul

Sac-C detecta la radiación proveniente de la superficie de la Tierra en cinco bandas del espectro electromagnético, especialmente para conocer el uso de la tierra. En este trabajo, el uso del suelo en la zona de estudio está asociado fundamentalmente a las actividades agrícolas y ganaderas (cultivos, pasturas naturales e implantadas, rastrojos, suelo desnudo, montes, agua, etc). Las bandas del visible, el infrarrojo cercano y medio, contenidas en la misión SAC-C parecen suficientes para discriminar los usos mencionados.

El método de clasificación utilizado es de clasificación no supervisada. Este proceso consiste en una serie de operaciones numéricas que realiza el software en las que busca el agrupamiento natural de los píxeles por su comportamiento espectral homogéneo (Jensen, 1996). Dichos agrupamientos se suponen en principio vinculados a distintos usos de la tierra. Una vez que los datos fueron agrupados o clasificados, el analista a posteriori asigna esas clases naturales o espectrales a las clases de información de interés (Jensen, 1996; Chuvieco, 2002), en este caso, a los usos del suelo.

El procedimiento de agrupamiento no supervisado utilizado implementa una variante especial de una

técnica de análisis de grupos llamada Pico del Histograma (Richards, 1993). Este procedimiento identifica los picos de frecuencia de los valores de reflectancia de los histogramas multidimensionales (se entiende una dimensión por cada banda). Una vez identificados estos picos o valores más frecuentes, cada píxel en la imagen puede asignarse a su pico más cercano según algún concepto de similitud. Éstos pueden agruparse en coeficientes de distancia, de correlación o de asociación (Crisci y Armengol, 1983). Una vez obtenidas las clases por medio del proceso de clasificación antes descrito, el usuario, como ya se mencionó, debe interpretar el significado temático de las mismas. Esto es posible por medio de la comparación con puntos de verdad de campo. En cada fecha de análisis (correspondiente a la fecha de adquisición de las imágenes) se realiza una recorrida a campo con el objetivo de reconocer el uso de la tierra. Esta información así obtenida es utilizada para encontrar las correspondencias entre las clases resultantes del proceso de clasificación y las categorías de uso por medio de comparaciones y aproximaciones sucesivas. Finalmente, cuando se alcanza un resultado satisfactorio se procede a la reclasificación del mapa, asignando a cada clase el uso correspondiente.

La rutina antes explicada se sigue, en general, mes a mes, dependiendo de la disponibilidad de imágenes. En este caso, el período de análisis del uso del suelo se extiende desde abril de 2005 hasta marzo de 2006. Los autores consideran que, de mantenerse condiciones similares en el contexto internacional respecto a la demanda de granos y carne, este ciclo no sufrirá variaciones drásticas.

En cuanto al grado de cobertura del suelo, se realiza su estimación de manera conjunta, por medio de algunas mediciones realizadas a campo utilizando el método de la transecta (USDA SCS, 1992), del estado fenológico de los cultivos y la observación a campo de los distintos usos del suelo en todas las fechas de análisis. De esta manera se establece para cada uso del suelo su cobertura porcentual. Por último se procede a elaborar el mapa correspondiente a esta variable, por medio de la reclasificación de cada uno de los mapas de uso de la tierra antes descriptos, asignando el valor porcentual que le pertenece.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se expone la variación de la superficie correspondiente a cada uso y su cobertura porcentual, determinadas desde abril de 2005 a marzo de 2006. Cabe señalar aquí que para las categorías

monte, roca y lagunas y bajos se utilizaron máscaras, ya que resultó muy dificultosa su discriminación a lo largo de todo el período analizado, por lo que se optó por superponer los polígonos correspondientes a cada una de dichas categorías que fueron digitalizados sobre imágenes de mayor resolución espacial (Landsat y Spot).

Uso del suelo

En los meses de análisis se identificaron 12 usos, además de las categorías monte, roca y lagunas y bajos. Se encontró una superficie promedio de 4696 ha (36% del área de la cuenca) destinadas al pastoreo de ganado, correspondiente a pajonal, campo natural y pasturas implantadas. Esto concuerda con la preponderancia de la actividad ganadera, en algunos casos mixta (sobre todo en la zona más llana), ubicada al norte de la cuenca.

Si se detalla su evolución a lo largo del período de estudio, la superficie ocupada por las pasturas naturales e implantadas fue mayor desde abril a octubre, con un área promedio de 5278 ha (40.6% de la superficie total), lo que podría deberse a la presencia de verdes de invierno. En el período diciembre a marzo, dicha área fue menor, de 3969 ha (30.55% de la superficie de la cuenca). En estos meses parte del área de los verdes se destina a cultivos de cosecha gruesa. Se debe aclarar también que durante esta

Tabla 1. Variación de la superficie de uso del suelo (%) y de su cobertura porcentual a lo largo de un ciclo anual.

| USO | ABRIL | | MAYO | | JULIO | | SEPT | | OCT | | DIC | | ENE | | FEB | | MARZO | |
|---|-------|-----|------|-----|-------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|-----|
| | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob | Area | Cob |
| Pajonal | 4.7 | 95 | 2.8 | 95 | 10.0 | 90 | 7.5 | 90 | 7.9 | 95 | | | | | 5.2 | 100 | 4.8 | 100 |
| Pajonal, Campo Natural y Pasturas Degradadas | | | | | | | | | | | 20.9 | 100 | 26.7 | 100 | | | | |
| Campo Natural y Pasturas Degradadas | 28.6 | 95 | 29.5 | 95 | 25.5 | 90 | 10.3 | 90 | 18.7 | 95 | | | | | 22.4 | 100 | 11.4 | 100 |
| Rastrojo y Suelo Desnudo | 17.1 | 60 | 39.1 | 60 | 23.7 | 70 | 11.9 | 70 | 14.2 | 70 | | | | | | | | |
| Rastrojos y Cultivos Incipientes s/ Rastrojos | | | | | | | | | | | 9.1 | 70 | 36.5 | 80 | 17.5 | 80 | 17.0 | 80 |
| Pasturas y Campo Natural Verde | 17.5 | 85 | 5.2 | 85 | 8.5 | 85 | 17.8 | 85 | 8.7 | 95 | 1.4 | 100 | | | | | | |
| Pasturas Buenas, Maíz y Girasol | | | | | | | | | | | | | 6.9 | 95 | 7.1 | 100 | 15.3 | 95 |
| Vegetación Seca* | 25.1 | 95 | 16.4 | 95 | 5.7 | 85 | | | | | | | | | | | | |
| Suelo Desnudo y Cultivos Incipientes | | | | | 19.7 | 30 | 22.9 | 30 | 13.5 | 30 | 29.4 | 45 | 0.8 | 45 | | | | |
| Trigo y Cereales de Invierno | | | | | | | 22.7 | 70 | 30.1 | 95 | 32.1 | 100 | | | | | | |
| Soja 2ª | | | | | | | | | | | | | | | 12.1 | 90 | 11.0 | 100 |
| Soja 1ª | | | | | | | | | | | | | 22.1 | 85 | 28.7 | 100 | 33.4 | 100 |
| Montes | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 | 0.5 | 90 |
| Roca | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 | 6.4 | 45 |
| Lagunas y Bajos** | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - | 0.1 | - |
| PROMEDIO PONDERADO | 100 | 84 | | 78 | | 70 | | 66 | | 79 | | 77 | | 85 | | 92 | | 92 |

*En el mes de abril incluye a los cultivos próximos a cosecha y a campo natural seco. En los meses de mayo y julio corresponde a campo natural seco

** No se asignó valor de cobertura porcentual

última etapa no fue posible discriminar la superficie de las pasturas en buen estado de aquella correspondiente a cultivos de maíz, por su comportamiento espectral similar.

En cuanto al uso agrícola, un promedio de 2686 ha estuvieron ocupadas por rastrojos desde abril de 2005 a marzo de 2006. Los valores máximos se presentaron en los meses de mayo de 2005 (5077 ha, correspondiente a un 39% de la cuenca) posterior a la cosecha de cultivos de maíz y soja principalmente, mientras que en el mes de enero de 2006 se determinó una superficie de rastrojos de 4740 ha, que representa un 36.5% del área de la cuenca, pertenecientes en su mayoría a cultivos de trigo. Cabe aclarar que parte de esta área se destina a los cultivos de soja de segunda.

La superficie correspondiente a suelo desnudo y cultivos incipientes se discriminó entre los meses de julio y enero, con máximos en septiembre (2974 ha), debido en su mayoría a la siembra realizada en suelos bajo labranza tradicional durante los meses de julio y agosto. En el mes de diciembre de 2005, dicha área representó un 29% (3822 ha), y estuvo destinada principalmente al cultivo de soja, cuya siembra se produce en el mes de noviembre.

Los cultivos de trigo y los cereales de invierno (cebada) ocuparon un área final de 4178 ha (32% de la cuenca). Por otro lado, se destinó un 33% de la superficie (4339 ha) al cultivo de soja de primera, mientras que al de soja de segunda un 11% de la misma (1430 ha), o sea que esta última ocupa un tercio del área que se dedica a la de primera.

En las Figuras 2 y 3 se presentan la distribución espacial de uso del suelo para los meses de abril y octubre de 2005.

Cobertura Porcentual

La cobertura porcentual media de la cuenca muestra una disminución paulatina desde el mes de marzo (92%) hasta el mes de septiembre con el 66% (Tabla 1 y Figura 4). En el primer mes de esta etapa, la cobertura del 84% se relaciona básicamente con pasturas naturales e implantadas y con cultivos de verano en el final de su ciclo (soja principalmente y maíz, incluidos en la categoría vegetación seca). Asimismo, entre marzo y abril se da la cosecha de dichos cultivos, por lo que el suelo pasa a estar ocupado por sus rastrojos. Por otro lado, desde el mes de mayo, las pasturas entrarán en el reposo invernal, momento de poco crecimiento en el cual presentarán los menores valores de cobertura porcentual

del año. Durante julio y septiembre aumenta la superficie de suelo desnudo debido a la siembra y período de implantación de cultivos de invierno realizados sobre suelos con algún tipo de labranza, razón por la cual se registran los menores porcentajes de cobertura del suelo (70% en julio y 66% en septiembre). Desde el mes de octubre se produce un incremento en este porcentaje (79%) debido al estado de desarrollo de los cereales de invierno y al rebrote primaveral de pasturas naturales e implantadas. En el mes de diciembre ocurre un leve descenso en los valores a un 77% por la siembra reciente de cierta proporción de cultivos de maíz y soja sobre suelos laboreados. Finalmente, desde enero hasta el final del ciclo de análisis, se incrementa el grado de cobertura de la cuenca hasta un 92% por el paulatino desarrollo de cultivos de verano tanto de primera como de segunda siembra.

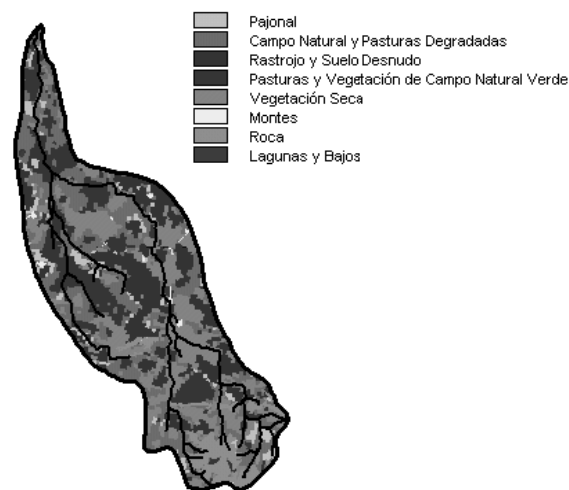


Figura 2. Uso del suelo para el mes de abril de 2005

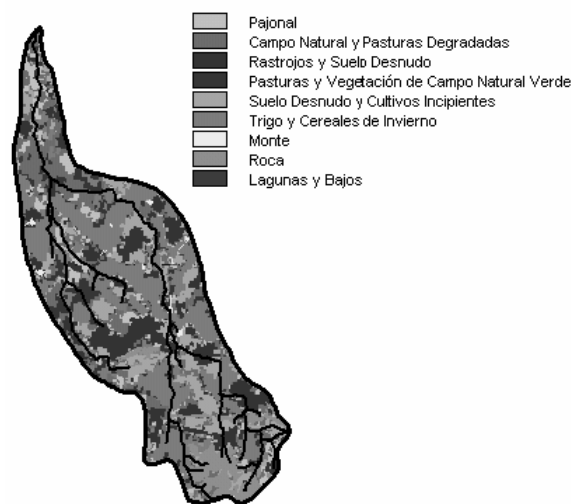


Figura 3. Uso del suelo para el mes de octubre de 2005

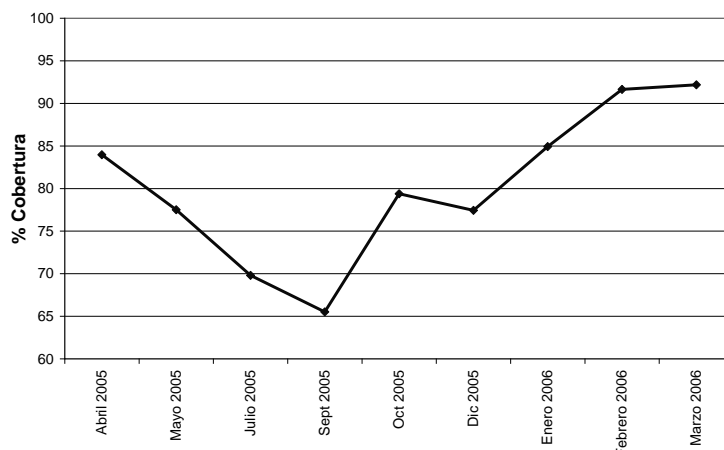


Figura 4. Cobertura vegetal durante el período abril 2005-mazo 2006

En las Figuras 5 y 6 se muestra la distribución espacial de la cobertura porcentual en tres rangos de

valores (mayor al 75%; entre 50 y 75% y menor al 50%) para los meses de abril y octubre de 2005.

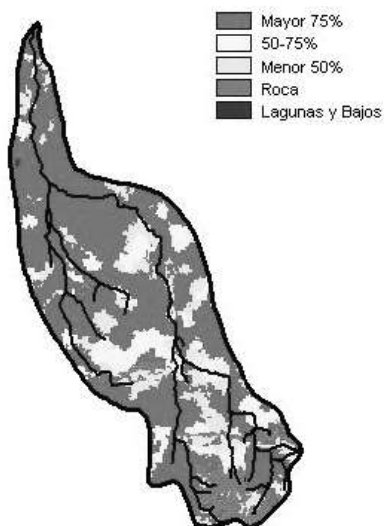


Figura 5. Rangos de cobertura porcentual (abril de 2005)

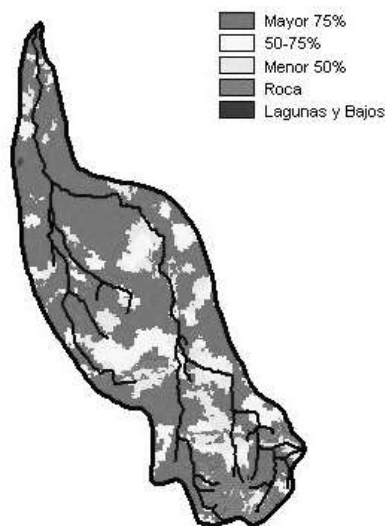


Figura 6. Rangos de cobertura porcentual (octubre de 2005)

CONCLUSIONES

Utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes satelitales y de sistemas de información geográfica, junto con tareas de verificación en campo, se logró establecer la variación del uso de la tierra a lo largo de un ciclo anual en la cuenca del arroyo Santa Catalina, provincia de Buenos Aires.

Por medio de la asociación de cada uso a una cobertura porcentual media en cada época del año, se determinó la variación temporal de esta última en la cuenca, lo que constituye una herramienta fundamental para la aplicación de modelos de escurrimiento y erosión. Dichos valores porcentuales se

encuentran en un 66% en septiembre, que expresa el mínimo debido al período invernal conjuntamente con un incremento en la superficie de suelo desnudo para la siembra de cultivos. Luego la cobertura porcentual crece hasta alcanzar el máximo (92%) en los meses de febrero y marzo, con el pleno desarrollo de los cultivos de soja principalmente, y maíz. Dados estos valores, el período más crítico para la producción de eventos de escorrentía y erosión comprende desde los meses de julio a septiembre. Resulta evidente que un análisis multidisciplinario agronómico-hidráulico es de gran utilidad para predecir la potencialidad de escurrimiento en una cuenca, ya que la determinación del grado de cobertura resulta decisivo, además de la humedad antecedente, a la hora de

determinar valores del escurrimiento potencial de una cuenca en una época del año.

REFERENCIAS

- Ahearn D. S., Sheibley R. W., Dahlgren R. A., Anderson M., Johnson J. y Tate K. W., 2005. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology* 313 (3-4), 234-247.
- Arheimer B. y Liden R., 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations for agricultural catchments: influence of spatial and temporal variables. *Journal of Hydrology* 227 (1-4), 140-159.
- Chuvieco E., 2002. Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el Espacio. Ariel, Barcelona.
- Crisci J.V. y López Armengol M.F., 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaría General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington.
- Di Gregorio A. y Jansen, L. J., 2005. Land Cover Classification System. Classification concepts and users manual. Software version 2, Environmental and Natural Resources Series, FAO.
- Jensen, J. R., 1996. Introductory Digital Image Processing. A remote sensing perspective. Segunda edición. Prentice Hall Series in Geographic Information Science, New Jersey.
- Lu H., Moran C. J., Prosser I. P., Raupach, M. R., Olley J. y Petheram C., 2003. Sheet and rill erosion and sediment delivery to streams: a basin wide estimation at hillslope to medium catchment scale. CSIRO Land and Water, Technical Report 15/03, Canberra.
- McDowell R. W., Sharpley A. N. y Chalmers A. T., 2002. Land use and flow regime effects on phosphorus chemical dynamics in the fluvial sediment of the Winooski River, Vermont. *Ecological Engineering* 18, 477-487.
- Mishra S. K. y Singh V. P., 2003. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) methodology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.
- Pan C. y Shangguan Z., 2006. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions. *Journal of Hydrology* 331, 178-185.
- Richards J. A., 1993. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Segunda Edición, Springer-Verlag, Berlin.
- Sala J. M., Kruse E. y Agugliano R., 1987. Investigación hidrológica de la Cuenca del Arroyo del Azul, Provincia de Buenos Aires. CIC, Informe 37.
- Toy T. J., Foster G. R. Y Renard K. G., 2002. Soil erosion: processes, prediction, measurement and control. John Wiley & Sons, New York.
- USDA SCS, 1985. National Engineering Handbook. U.S. Govt. Printing Office, Washington DC.
- USDA SCS, 1992. Crop residue management guide. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Walling D. E., 1999. Linking land use, erosion and sediment yields in river basins. *Hydrobiologia* 410, 223-240.

Artículo recibido el 01/2007 y aprobado para su publicación el 08/2007.