

Tendencia de cambio espacio - temporal del escurrimiento superficial en una cuenca serrana. Argentina

Trend of spatio-temporal change for superficial runoff in a hilly watershed. Argentina

MARÍA ISABEL DELGADO^{1,2,3}, FERNANDA JULIA GASPAR¹
Y GABRIELA ELBA SENISTERRA¹

Recibido: Abril 26, 2013

Aceptado: Julio 17, 2013

Resumen

El conocimiento específico del movimiento del agua en una cuenca hidrográfica permite su organización, ordenación y planificación. El objetivo del trabajo fue modelizar la tendencia de cambio espacio – temporal del escurrimiento superficial en una cuenca hidrográfica serrana experimental denominada Arroyo Belisario, en el Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. El volumen de escurrimiento superficial fue estimado utilizando el método del Número de Curva (NC), en el entorno del Sistema de Información Geográfica (SIG) Idrisi Taiga®. El Módulo Land Change Modeler permitió establecer la tendencia de cambio espacio – temporal del escurrimiento superficial en los últimos cuarenta y cinco años (1966 – 2011). El actual aumento en el volumen de escurrimiento superficial tuvo lugar principalmente en el Pastizal degradado, ubicado en la cuenca media y baja, debido al deterioro del suelo por compactación y degradación por sobrepastoreo. En la cabecera de la cuenca no se detectaron cambios de uso del suelo ni de producción de escurrimiento superficial. Se recomienda implementar medidas de manejo y conservación del suelo, principalmente en la zona media y baja de la cuenca del Arroyo Belisario, de modo de mitigar su degradación, evitando daños por excesos hídricos y sedimentarios a la población aguas abajo y al sistema en general.

Palabras clave: cuenca hidrográfica, escurrimiento superficial, número de curva, SIG.

Abstract

Knowledge of water movement allows its proper management and planning over a watershed. The aim of this work was to model the trend of spatio – temporal change of runoff in a hilly watershed. The area of study is placed in the experimental watershed of the Belisario Creek, in the Southwest of the Buenos Aires province, Argentina. Runoff was determined using the Curve Number method (CN), within the Geographic Information System Idrisi Taiga®. Land Change Modeler allowed us to determine the trend of change for runoff, over the last forty five years (1966 – 2011). Increase of runoff volume for the present situation was mainly detected in the Depredated grassland, mainly due to soil compaction and degradation, caused by overgrazing. No changes in land use and runoff were detected in the upper watershed. It is recommended to implement conservation measures over the watershed, in order to mitigate its degradation and possible effects of future damages to people and watershed system as well.

Keywords: watershed, runoff, curve number, GIS.

¹ Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Diagonal 113 N° 469, La Plata CP (1900), Buenos Aires, Argentina. Tel. 0054-221-423-6616.

² Becaria de Postdoctoral del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Dirección electrónica del autor de correspondencia: isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar

Introducción

La caracterización del ciclo hidrológico genera un diagnóstico básico para todo tipo de estudio en cuencas hidrográficas. Como mencionan Custodio y Llamas (1996), la infiltración expresa el volumen de agua procedente de las precipitaciones, atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo, indicando un movimiento vertical del agua en el suelo.

Por otra parte, el escurrimiento participa como el agua de una tormenta que drena o escurre sobre la superficie del suelo. A medida que circula desde las partes más lejanas hacia la desembocadura, fluye por los cauces incrementando su volumen hasta lograr el caudal pico, a partir del cual comienza suavemente a decrecer al poco tiempo de terminada la lluvia (Gaspari *et al.*, 2009). Particularmente, el escurrimiento superficial en áreas serranas se favorece por la presencia de pendientes pronunciadas y estratos semi-impermeables a poca profundidad.

Los componentes del ciclo hidrológico se pueden modelizar según una tendencia de cambio espacio – temporal, permitiendo analizar el carácter dinámico de la información incluida en el sistema (Gaspari *et al.*, 2009). La cuantificación del excedente superficial de una lluvia constituye la base en la planificación del recurso agua, sea para aumentar el proceso de infiltración en el suelo con el fin de mantenerla disponible para los cultivos, como para disminuir los caudales pico generadores de inundaciones por desborde de los cauces (Rodríguez Vagaría y Gaspari, 2010). El conocimiento de los factores intervinientes en los procesos hidrológicos de una cuenca hidrográfica es muy importante, debido a que es allí donde se capta y almacena el agua necesaria para diferentes usos del suelo o consumo urbano.

La vegetación retarda el flujo hídrico superficial otorgando tiempo adicional para penetrar al suelo (López Cadenas de Llano, 1998), limitando de este modo el escurrimiento

superficial y favoreciendo el proceso de infiltración. El empleo de herramientas geoinformáticas permite realizar estudios orientados a cuantificar las transformaciones del paisaje en relación a la dinámica del escurrimiento a nivel temporal y espacial (Aguayo *et al.*, 2009). Por su parte, el análisis espacio – temporal de la cobertura vegetal y uso del suelo permite conocer cómo se está utilizando una determinada zona y qué recursos permanecen en su estado natural (Sánchez *et al.*, 2003).

El Servicio de Conservación de suelos de los Estados Unidos elaboró la Metodología del Número de Curva (NC), que permite determinar una adecuada aproximación del escurrimiento superficial (Kent, 1968). Se trata de un método empírico para el cálculo de la transformación de la lluvia en escorrentía, que surgió de la observación de los fenómenos hidrológicos en distintos tipos de suelo, diferentes usos y para distintas condiciones de humedad antecedente (López Cadenas de Llano, 1998; Gaspari *et al.*, 2009). El NC estima la abstracción inicial (I_0) de la precipitación, considerada como el 20% de la máxima retención potencial (S) de cada complejo suelo – vegetación. El escurrimiento superficial o exceso de precipitación (P_e), se establece en función de la precipitación acumulada (P) (US Army Corps of Engineers, 2000).

El objetivo del trabajo fue modelizar la tendencia de cambio espacio – temporal del escurrimiento superficial en una cuenca serrana bonaerense, Argentina, para contribuir a la planificación del ordenamiento territorial de la misma.

Materiales y Métodos

Caracterización del área en estudio.

Se utilizó como área de estudio la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, en las Sierras Australes del Sudoeste de la provincia de Buenos Aires, República Argentina. Se sitúa geográficamente en 38° 04' Latitud Sur y 61° 55' Longitud Oeste (Figura 1).

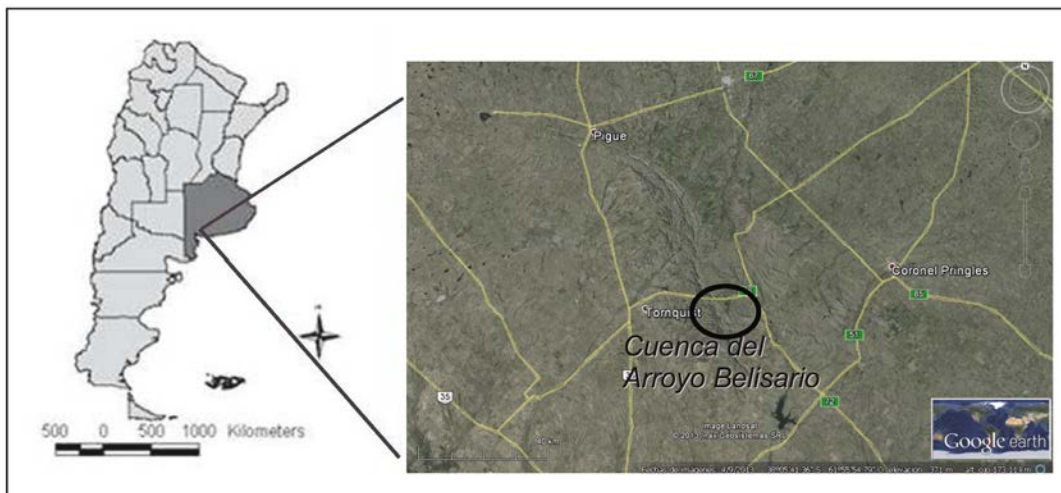
El Arroyo Belisario es afluente del Río Sauce Grande, con desembocadura en el Mar Argentino, en cuyo curso medio se ubica el Dique Paso de Las Piedras. La cuenca posee una superficie total de 2596 ha y un desnivel de 750 m, con cotas que varían desde los 350 msnm a los 1100 msnm (Delgado y Gaspari, 2010).

El clima es templado y subhúmedo seco (Burgos, 1963). La precipitación media anual a

nivel local es de 855 mm, según datos analizados para el período 1980-2006 (Delgado, 2012).

La zona en estudio se ubica fitogeográficamente en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral (Frangi y Bottino, 1995). El tipo de vegetación nativa predominante es la estepa gramínea representada por el pastizal serrano, que se encuentra conformado principalmente por especies del género *Stipa* spp. En relación al uso del suelo, además se evidencian actividades agropecuarias y urbanas. La urbanización se concentra en la localidad de Villa Ventana, cuya principal actividad es el turismo y recreación. La totalidad de sus calles es de tierra y presenta un importante arbolado urbano (Fotografía 1 a, b y c).

Figura 1. Ubicación del área de estudio. Cuenca del Arroyo Belisario.



Fotografía 1. Tipos de uso del suelo. a) Pastizal serrano; b) Actividad agropecuaria; c) Urbanización.



La dinámica geohidrológica predominante en el área de estudio es la combinación entre procesos de remoción en masa y el flujo de escurrimiento superficial, generado esporádicamente por lluvias torrenciales. Cuando los eventos pluviales son de características torrenciales se producen deslizamientos, coladas de barro y crecidas de los arroyos, entre otros procesos (Gil y Campo, 2009). Dentro de la cuenca son frecuentes los fenómenos de avenidas e inundaciones, con impactos negativos sobre la población (Casado *et al.*, 2007).

Esta región geográfica presenta escasez de datos de aforos, por lo cual se torna necesario realizar simulaciones hidrológicas a través de herramientas geoinformáticas.

Estimación del escurrimiento superficial.

Se desarrolló un modelo dinámico geoespacial con el SIG Idrisi Taiga®, de modo de elaborar una modelización espacio - temporal del escurrimiento superficial, aplicando el método del Número de Curva, a escala 1:50.000. El procesamiento se realizó por una tabulación cruzada de la cartografía de cada una de las variables que integran el método, a través del desarrollo de un Modelo Cartográfico Algebraico, generando la zonificación del escurrimiento superficial (Pe). Se consideró como restricción que Pe es nulo hasta que la lluvia exceda la abstracción inicial (I₀).

El análisis geoespacial de las variables para la determinación del NC se inició a partir del procesamiento del mapa de suelos (Kosarik, 1967; IOVIF, 1970; Lores *et al.*, 1979 y Hauri, 2006) y la Hoja 3963-6-1, elaborada por el Instituto de Suelos del INTA Castelar (1987). A partir de las distintas fuentes, se definió el Grupo Hidrológico (GH), el cual es utilizado en ambos escenarios para expresar las características texturales y de permeabilidad edáfica (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Chow *et al.*, 1994; Gaspari *et al.*, 2007).

La zonificación espacial del uso del suelo se estableció para el año 1966, a partir de la interpretación de fotografías aéreas, corroborada

con información elaborada en 1970 por el Instituto de Ordenación de Vertientes e Ingeniería Forestal (IOVIF, 1970; Lores *et al.*, 1979), considerándose como escenario 1. Para el estudio de la situación en el año 2011 se utilizó la información relevada a campo, con apoyo de imágenes de Google Earth®, definiendo el escenario 2.

Determinada la distribución espacial del GH y la del uso del suelo en la cuenca, se estableció el NC para las dos fechas consideradas, según tablas del SCS-USDA (1964) (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; López Cadenas de Llano, 1998 y Chang, 2006).

La zonificación temporal del escurrimiento en la cuenca del Arroyo Belisario se desarrolló por medio del análisis pluviográfico torrencial modal, definida para el período 1966 - 2011. La lluvia fue de 106 mm, con una intensidad máxima de 30 mm en 30 min. La curva de masa de lluvia (mm), establecida con un intervalo de tiempo de 30 min, fue la siguiente: 0-30-44-49-51-53-57-58-59-60-61-80-88-93-100-103-106.

La evaluación y modelización de la tendencia de cambio espacio - temporal del escurrimiento superficial en el período 1966 - 2011 se realizó por medio de la aplicación del Módulo Land Change Modeler (LCM) de Idrisi Taiga®. Según Crespo *et al.* (2010) este módulo se utiliza para analizar cambios, proyectando su tendencia y evaluando sus implicancias. El mismo fue aplicado en este estudio para definir y zonificar la variación en la distribución de los rangos de escurrimiento superficial

El análisis final entre ambos escenarios se obtuvo por la aplicación de la tasa de cambio, calculada a partir de la siguiente ecuación (FAO, 1996; Echeverría *et al.*, 2006):

$$TCE = [100 / (t_2 - t_1)] \times \ln(s_2 / s_1)$$

Donde TCE es la tasa de cambio del escurrimiento por año (%).

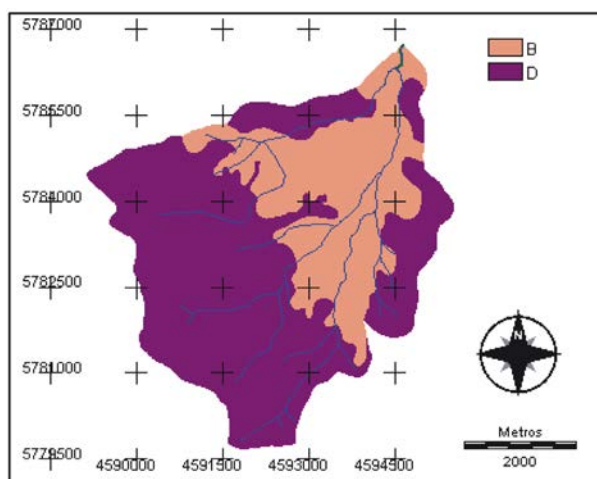
S₁ y S₂ corresponden a la superficie de ocupación (ha) en el tiempo t₁ y t₂ (año), según escenario, respectivamente.

Resultados y Discusión

Generación de los mapas base.

A partir de la cartografía edáfica se zonificó el GH en la cuenca (Figura 2), definiendo la presencia de dos grupos hidrológicos: B y D, con una superficie de ocupación de 856 ha y 1740 ha, respectivamente.

Figura 2. Mapa de Grupos Hidrológicos.



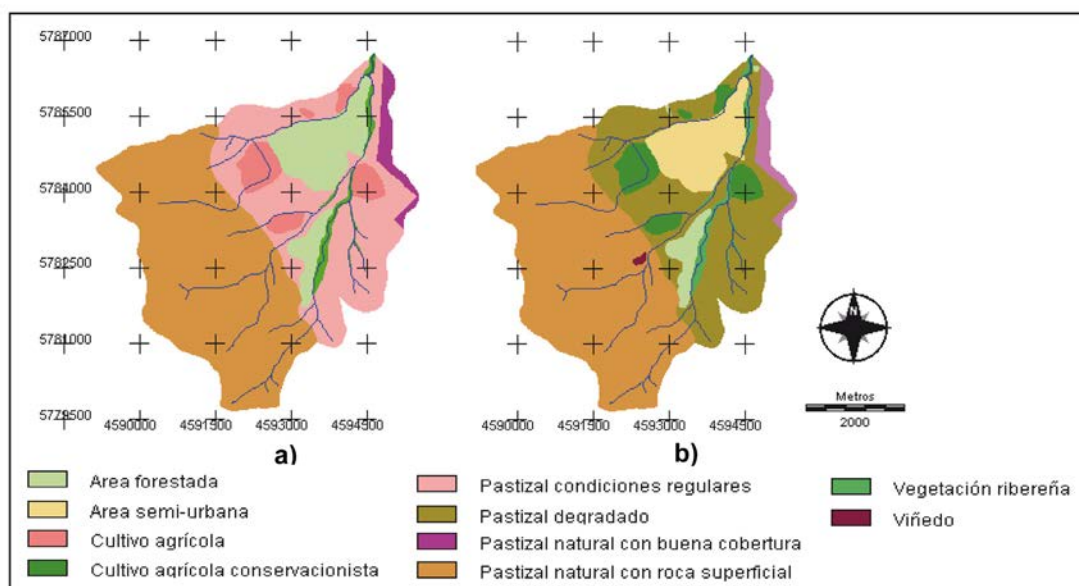
A la escala de trabajo utilizada (1:50.000), se diferenciaron dos Unidades Cartográficas de

Suelo (UCS) dentro de la cuenca: (Duf 2 y R). La UCS Duf2 se caracteriza por una pendiente pedemontana media, 1-3 por ciento y se integra de tres unidades taxonómicas (series), en la siguiente proporción: 40% por Dufaur (textura limosa fina, material originario constituido por loess sobre tosca, de escurrimiento medio y permeabilidad moderada), 40% por Napostá (textura franca fina, escurrimiento medio a rápido, permeabilidad moderada a lenta), y un 20% por Tres Picos (escurrimiento medio a rápido, algo excesivamente drenado, presencia de tosca a los 80 cm). Por su parte, la UCS R no reúne las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria o forestal alguna. El componente taxonómico tiene una posición de loma, representado por afloramientos rocosos.

En el Cuadro 1 se presenta una descripción de los tipos de uso del suelo identificados dentro de la cuenca y el cambio producido en el período de estudio.

En la Figura 3 se expone la zonificación del uso del suelo correspondiente a los escenarios analizados.

Figura 3. Mapa de uso del suelo. Año 1966 (a) y año 2011 (b).



Cuadro 1. Uso del suelo en los dos escenarios analizados.

1966	2011
Área forestada: abarca dos sectores con cobertura arbórea recién implantada conformando el diseño urbanístico de Villa Ventana.	Área forestada: compuesta por especies arbóreas exóticas, adultas con fines recreativos y paisajísticos.
	Área semi-urbana: se corresponde con Villa Ventana.
Cultivos agrícolas: presencia de áreas sembradas con cultivos anuales.	Cultivo agrícola conservacionista: cultivos anuales, con incorporación de curvas de nivel y fajas.
Pastizal en condiciones regulares: pastizal natural sometido a pastoreo de ganado vacuno.	Pastizal degradado: el sobrepastoreo generó la compactación del suelo y degradación del pastizal.
	Viñedo: presencia de cultivo de vid.
Pastizal natural con buena cobertura: representado por cobertura herbácea natural, en buenas condiciones.	
Pastizal natural con roca superficial: compuesto por especies herbáceas de bajo porte, de características xerófitas, desarrolladas sobre material rocoso y suelo de escasa profundidad.	
Vegetación ribereña: comprendida principalmente por pastizal, arbustos y especies forestales.	

En el Gráfico 1 se presenta la superficie de ocupación asignada (ha) de cada uso del suelo.

La superficie de ocupación de los usos del suelo Vegetación ribereña, Viñedo y Pastizal natural con buena cobertura no presentó modificaciones entre ambos escenarios analizados. Por su parte, el Pastizal natural con roca superficial disminuyó su superficie de ocupación sólo en 4 hectáreas, las cuales pasaron a conformar el uso del suelo denominado Viñedo, en el escenario 2011. El Área

forestada disminuyó su superficie para el escenario 2011, ya que 227 ha fueron asignadas al Área semiurbana.

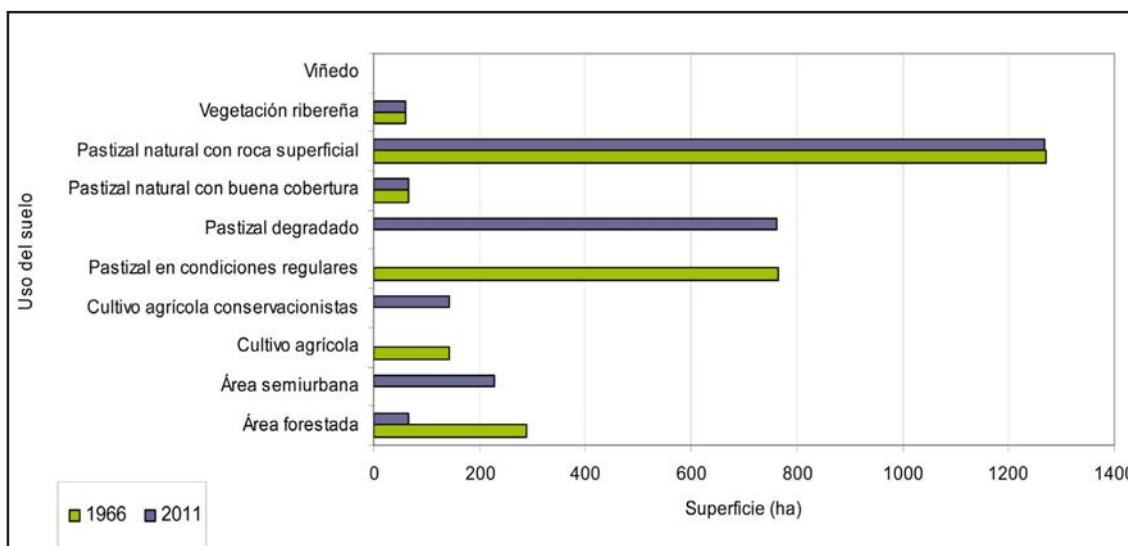
Se destaca la aparición de otros nuevos usos en el escenario 2011, tales como el Pastizal degradado (763 ha) y el Cultivo con prácticas conservacionistas (142 ha).

Número de Curva y cálculo del escurrimiento.

La reclasificación de los valores de NC permitió obtener cuatro rangos cuya zonificación se presenta en la Figura 4 a) y b). Este reagrupamiento definió áreas con respuesta hidrológica similar ante un evento pluvial torrencial.

La superficie de ocupación del rango de NC < 65 disminuyó del escenario 1966 (341 ha) al escenario 2011 (132 ha). La superficie asignada al segundo rango de NC (66 – 75), se mantuvo constante entre ambos periodos analizados. En el año 1966, el 72% de la cuenca (1869 ha) se encontraba ocupado por los dos últimos rangos de NC (valores mayores a 76), pero en el año 2011 el NC > 76 incrementó su ocupación al 80% de la cuenca (2077 ha), indicando una mayor probabilidad de generación de escurrimiento superficial. Particularmente, se evidenció un gran incremento del NC > 85, de 12 ha en 1966 a 450 ha en 2011, representando un incremento areal del 17%.

Gráfico 1. Superficie de ocupación del uso del suelo (ha), escenarios 1966 y 2011.



En coincidencia con los estudios realizados en Chile por Aguayo *et al.*, (2009), el área en estudio ha sufrido modificaciones en casi todas las coberturas, donde los mayores cambios se produjeron entre el área forestada y la urbanización de la misma. En el caso del Cultivo agrícola, este ha mejorado su condición hidrológica debido a la implementación de medidas conservacionistas. En dirección contraria, el sobrepastoreo generó un aumento del NC.

Con la zonificación expresada en la Figura 4, la distribución espacial de escurrimiento para las dos fechas analizadas refleja cambios en la capacidad de la cuenca para producir escurri-

miento (Figura 5). Este análisis reveló que la alteración de la cobertura vegetal es un proceso clave que regula la dinámica hídrica del sistema cuenca. Como mencionan Castelán Vega *et al.* (2007), al realizar un balance de las tasas de cambio de uso del suelo puede observarse que los procesos se están acelerando, por lo que urge el desarrollo y aplicación de programas sustentables, enfocados al aprovechamiento racional de los recursos naturales en cuencas hidrográficas.

El modelo dinámico geoespacial utilizado permitió elaborar la modelización espacio - temporal del escurrimiento superficial por aplicación del NC (Figura 5).

Figura 4. Zonificación del NC: año 1966 (a) y año 2011 (b).

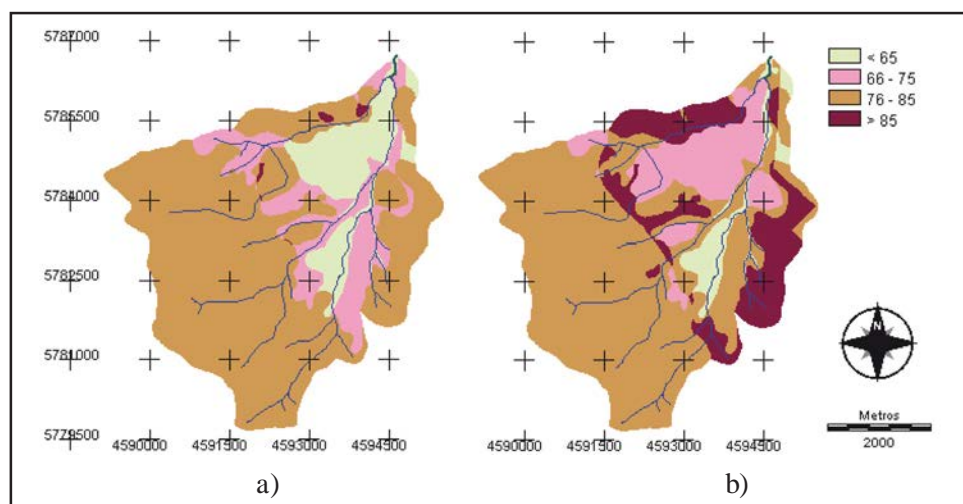
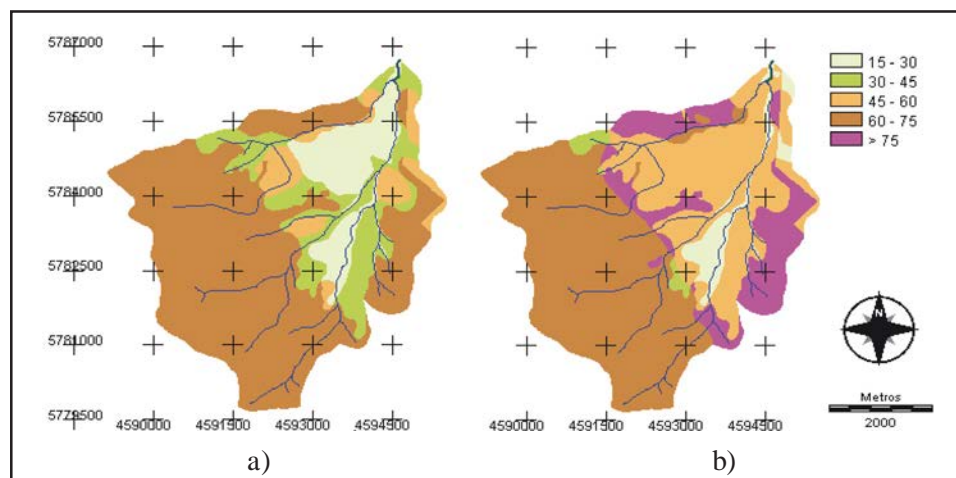


Figura 5. Escurrimiento superficial estimado (mm): año 1966 (a) y 2011 (b).



Se observa un aumento del escurrimiento superficial en la cuenca, principalmente evidenciado a partir del desplazamiento del sector medio y bajo de la cuenca desde las categorías inferiores hacia la categoría intermedia de 45-60 mm. Este desplazamiento hacia la categoría de 45-60 mm, ocurrido en suelos con GH B, se debe a dos motivos: por un lado al deterioro del suelo por compactación y degradación, producido por el aumento de la carga animal en tierras dedicadas a ganadería y al aumento de la urbanización en el sector correspondiente a Villa Ventana. Respecto al proceso de urbanización de Villa Ventana, se coincide con el estudio elaborado en Chile por Henríquez *et al.* (2006), en cuanto a la extrema importancia de la planificación del desarrollo y crecimiento de los centros urbanos, de modo de evitar los posibles daños causados por el aumento de la escorrentía superficial.

Por su parte, en los suelos con GH D, los rangos de escurrimiento superan los 75 mm en el año 2011, ocupando el 16% (415 ha) de la superficie total de la cuenca, siendo la causa principal el sobrepastoreo. Los resultados alcanzados coinciden con investigaciones de otros autores, realizadas a nivel regional (Frangi y Barrera, 1996; Lizzi *et al.*, 2007), donde se menciona el deterioro de los pastizales causado por especies herbívoras introducidas, así como la disminución de la incidencia de este proceso en las tierras de mayor altitud.

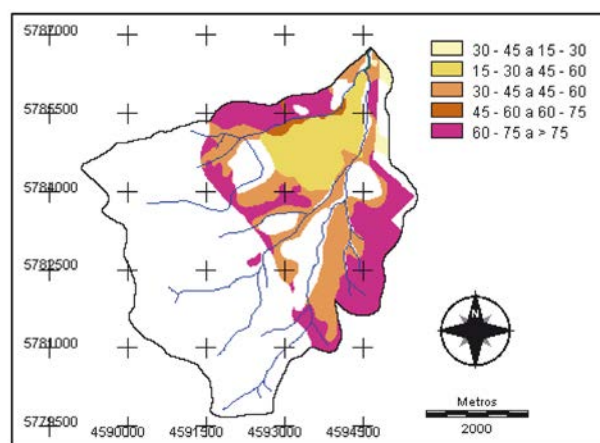
Por su parte, la cabecera de la cuenca ha permanecido sin alteraciones en cuanto al rango de escurrimiento estimado, debido a que el tipo de uso del suelo no ha variado. En esta zona, la conservación de la vegetación en buen estado puede asegurar un servicio ambiental hidrológico en la cuenca.

Variación espacio temporal por medio del módulo LCM.

La ejecución del Módulo LCM de Idrisi Taiga® proyectó las implicancias del exceso hídrico superficial en la cuenca del Arroyo

Belisario para el período 1966 - 2011. Como fuera mencionado previamente, en la cabecera de la cuenca (zona en color blanco) no se han presentado cambios en el rango de escurrimiento superficial, debido a la homogeneidad en el uso del suelo en el período analizado. En la Figura 6 se presenta la transición de caudal de escurrimiento superficial.

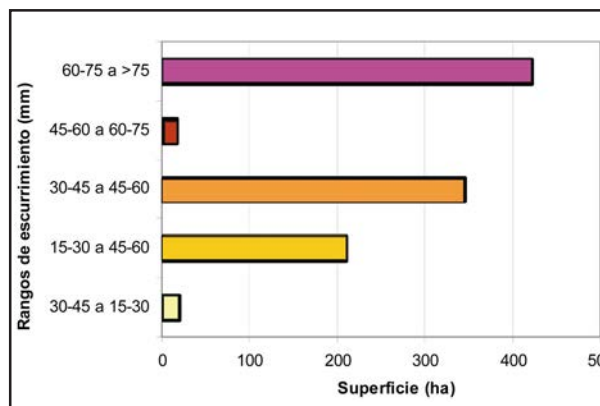
Figura 6. Mapa de transición entre rangos de escurrimiento superficial.



Categorías para 1966 a 2011 (mm): 1) 30 – 45 a 15 – 30; 2) 15 – 30 a 45 – 60; 3) 30 - 45 a 45 – 60; 4) 45 – 60 a 60 – 75; 5) 60 – 75 a > 75.

En el Gráfico 2 se expresa la superficie neta de cambio entre los distintos rangos de escurriendo superficial, en el período bajo análisis.

Gráfico 2. Superficie neta de cambio entre rangos de escurrimiento.



En el Cuadro 2 se presenta la tasa de cambio del escurrimiento superficial, analizada por rangos.

Cuadro 2. Tasa de cambio del escurrimiento superficial, período 1966 – 2011.

Rango de Escurrimiento (mm)	Tasa de Cambio (%)
15 - 30	- 1,99
30 - 45	- 5,24
45 - 60	2,87
60 - 75	0,62
> 75	25,70

En el Cuadro 2 se observa un incremento superior al 25% en la tasa de cambio en el rango mayor a 75 mm, que evidencia el avance en el actual estado de degradación de la cuenca, respecto del escenario planteado para 1966. En concordancia con Mintegui Aguirre y López Unzú (1990), se considera que de no incorporar medidas conservacionistas en el corto plazo, en una determinada cuenca hidrográfica, el volumen de escurrimiento seguirá aumentando, generando de este modo un impacto directo en el deterioro del suelo, como así también en la calidad y cantidad del recurso hídrico por arrastre y acarreo de sedimentos. Se coincide con Chow *et al.* (1994), en cuanto a que la calidad y cantidad del rendimiento hídrico se vuelve crítico al analizar el comportamiento integral de una cuenca hidrográfica.

Al igual que los resultados alcanzados por Ángeles y Gil (2006), se reveló un alto grado de fragilidad ambiental de la cuenca, como consecuencia directa de la interrelación de eventos naturales y la acción antrópica, observándose un alto grado de fragilidad en ciertos sectores, como consecuencia de un deficiente planeamiento a nivel local.

Según lo expresado por Sánchez *et al.* (2003), los resultados obtenidos a partir de este tipo de análisis aportan elementos que pueden ser empleados en la toma de decisiones dentro del proceso de planeación del uso de la tierra, como parte del proyecto de apoyo al plan de manejo territorial de la cuenca.

Conclusiones

La metodología de análisis espacial y la disponibilidad de información previa fue suficiente para describir la dinámica del escurrimiento en la cuenca y para cuantificar y analizar la tendencia de cambio en el uso del suelo y la respuesta hidrológica a lo largo de los últimos 45 años.


La modelización cartográfica de la tendencia de cambio del escurrimiento superficial expresó, a través del análisis espacio – temporal, un incremento netamente asociado al cambio de uso del suelo. Este efecto presupone que frente a la falta de un ordenamiento del territorio, el escurrimiento superficial continuará incrementándose y, consecuentemente, los problemas derivados del mismo, particularmente en la cuenca baja. La cabecera de la cuenca expresó un leve o nulo cambio en la generación de escurrimiento debido a que se mantuvieron las condiciones de uso del suelo.

Se recomienda implementar medidas de manejo y conservación del suelo, específicamente en el área correspondiente al Pastizal degradado (el cual abarca actualmente el 30% de la superficie total de la cuenca), con el fin de mitigar su degradación; evitando de este modo daños por excesos hídricos / sedimentarios a la población aguas abajo y al sistema cuenca en general.

A partir de la escasez de datos de aforos en la región, el desarrollo del modelo de tendencia espacio – temporal del escurrimiento superficial en la cuenca del Arroyo Belisario constituye un instrumento informático útil para el establecimiento de pautas de manejo del recurso hídrico, tendientes a la conservación del suelo, al manejo integrado de los cultivos y al control de la ganadería.

Los resultados obtenidos contribuirán en la elaboración de una futura propuesta de planificación tendiente a un ordenamiento territorial a nivel de la cuenca. La validación de los mismos se podría realizar por medio de la instalación de parcelas de escurrimiento para los diferentes usos del suelo.

Literatura citada

- AGUAYO, M., Pauchard, A., Azocar, G. y O. Parra. 2009. Cambio de uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Revista Chilena de Historia Natural* 82: 361-374.
- ÁNGELES, G. R. y V. Gil. 2006. Identificación del grado de transformación antrópica y riesgo ambiental en cuencas fluviales serranas. El caso de la cuenca del arroyo El Belisario (Argentina). *GeoFocus* (6): 138-151.
- BURGOS, J. J. 1963. Las heladas en la República Argentina. INTA. Colección Científica, Vol. 3. 388 pp.
- CASADO, A.L.; Gil, V. y A. Campo. 2007. Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario, Buenos Aires, Argentina. *Huellas* (11): 9-26.
- CASTELAN VEGA, R.; Ruiz Careaga, J.; Linares Fleites, G.; Perez Aviles, R. y V. Tamariz Flores. 2007. Dinámica de cambio espacio-temporal de uso del suelo de la subcuenca del río San Marcos, Puebla, México. *Investigaciones Geográficas* 64: 75-89.
- CHANG, M. 2006. Forest hydrology. An introduction to water and forests. Second edition. Taylor & Francis Group. USA. 473 pp.
- CHOW, V.; Maidment, D. y L. Mays. 1994. Hidrología Aplicada. Editorial Mc Graw Hill. Colombia. 584 pp.
- CRESPO, R. J.; Ares, G.; Sfeir, A.; Wingeyer, A.B y E. Usunoff 2010. Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Cuyo* 42 (1): 93-106.
- CUSTODIO, E. y M.R. Llamas. 1996. Hidrología Subterránea. Tomo I. Segunda edición. Ediciones Omega. España. 1157 p.
- DELGADO, M.I. y F.J. Gaspari. 2010. Caracterización morfométrica geoespacial de una cuenca hidrográfica. Estudio de caso: Cuenca del Arroyo Belisario, Argentina. *Tecnociencia Chihuahua* Vol. IV (3): 154-163.
- DELGADO, M.I. 2012. Tesis de Doctorado en Ingeniería, Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. Título de la Tesis: Comportamiento hidrológico en ambientes serranos. Estudio de caso cuenca del Arroyo Belisario. Provincia de Buenos Aires. 200 pp. Inédito.
- ECHEVERRÍA, C., Coomes, D., Salas, J., Rey Benayas, J; Lara, A. y A. Newton. 2006. Rapid deforestation and fragmentation of Chilean temperate forest. *Biological Conservation* 130:481-494.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 1996. Forest resources assessment. Survey of tropical forest cover and study change process. Rome N° 26. 152 pp.
- FRANGI, J y M. Barrera. 1996. Biodiversidad dinámica de los pastizales en la Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. Pp 134-162. in: G. Sarmiento y M. Cabido (ed). Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina. Mérida.
- FRANGI, J. y Bottino, O. 1995. Comunidades vegetales de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata* 71(1): 93-133.
- GASPARI, F.J.; Senisterra, G.E. y R.M. Marlats. 2007. Relación precipitación – escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso de la cobertura del suelo aplicada a una cuenca modal del Sistema Serrano de la Ventana. Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Cuyo* 34(1): 21-28.
- 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.
- GIL, V. y A. Campo. 2009. Disponible on line. (Último acceso: 10/12/10). Sitio web: http://egal2009.easyplanners.info/area07/7181_Gil_Veronica.pdf
- HAURI, B. A. 2006. Determinación de la erosión hídrica superficial asociada al uso de la cobertura del suelo en la cuenca hidrográfica del arroyo Belisario. Tesis de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, FCAYF, UNLP. 113 pp.
- HENRÍQUEZ, C. Azócar, G. y M. Aguayo. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Geografía Norte Grande* 36: 61-74
- INTA. 1987. Cartas de Suelos de la República Argentina. Hoja 3963-6-1. Instituto de Suelos Castelar. Buenos Aires.
- IOVIF. Instituto de Ordenación de Vertientes e Ingeniería Forestal. 1970. Informe Final Anexo Técnico IV. Proyecto de corrección del Arroyo Belisario – Centro de Estudios Florentino Ameghino. FAO/SF:77/ARG 9. Roma. 89 pp.
- KENT, K. M. 1968. A method for estimating volume and rate of runoff in small watersheds. SCS-TP-149. USA Soil Conservation Service. 63 p.
- KOZARIK, J. C. 1967. Estudio preliminar del estado natural de la cuenca Arroyo Belisario para su futura ordenación. Tesis de Grado. Pp. 53.
- LIZZI, J.M., Garbulsky, M., Golluscio, R. y A. Deregiibus. 2007. Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. *Ecología Austral* 17: 217-230.
- LÓPEZ CADENAS DE LLANO, F. 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. 945 pp.
- LORES, R. R.; J. U. Ulibarrena; C. Schoeder; J. M. Kozarik; J. E. Bruno y J. E. Nowisk. 1979. Suelos, control del escurrimiento y de la sedimentación en un área demostrativa de Tornquist – Provincia de Buenos Aires. Publicado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Colección científica – Tomo XVIII. 243 pp.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. y López Unzu, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I parte. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. 172 pp.
- 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®. *GeoFocus* 10: 11-26.
- SÁNCHEZ, J., Bocco, G., Fuentes, J. y A. Velázquez. 2003. Análisis de cobertura y uso del terreno en el contexto de su dinámica espacio-temporal. En Velázquez, A., Torres, A. y G. Bocco (comps.) Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales, Instituto Nacional de Ecología, México, pp. 235-256.
- SOIL CONSERVATION SERVICE – U.S DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1964. Section 4 Hydrology. Part 1: Watershed Planning. USA. 26 pp.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. 2000. Hydrologic Engineering Center. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual. 149 pp. 

Este artículo es citado así:

Delgado, M. I., F. J. Gaspari y G. E. Senisterra. 2013: *Tendencia de cambio espacio - temporal del escurrimiento superficial en una cuenca serrana. Argentina. TECNOCENCIA Chihuahua* 7(2): 99-109.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

MARÍA ISABEL DELGADO. En el año 2005 obtuvo el título de Ingeniera Forestal en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). En el año 2009 obtuvo el título de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, en la misma institución. En diciembre de 2012 defendió su Tesis Doctoral en la Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario. Actualmente se desempeña como becaria Postdoctoral del CONICET; a su vez, desde el año 2006 desarrolla tareas docentes en el curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas (FCAyF-UNLP). Su área de especialización es el manejo de cuencas y la conservación del recurso suelo y agua. Ha codirigido una tesis de Maestría. Es coautora de 15 artículos científicos y 3 libros de la especialidad. Ha presentado más de 29 trabajos en Congresos y eventos científicos.

FERNANDA JULIA GASPARI. Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 19 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. En Post-Grado se desempeña como Codirectora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Entre sus publicaciones se encuentran 8 libros, 8 capítulos de libro, 25 artículos en revistas y 82 trabajos en congresos. Ha realizado 22 informes técnicos y informes, y organizado 6 convenios inter-institucionales. Dirigió 10 tesis de Maestría; y actualmente tiene 2 en desarrollo. Dirige 3 tesis de doctorado. Ha dirigido 4 becas de experiencia laboral y 3 becas de Postgrado.

GABRIELA ELBA SENISTERRA. Ingeniero Forestal recibida en la Universidad Nacional de La Plata (Argentina) en el año 1980. Es docente de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP) desde el año 1983, desarrollando tareas en los cursos de Manejo de Cuencas Hidrográficas y Mejoramiento Genético Forestal. Participa en proyectos de Incentivos a la Investigación desde el año 1999. Entre sus publicaciones se encuentran 4 libros, 26 artículos en revistas científicas y 50 publicaciones en congresos, simposios y jornadas de la especialidad.