

MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA CON LTHIA DE LA RELACIÓN PRECIPITACIÓN – ESCURRIMIENTO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE, BUENOS AIRES, ARGENTINA.

Gaspari FJ^(1*); Rodríguez Vagaría AM⁽¹⁾, Senisterra GE⁽¹⁾, Delgado MI^(1,2), Besteiro SM⁽²⁾

(1) Cátedra de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP Diagonal 113 N° 469, 3° piso, La Plata, Buenos Aires. Tel: 00542214236616. fgaspari@agro.unlp.edu.ar

(2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.

El modelado hidrológico es una herramienta clave para comparar los escenarios de gestión y el cambio climático en cuencas hidrográficas. LTHIA es un modelo hidrológico que se integra a interfase Sistemas de Información Geográfica para estimar el escurrimiento superficial aplicando metodologías reconocidas, como ser el número de curva (NC). Esta versión del modelo requiere mapas de uso del suelo y grupos hidrológicos para calcular el escurrimiento medio anual, a partir de una base de datos de precipitaciones diarias del área en estudio. El objetivo del trabajo fue modelar la relación precipitación – escurrimiento en diferentes escenarios climáticos, de los últimos 96 años, en la cuenca alta del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina. El análisis de los registros pluviométricos permitió definir la variabilidad temporal de las precipitaciones anuales y determinar tres períodos correspondientes a los escenarios climáticos estudiados. La modelación con LTHIA estableció el funcionamiento hidrológico de la cuenca, obteniendo una cartografía de la lámina de escurrimiento promedio anual a partir de la zonificación espacial automática del NC, para los escenarios climáticos definidos.

Introducción

El modelado hidrológico es una herramienta clave para comparar los escenarios de gestión y los cambios ambientales en cuencas hidrográficas. Varios modelos hidrológicos se integran a las interfaces de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para delinear los límites de las cuencas y sub-cuencas y para calcular parámetros morfométricos, como el área, longitud de cursos de agua, pendiente media, entre otros.

En Argentina se desarrolló una geodatabase a diferentes escalas de análisis de suelo, uso del suelo y datos de elevación, para ser utilizado en los modelos espaciales del medio ambiente. Estos esfuerzos también se han hecho en el país, a fin de aplicar los sistemas de información geográfica para el análisis de las cuencas hidrográficas y la delineación (Gaspari *et al*, 2000; SSRH-INA, 2002).

La interfase SIG utilizada en modelos hidrológicos, permite estimar el escurrimiento superficial aplicando metodologías reconocidas, como ser el número de curva (NC). Este método, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (1972), 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 cubierta vegetal. La representación de la precipitación (P) y del exceso de precipitación o escurrimiento directo (Pe) generó una familia de curvas que fueron estandarizadas en base de definir un número adimensional de curvas NC, que varía de 1 a 100 según sea el grado de escurrimiento directo (Gaspari *et al*, 2007).

La caracterización edáfica se define por medio de grupos hidrológicos (GH) de suelos según las clases texturales (USDA) y el diagrama triangular con las curvas de conductividad hidráulica a saturación (USDA).

Los estudios de suelos en la Argentina se han llevado a cabo por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) a diferentes escalas en todo el país. Los mapas de suelos de la Pampa Región, a escala 1:50.000, están siendo digitalizados por el INTA Instituto de Suelos de Castelar, estando los mapas de suelos de todo el país digitalizados a escala 1:500.000 (INTA, 1995).

Vázquez Amabile y colaboradores (2008) han incorporado los grupos hidrológicos del suelo en las tablas de la base de datos del Atlas, asignando a todas las unidades del suelo, de acuerdo a la clase de drenaje, el GH correspondiente.

La modelización hidrológica del NC, bajo entorno SIG, se formula en el modelo LTHIA (*Long-Term Hydrologic Impact Assessment and Non Point Source Pollutant Model*) (Harbor, 1984) que se ha ejecutado, por primera vez en Argentina, en dos cuencas hidrográficas de la provincia de Buenos Aires, con el fin de comprobar la viabilidad de utilizar el modelo en cuencas hidrográficas rurales del país (Vázquez Amabile *et al*, 2008).

LTHIA ha sido creado para evaluar las consecuencias de los cambios de uso del suelo en el escurrimiento y la contaminación de fuentes no puntuales (Engel *et al*, 2003). Esta versión del modelo requiere el uso del suelo y mapas de grupos hidrológicos para calcular el escurrimiento. LTHIA ya ha sido probado, fuera de los Estados Unidos, en Corea en dos cuencas hidrográficas con buenos resultados (Ryu *et al.*, 2001).

La modelación hidrológica puede ser generada para estudios tendenciales de cambio climático local – regional. En la Provincia de Buenos Aires, la Cuenca del Río Sauce Grande, es un caso relevante, debido a

que su problemática está relacionada con la disponibilidad de agua a nivel local y regional, generando gran inquietud en aspectos social y económico (Gaspari y Senisterra, 2007).

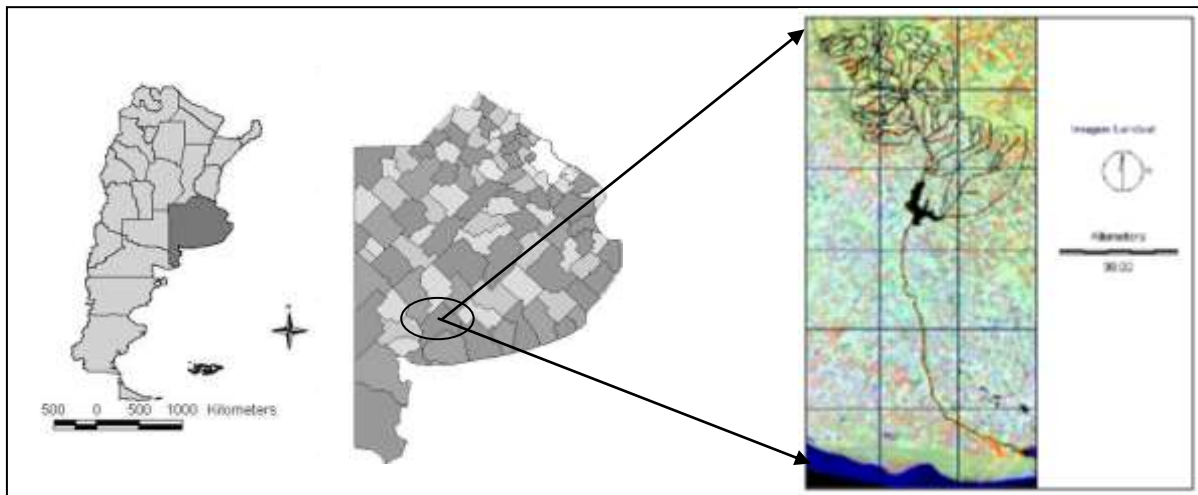
En esta cuenca, los escasos conocimientos en relación a la distribución, emisión y disponibilidad de caudal líquido se reflejan en el limitado ordenamiento territorial, que incluye el manejo del suelo y del agua por parte de los productores rurales para optimizar los rendimientos, controlar la torrencialidad en la cabecera y disminuir la pérdida de suelo y/o inundaciones. La problemática hídrica de la cuenca, está acompañada por una mínima aplicación de medidas de conservación de suelos y prácticas de cultivo precarias, sin tener en cuenta la sustentabilidad de los recursos que utilizan, además de la incorporación de tierras serranas y peri-serranas a la agricultura y la ganadería intensiva. Este efecto se ve agravado por el cambio climático en los últimos cien años, el cual se observa con la distribución y frecuencia de las precipitaciones.

El objetivo del trabajo fue modelar la relación precipitación – escurrimiento en diferentes escenarios climáticos, de los últimos 96 años, en la cuenca alta del Río Sauce Grande, Provincia de Buenos Aires, Argentina.

Materiales y métodos

El marco espacial del estudio fue la Cuenca alta del Río Sauce Grande, situada en el sudoeste bonaerense, Argentina, con una superficie de aproximadamente 1500 km² (Figura 1).

Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Río Sauce Grande. Identificación de las subcuencas que integran la



Cuenca alta.

La Cuenca alta del Río Sauce Grande se encuentra ubicada en el sistema serrano de Ventania (Provincia de Buenos Aires). Presenta dos unidades geomorfológicas importantes, la primera corresponde al cordón de Ventania y Pillahuinco, con pendientes pronunciadas en la zona de divisoria de aguas. En esa zona se observan las nacientes de la mayoría de los afluentes, las cuales discurren en pequeños y profundos cañones sobre las pendientes más pronunciadas. La segunda unidad geomorfológica corresponde a la llanura aluvial del río, compuesta principalmente por material sedimentario moderno con un espesor variable y pendientes más moderadas, es de destacar la presencia de barrancas cuyas paredes verticales y alturas variables (entre 3 y 8 m) encajonan y controlan el cauce del río (Luque *et al.*, 1979).

Las unidades cartográficas de suelos de la cuenca están clasificadas en los dominios edáficos 1, 2 y 3, descrita en el Atlas de Suelos del INTA (INTA, 1995). Están desarrolladas sobre material loésico que ha cubierto totalmente el faldeo de las sierras. Algunos suelos han evolucionado sobre sedimentos arenosos, apoyados sobre tosca. Las pendientes y senos entre lomas están ocupados por Argiudoles típicos inclinados, en las partes distales del pedemonte, con predominio de pastizales naturales. Donde el relieve se atenúa, se hallan Argiudoles típicos de familia fina, someros, con uso del suelo ganadero-agrícola. En la parte superior de las lomas, donde la tosca está más cercana a la superficie, se desarrollan Hapludoles petrocálicos, con ganadería extensiva. En las vías de escurrimiento que nacen en los faldeos y luego ingresan en otras unidades geomorfológicas se hallan Haplustoles típico, éntico y lítico, donde la actividad principal se expresa con una combinación de agricultura y ganadería (Gaspari, 2002).

La modelización de la respuesta hidrológica se realizó mediante el modelo LTHIA obteniendo la zonificación del escurrimiento superficial.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

LTHIA se ha desarrollado como una herramienta simple de análisis espacial que ofrece estimaciones de los cambios en el escurrimiento, la recarga y la fuente de contaminación no puntuales resultantes de los cambios propuestos el pasado o el uso del suelo. Expresa resultados del promedio anual del escurrimiento, basados en una base de datos climáticas multianual o una tormenta extrema (Engel *et al*, 2005).

La principal ventaja del modelo es la simplicidad de hacer una primera estimación de la relación precipitación - escurrimiento utilizando de base de datos SIG (suelo y uso de la tierra) y la precipitación diaria. LTHIA también tiene la ventaja de incluir una aplicación simple de una "distribución" para el cálculo de escurrimiento, que permite definir el escurrimiento para todas las áreas en la cuenca.

Los resultados proporcionan información sobre los impactos hidrológicos relativos a la dinámica hídrica para diferentes escenarios. Los mismos pueden ser utilizados para generar conciencia en la comunidad de potencial a largo a más largo plazo y para apoyar la planificación física para reducir al mínimo la perturbación de áreas críticas (Engel *et al*, 2005).

El procesamiento cartográfico geoespacial LTHIA, bajo entorno ArcView®, calcula la lámina de escurrimiento, a nivel píxel. Su empleo requiere de cartografía en formato vectorial, codificadas de forma tal que luego del rasterizado automático, procesamiento y asignación de valores particulares según el caso, se genera un mapa de número de curva a partir del cual se determina la lámina de escurrimiento (Engel *et al*, 2005).

Los parámetros requeridos para la ejecución del modelo son:

√ El mapa de usos del suelo se agrupa en ocho clases: agua, comercial, agrícola, de alta densidad residencial, de baja densidad residencial, pastizales, forestal e industrial, según la estructura necesaria para LTHIA. El mismo fue elaborado a partir de la clasificación supervisada de una imagen Landsat ETM con corroboración de datos a campo y de la cartografía antecedente para la zona en estudio (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010).

√ El mapa de la zonificación del GH fue obtenido a través del Atlas de Suelo de la República Argentina (INTA, 1995) y del trabajo de Rodríguez Vagaría y Gaspari (2010).

√ Los registros pluviométricos fueron obtenidos de la Estación Meteorológica de Sierra de la Ventana (N° Estación: 4000), ubicada en el partido de Tornquist, coordenadas geográficas Latitud - 38° 08' Longitud - 61° 47', del Servicio Meteorológico Nacional, otorgados por la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires, bajo el Expediente 2436-16542/10. Estos datos se disponen en formato planilla de cálculo y han sido adaptados al formato específico para utilizar el modelo. Los registros abarcan datos diarios del período de 1911 hasta 2008.

A partir de los dos primeros mapas, el modelo establece los valores de NC a nivel de píxel. Estos valores son asignados en forma automática por medio de un archivo denominado *cn_table*. Para un fehaciente análisis de las características particulares del complejo suelo-vegetación de la cuenca alta del Río Sauce Grande, este archivo fue adaptado a de forma tal que asigne valores de número de curva conformes a la región, no especificados en el archivo original.

En relación a los registros pluviométricos, se procesó la precipitación total anual con un análisis estadístico por media móvil con base a la media anual, para todo el período, con el propósito de definir su variabilidad temporal y determinar diferentes escenarios de estudio. Posteriormente, se adaptó el formato de la base de datos pluvial a la solicitada por el modelo.

Una vez generada la cartografía de NC y adaptada la base de datos de precipitaciones para LTHIA, se ejecutó el modelo a fin de evaluar la respuesta hidrológica temporal – espacial de la cuenca alta del Río Sauce Grande.

Resultados y discusión

El empleo de LTHIA requirió la parametrización de variables hidrológicas para la modelización de la lámina de escurrimiento.

Los parámetros necesarios se expresaron mediante modelos de distribución geoespacial y valores tabulares.

La cartografía vectorial de base en la cuenca alta del Río Sauce Grande, fue: vegetación y uso del suelo, adaptada a los requerimientos de la clasificación del modelo LTHIA, y el mapa de grupo hidrológico (GH), también adaptado. La superficie de ocupación de cada complejo GH – uso del suelo se expresa en la Tabla 1. En ella se visualiza que la cuenca no presenta GH A, indicando texturas franco limosas a arcillosas, con presencia de área con roca en superficie. En relación al uso del suelo se establecieron tres grandes clases, que integran a la agricultura (60,44% de la cuenca), pasturas (13,68%) y zonas de uso residencia (25,88%).

LTHIA - Clases de Uso de Suelo	Grupos Hidrológicos de Suelo				Total	% Clase de Uso del Suelo
	A	B	C	D		
Agricultura		54302	15924	20353	90578	60,44
Pastura		428	0	20078	20506	13,68
LD Residencial		11325	4294	23169	38788	25,88
Total	0	66055	20218	63600	149872	
% GH	0,00	44,07	13,49	42,44		

Tabla 1. Cuantificación de superficie de ocupación (ha) de cada complejo GH – Uso de suelo en la cuenca en estudio.

La modelización con LTHIA genera cartografía en grilla de los mapas de GH y uso de suelo, los cuales procesa y compone por medio de la tabla de datos resultante, una zonificación del NC para cada rango interceptado. En la cuenca alta del Río Sauce Grande esta combinatoria geoespacial se representa como se expresa en la Tabla 2.

GH	Uso del Suelo	NC
B	Agricultura	78
B	LD Residencial	69
B	Pastura	58
C	Agricultura	85
C	LD Residencial	79
D	Pastura	78
D	LD Residencial	84
D	Agricultura	89

Tabla 2. Valoración del NC por LTHIA.

La Figura 2 expresa la zonificación automática generada por el modelo LTHIA para el NC.

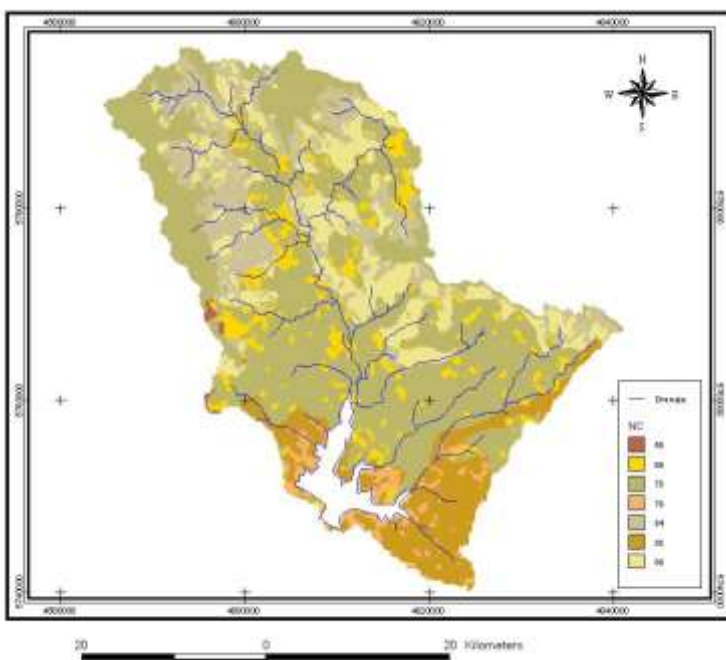


Figura 2.

Zonificación del NC en la cuenca alta del Río Sauce Grande.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Una vez lograda la zonificación de LC se continúa con la integración de la base de datos pluvial para estimar la relación precipitación – escurrimiento por el método de NC distribuido.

El análisis íntegro de los registros pluviométricos en la cuenca alta del Río Sauce Grande, permitió definir la variabilidad temporal de las precipitaciones anuales, a partir del cual se establecieron tres períodos climáticos, correspondientes a los escenarios climáticos estudiados. Los valores de precipitación promedio anual para el período 1911-2008 se representan en el gráfico1, donde se indican los tres escenarios climáticos correspondientes a un período seco (1911-1947), uno normal (1948-1972) y otro húmedo (1973-2008).

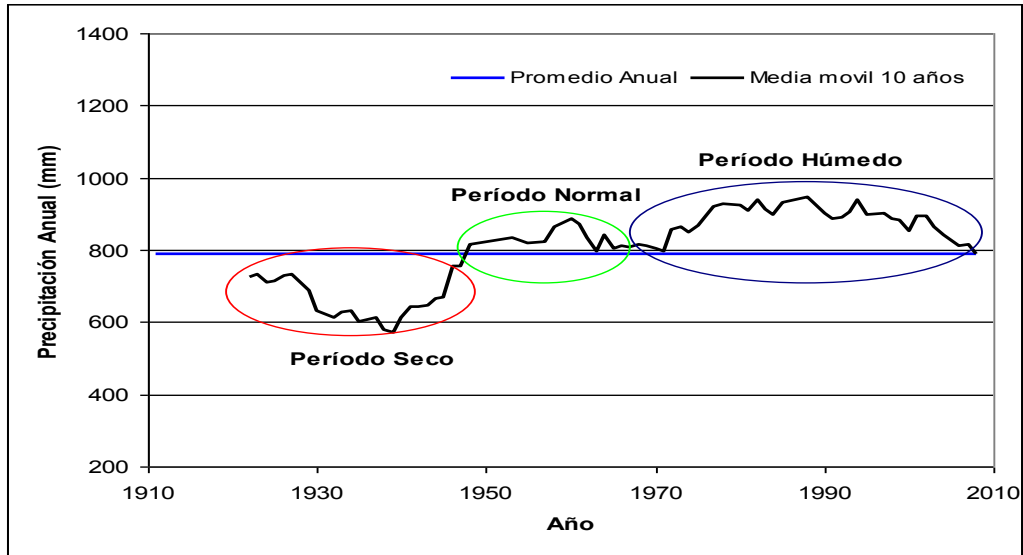


Gráfico 1. Precipitación anual para el período 1911-2008 en Sierra de La Ventana e identificación de escenarios.

A partir de la definición de los escenarios, se construyó la base de datos climáticos diarios necesaria para el procesamiento con el modelo hidrológico LTHIA, cuyos datos por aplicación de la metodología de NC, determinaron el escurrimiento en la cuenca.

El gráfico 2 indica los valores absolutos de escurrimiento medio anual alcanzados en la modelización LTHIA según NC en la cuenca alta del Río Sauce Grande, para los tres escenarios analizados.

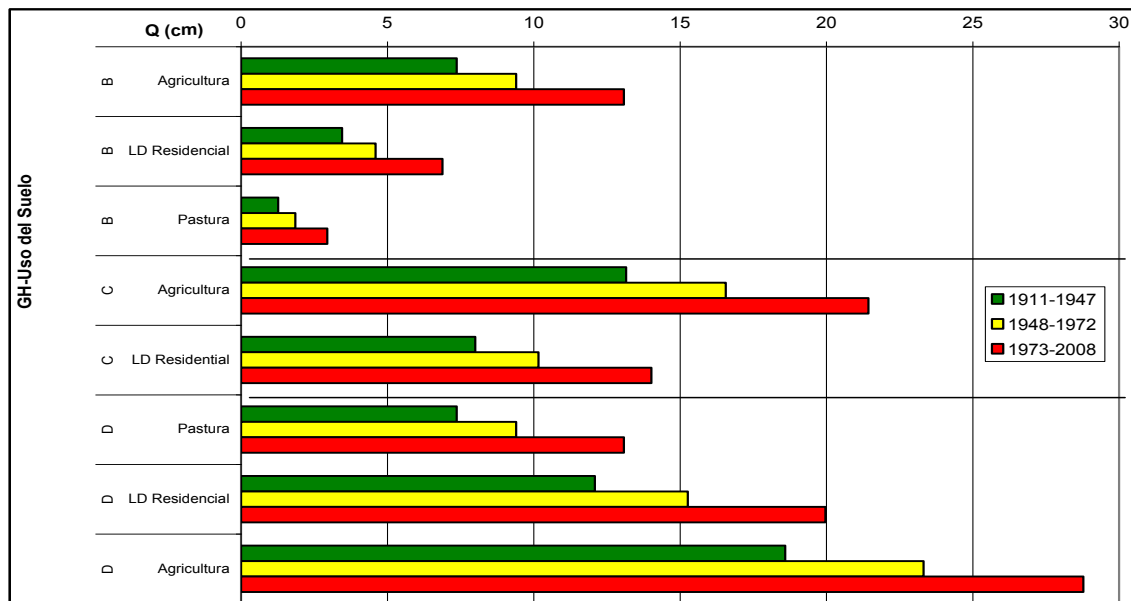


Gráfico 2. Escurrimiento medio anual (Q) por escenario según LTHIA.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Los resultados obtenidos de escurrimiento promedio anual, con LTHIA, corroboran la definición de los escenarios climáticos establecidos. En los tres escenarios se observó la tendencia de aumento del escurrimiento en función del aumento de precipitación. Los mayores escurrimientos se presentaron en las áreas con Agricultura.

La modelación expuesta, parte de un modelo meteorológico homogéneo en toda la cuenca, es decir toda la precipitación ocurre al mismo tiempo con igual intensidad. Una mejor aproximación a la realidad implicaría la instalación de una red pluviométrica que permita un tratamiento adecuado de los datos.

El LTHIA permitió obtener escurrimientos a partir de base de datos diaria a largo plazo, lo que absorbió la variabilidad inter e intra-anual, expresando la misma un beneficio, ya que la mayoría de las modelizaciones hidrológicas se basan en datos de tormentas. Esta ventaja incluye la implementación del cálculo del escurrimiento en forma distribuida, permitiendo el cálculo en unidades hidrológica, eliminando la ponderación del NC que es uno de los datos requeridos para el procesamiento.

Con el fin de adaptar la versión del SIG de LTHIA a la cuenca alta del Río Sauce Grande, los resultados alcanzados de volumen de escorrentía anual, se lograron por la incorporación de variables de NC locales a la base de datos del modelo.

Los resultados del modelo aún no fueron validados por la falta de registros de campo en la cuenca.

Conclusiones

La modelación con LTHIA permitió establecer el funcionamiento hidrológico por medio de la relación precipitación – escurrimiento en los últimos 96 años en la cuenca, obteniendo la zonificación espacial de la lámina de escurrimiento promedio anual, para los escenarios climáticos definidos.

LTHIA es apropiado para estimar escurrimiento en cuencas hidrográficas, donde la zonificación del uso del suelo no expresa un detalle en términos de medidas de manejo y conservación del suelo, ya que el modelo cuenta con solo ocho clases representativas. Para ampliar las clases de uso del suelo de LTHIA para la agricultura y los pastizales podrían incluirse nuevos valores de NC con la distribución de las explotaciones, sin aumentar la complejidad para el usuario. Esto permitiría incluso algunas clases de uso del suelo para evaluar el impacto de terrazas u otras prácticas, tales como curvas de nivel o los residuos, en las laderas de las cuencas hidrográficas rurales.

Agradecimientos

Se agradece el otorgamiento del registro pluviométrico de Sierra de La Ventana, E4000, otorgados por el Departamento de Catastro, Registro y Estudios Básicos, División de Estudios Hidrológicos y Red Hidrometeorológica, de la Dirección de Planificación, Control y Preservación de Recursos Hídricos, Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires, Argentina, bajo el Expediente 2436-16542/10.

Bibliografía

Engel, B. , J. Harbor, S. Muthukrishnan, S. Pandey, and K.J. Lim. 2003. LTHIA NPS Versión 2.3. User Manual <http://www.ecn.purdue.edu/runoff/lthianew/gis/lthiaman23.pdf> 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.

Gaspari F.J., Bruno, J.E.; Presutti M.E. e I.Odhe Cornely. 2000. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la gestión de cuencas hidrográficas. IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota. SELPER 2000. Puerto Iguazú. Misiones.

Gaspari, F.J.2002. Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ediciones Cooperativas. 116 pp. Buenos Aires. Argentina. ISBN 987-1076-16-9

Gaspari, F. J. and Senisterra, G. E. 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. Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.C. Tomo XXXIX. N°1 Pp. 21-28.

Gaspari, F.J.; Senisterra, G.E. y R.M.Marlat. 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. Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. U.N.C. Argentina. Pág. 21-28. Tomo XXXIX. N°1. ISSN 0370- 4661.

Harbor, J.M. 1994. A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland

INTA, 1995. Atlas de Suelos de la República Argentina. Instituto de Suelos, INTA Castelar, Bs.As.

III CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMATICO Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Luque, J. A., Paoloni, J. D. y Bonorino, G. A. 1979. Estudio geológico e hidrogeológico de la cuenca del Río Sauce Grande. Departamento de Ciencias Agrarias y de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional del Sur, 35 p. (Mimeo)

Rodríguez Vagaría, A.M. y F.J. Gaspari, 2010. GeoQ: Herramienta para la determinación del Número de Curva y escorrentía bajo entorno SIG Idrisi Andes®. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. International Review of Geographical Information Science and Technology. España. GeoFocus Formato digital. N°10. 11-26. (2010) ISSN: 1578-5157

Ryu, N. H., Y. H. Choi, J. D. Choi, B. y. Choi. 2001. A Long-term Runoff Analysis of Mountainous Watersheds Using LTHIA in Korea , ASAE Annual International Meeting, Sacramento, California, Paper No, 012130, 2001.

SSRH-INA (2002) Atlas digital de los recursos hídricos superficiales de la República Argentina -CD Rom. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Instituto Nacional del Agua, Buenos Aires. Argentina. <http://www.hidricosargentina.gov.ar/RedBasica.html>.

Vázquez-Amabile, G., Mercuri, P. A., Gaspari F., Engel B. A.2008. Construction of a Digital Hydrologic Soil Group Map for Argentina to Simulate Runoff Using GIS – Hydrologic Models. 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality And Environment. Concepción, Chile.