

SIMULACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL EN UNA CUENCA SERRANA BONAERENSE. ARGENTINA

Fernanda J. Gaspari¹, M. Isabel Delgado², Gabriela E. Senisterra³
Cátedra de Manejo de Cuencas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales.
Universidad Nacional de La Plata. Argentina

Diagonal 113 N° 469, CP 1900, La Plata. Tel: (0054 221) 423 6616 Fax: (0054 221) 425-2346
[1fgaspari@agro.unlp.edu.ar](mailto:fgaspari@agro.unlp.edu.ar) [2isadelgado80@yahoo.com.ar](mailto:isadelgado80@yahoo.com.ar) [3gseniste@agro.unlp.edu.ar](mailto:gseniste@agro.unlp.edu.ar)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la degradación del suelo generada por erosión hídrica superficial, y a la vez simular las consecuencias de la implementación de medidas conservacionistas para evitar la degradación del suelo, en un contexto del Sistemas de Información Geográfica Idrisi Andes, para una cuenca hidrográfica serrana ubicada en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. El estudio simuló dos situaciones potenciales (con y sin implementación de medidas conservacionistas), las cuales fueron comparadas con la situación actual (año 2007). Para el caso donde se implementaron medidas conservacionistas, el rango asignado a alta erosión disminuyó su área en un 16 %, estando esa área distribuida en los rangos de menor erosión. Por otro lado, en el caso sin aplicación de medidas conservacionistas, los rangos altos y medios de erosión tuvieron un incremento de sus superficies. Los resultados permitieron definir la dinámica de los suelos degradados en áreas serranas.

Palabras clave: erosión, SIG, cuenca hidrográfica, simulación espacio temporal.

SPATIO-TEMPORAL SIMULATION OF THE HYDRIC EROSION IN HIGHLAND HYDROGRAPHIC BASIN. ARGENTINA.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the soil degradation generated by the hydric superficial erosion, and to simulate the consequences of the implementation of soil conservation measures in order to avoid soil degradation. This is done within the context of the Geographic Information System Idrisi Andes, and for a highland hydrographic basin placed in the Southwest of

the Buenos Aires province, Argentina. The study simulated two potential scenarios (with and without conservation measures), which were compared with the current situation (year 2007). For the case with conservation measures the rank assigned to high erosion decreased its area by a 16 %, being that area distributed across the lower ranks of erosion. On the other hand, in the case without conservation measures, the high and moderate ranks of erosion suffered an increase in their respective areas. The results allowed for a definition of the dynamics affecting degraded soils in highlands.

Keywords: erosion, GIS, river basin, spatial-temporal simulation.

1. Introducción

La evaluación de la incidencia de factores que degradan el suelo por erosión hídrica superficial puede ser cuantificada a nivel de cuenca hidrográfica. Una cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y un área colectora de aguas, que contiene los recursos naturales básicos para las actividades humanas, manteniendo una continua y particular interacción con los desarrollos productivos del hombre (FAO, 1988; Gaspari *et al.* 2006).

La erosión, con su periodicidad temporal y espacial e influencia directa sobre las cuencas hidrográficas, provoca la devastación de la cobertura vegetal, dejando el suelo desprotegido y bajo la acción directa de los fenómenos atmosféricos (Gaspari, 2002).

El patrón de sucesión potencial del sitio erosionado, depende de una multiplicidad de variables. Entre ellas se encuentran: el tipo y uso de la vegetación, topografía, condiciones climáticas reinantes, tipo de suelo y geología, tamaño y severidad del impacto erosivo y principalmente su acción sobre los procesos naturales.

El manejo individual del terreno y el diagnóstico de las condiciones de cada sitio son fundamentales para determinar los factores que han incidido activamente sobre el evento erosivo. Para ello es necesario reconocer cuales son las modificaciones ocurridas. Estas alteraciones pueden ser provocadas por el aumento de la escorrentía superficial y consecuentemente por pérdida del mantillo que protege el suelo, trasladando este material a otros sitios más bajos de la cuenca. La pérdida de suelo superficial, por falta de protección, favorece la erosión hídrica laminar superficial o subsuperficial dificultando la recuperación del terreno e induciendo a la formación de surcos, regueros y/o cárcavas. El análisis espacial de la evolución de la erosión hídrica superficial y pérdida de suelo se puede evaluar con apoyo de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

El área de estudio se localiza en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La cuenca del Arroyo Ventana ha sido considerada como unidad representativa en el presente estudio de erosión hídrica en áreas serranas. Se ubica en la cabecera del Río Sauce Chico (38° 06' S y 62° W), Partido de Tornquist, formando parte del sistema orográfico de Ventania ([Figura 1](#)).

El desnivel es de 632 metros, representada por sierras hasta lomadas en su desembocadura.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, nº9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

Posee un sistema de drenaje predominantemente transitorio. Su superficie total es de 4953,80 ha.

Según Thornthwaite, el clima de la región se clasifica como templado y subhúmedo seco. La zona está comprendida entre las isotermas de temperatura media anual de 14 y 16 °C. La precipitación media histórica para Tornquist es de 615 mm, determinada a partir de una serie climática del período 1921-1950, del Servicio Meteorológico Nacional (Gaspari, 2002). Cabe destacar que presenta tormentas de tipo torrencial, que favorecen la actividad erosiva superficial.

Fitogeográficamente, se ubica en la Región Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral (Frangi y Bottino, 1995). El suelo de la región presenta aptitud agrícola-ganadera, siendo el turismo una actividad con gran auge. La cobertura forestal de *Pinus halepensis* y *Pinus radiata* en la cuenca, se distribuye en áreas con pendientes moderadas, apoyando la actividad agropecuaria y recreativa. El cambio de ocupación del suelo con pinos distribuidos aleatoriamente en el terreno sin control silvicultural, incide negativamente sobre el pastizal natural y áreas productivas y recreativas generando procesos erosivos incipientes y hasta de índole torrencial.

El estudio de la potencialidad erosiva según cambios temporales de uso del suelo adquiere especial importancia en la zona serrana de la provincia de Buenos Aires, dada la representatividad modal regional del sitio experimental. Debido a ello, la implementación de una metodología de análisis geoespacial de este proceso es un aporte significativo para tender al desarrollo sustentable.

El objetivo de este trabajo fue simular la implementación de medidas conservacionistas de suelos y zonificar la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial en una cuenca hidrográfica serrana bonaerense con SIG.

2. Metodología

El estudio consistió en la elaboración y procesamiento de cartografía georreferenciada de la cuenca del Arroyo Ventana, Buenos Aires, Argentina, a partir de material en soporte papel y digital. Esta cartografía digital permitió la generación de un modelo de simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial con SIG.

La base cartográfica se demarcó sobre el límite de la cuenca, definido por divisorias de agua, generado con el apoyo y análisis de la topografía, drenaje y litología local.

Se identificaron los suelos a partir de la carta de suelo del área de Tornquist, elaborada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1989), y de análisis de muestras de suelo antecedentes, con apoyo en el mapa litológico de la cuenca en estudio (Harrington, 1946).

La cobertura vegetal, y el uso actual para el año 2007, se zonificó por interpretación de información antecedente y apoyo de datos a campo, para cuya identificación se especificaron seis clases donde se consideró la estructura y tipo de cobertura vegetal y uso del suelo ([Tabla 1](#)). Posteriormente, esta zonificación permitió la definición de los campos de entrenamiento para realizar la clasificación supervisada de la cobertura vegetal, ajustada al área en estudio, sobre la

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", GeoFocus (Artículos), nº9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

imagen del Satélite LANDSAT 5 TM 226/086, WGS 84, de composición RGB 354, con fecha 05/01/07. La clasificación supervisada sirvió como herramienta de control y corroboración de unidades de cobertura vegetal y uso homogénea.

La evaluación de alternativas de cambio de cobertura vegetal potencial significó comparar dos situaciones hipotéticas a partir de una matriz de datos y la aplicación de un modelo de decisión multicriterio (Gómez Orea, 2008). Los criterios de evaluación se basaron en la identificación de diferentes medidas conservacionistas óptimas para cada cobertura vegetal, considerando la situación actual (año 2007) de base y una tendencia temporal (año 2015) donde se implementaron diferentes medidas de manejo conservacionista.

El estudio simuló a través del SIG dos situaciones potenciales:

A) El efecto del manejo de la cobertura vegetal y recuperación del suelo, por la suposición de implementación de medidas de manejo y conservación del suelo (curvas de nivel, fajas y control del pastoreo) y silviculturales (poda y manejo de rodal). Este caso se denomina 2015 A.

B) La ausencia de prácticas conservacionistas, nombrado como caso 2015 B.

A partir de la cartografía de cobertura vegetal actual (2007) se comparó, con respecto a la simulación al año 2015 (Caso 2015 A y 2015 B), estableciendo la tendencia de cambio. Esta tendencia de cambio se analizó con el software Idrisi Andes, con un nuevo módulo denominado Modelo de evaluación del cambio del uso del suelo (LCM), el cual es un programa por si mismo. Dicho modelo está integrado en la arquitectura de Idrisi para el análisis del cambio en las cubiertas del suelo, proyectando resultados para el futuro, con y sin medidas conservacionistas, como es este caso de estudio en la cuenca del Arroyo Ventana.

A partir de los resultados obtenidos se realizó el análisis de las implicaciones que estos cambios provocan sobre la cubierta terrestre.

Para la determinación de la escorrentía, factor generador de erosión hídrica superficial, se utilizó el método del número de curva (NC) desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Mintegui Aguirre *et al.*, 2003). Este método se basa en la estimación directa de la escorrentía superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cubierta vegetal (López Cadenas del Llano, 1998). Un valor bajo de NC indica una mayor infiltración, mientras que su aumento corresponde al incremento de la escorrentía superficial, generando una mayor erosión hídrica superficial. El NC se aplica para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo, siendo la condición II, correspondiente a la capacidad de campo, la utilizada en este trabajo.

El procesamiento cartográfico de la información digital de suelos - litología, permitió la generación de un mapa que expresa la zonificación de los grupos hidrológicos (GH), que representa diferentes áreas en base a la textura y permeabilidad del suelo, según los criterios del Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari, 2002; Mintegui Aguirre *et al.*, 2003). Los GH se clasifican en clase A: arenoso; B: franco-limoso;

C: franco-arcillosa; D: arcillo limoso y/o presencia de roca en superficie.

A partir del análisis de cobertura vegetal y uso generado por cartografía para el año 2007 y para las dos situaciones simuladas al año 2015, se estableció el valor de NC ponderado según cobertura vegetal, en relación a la variabilidad del GH en la cuenca del Arroyo Ventana ([Tabla 2](#)). El posterior análisis y procesamiento geoespacial generó el mapa de número de curva (NC) definiendo las condiciones hidrológicas para cada complejo suelo-vegetación. Las combinaciones suelo-vegetación similares responden de manera análoga en cuanto a escorrentía bajo una tormenta local de intensidad apreciable, cuya escala de valores se expresa según la escorrentía generada en cada situación de uso de suelo y GH (López Cadenas de Llano, 1998).

Para la cuantificación espacial del riesgo de erosión hídrica superficial actual (año 2007) se procedió a generar una superposición cartográfica entre el NC y la grilla de valores de pendiente, la cual incide directamente en la emisión, transporte y depositación de sedimentos. La zonificación de la pendiente se estableció en base al Modelo Digital del Terreno (MDT), que se generó por la digitalización de la carta topográfica 3963-5-2, Tornquist, del Instituto Geográfico Militar (Escala 1:50.000, equidistancia 25 metros).

El modelo SIG espacio-temporal implementado para el procesamiento LCM, según la evaluación de alternativas, y la zonificación de áreas de riesgo de erosión hídrica superficial se presenta en forma integrada en la [Figura 2](#).

3. Resultados y discusión

La simulación de la implementación de medidas conservacionistas al año 2015, en la cuenca del Arroyo Ventana (Caso A), no generó modificaciones en relación al área de ocupación de cada categoría de cobertura vegetal, debido a que se han modificado solamente las características estructurales y de conservación de suelo, no la superficie de ocupación. En el Caso B, se modificaron las zonas de las diferentes coberturas vegetales generando un nuevo mapa de cobertura vegetal al año 2015, que presenta los mayores cambios sobre el pastizal degradado, el área forestal y el pastizal con roca.

La aplicación del Modelo de evaluación del cambio del uso del suelo (LCM) permitió cuantificar y zonificar la diferencia, establecida a partir del año 2007, por la implementación de medidas conservacionistas, por medio de la definición de áreas de ganancias y pérdidas de ocupación en superficie. En la [Figura 3a](#) y [Figura 3b](#), se visualizan en forma cuantitativa y espacial los resultados de los cambios producidos por la simulación del modelo cartográfico, respectivamente. El pastizal degradado ha expresado cambios de superficie de ocupación, con un posible aumento debido a la necesidad de aumentar el tipo y cantidad de las medidas conservacionistas simuladas. Se identificó un aumento en la distribución del área forestal, favorecida por el manejo silvicultural y implantación de bosques protectores en sitios de criticidad erosiva expresados en la situación actual, año 2007. Esta fue la categoría más beneficiada ya que aumentó 294.65 ha. Los cambios más relevantes se originaron con la disminución del área de pastizal con roca, el cual se transformó en pastizal degradado, debido a un posible sobrepastoreo y la incorporación de forestaciones.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", GeoFocus (Artículos), nº9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

En relación al análisis de la erosión hídrica superficial dentro de la cuenca del Arroyo Ventana se identificaron los Grupos hidrológicos B, C y D, con una superficie de ocupación de 1033.2; 572.4 y 3348.2 ha respectivamente.

En la Figura 4 se visualiza el cambio de comportamiento hidrológico (NC) según rangos prefijados para este caso de estudio, desde el año 2007 ([Figura 4a](#)) al año 2015, debido a la influencia de las medidas conservacionistas implementadas (b) y su carencia (c). En el caso de la [Figura 4b](#), esta figura representa en forma espacial los grandes cambios derivados de la simulación temporal del NC. Esta transición expresa la disminución en superficie de ocupación de los rangos de NC mayores a 90 y aumento de los menores a 60, por efecto de la forestación y protección del suelo por la cobertura vegetal. En la [Figura 4c](#) caracteriza el cambio del NC, en aumento, y por consecuencia la degradación del suelo superficial, por efecto de la disminución de la cobertura vegetal aumento del escurrimiento superficial. La Figura 4 refleja la condición hidrológica de los resultados alcanzados por LCM.

El mapa de pendiente de la cuenca del Arroyo Ventana expresó una zonificación en rangos según la [Tabla 3](#), alcanzando un porcentaje de superficie de ocupación por rango de: 8, 9, 13, 21, 24 y 25 %, respectivamente, identificando una leve participación del rango de pendiente mayor al 15%. A partir de este detalle se interpreta que la cuenca presenta pendientes con leve a alto poder erosivo, expresado en la ocupación de una superficie de 4093 ha con pendientes superiores a 3%, rango que se considera como umbral de inicio de la actividad erosiva superficial por acción del agua.

El análisis espacial temporal de la pérdida de suelo ratificó la importancia de la aplicación de medidas conservacionistas, cuyos resultados se expresan en la [Tabla 3](#) y [Figura 5a](#), cuyo rango de leyenda de color es homogéneo a la [Figura 5b](#), de zonificación del riesgo de erosión hídrica superficial, para permitir una mejor visualización cuali-cuantitativa del efecto. En la [Figura 5a](#) se expresan los tres casos de estudio comparativamente, representando los resultados de la simulación. En la situación actual se presentan cuatro rangos de erosión hídrica superficial, los cuales, en forma creciente, expresan el aumento de superficie degradada por este proceso, la cual alcanza valores extremos principalmente al conjugarse la pendiente mayor al 5% y la ausencia de protección por cobertura vegetal del suelo, coincidentes con altos NC, en la zona de cabecera de cuenca y divisorias de agua. En las planicies de inundación se expresa la menor pérdida de suelo, por posible deposición de materiales y leve acción de transporte de los mismos, por presencia de cobertura vegetal de mayor envergadura de follaje, presencia de rocas sobre el cauce para el control de torrentes y disminución de la pendiente. En el caso A, se refleja el aumento del rango muy baja pérdida de suelo al realizar medidas conservacionistas, disminuyendo en forma conjunta el bajo y alto, siendo este último el que produce aumento del rango contiguo medio. Este cambio se establece debido al control del movimiento de partículas de suelo por erosión hídrica, las cuales se ven contenidas por las diferentes medidas de control de la pendiente. En relación al caso B, se expresa un aumento de pérdida de suelo en los rangos mayores a bajo, desapareciendo el muy bajo, debido a una falta de control sobre la escorrentía superficial y transporte de sedimentos por parte de la cobertura vegetal degradada y el descubrimiento del suelo, todo favorecido por el efecto del gradiente de pendiente.

La zonificación de dichos resultados se presenta en las Figuras 5b₁₋₂₋₃.

- En la [Figura 5b₁](#) se visualiza la erosión actual que indica que el 57% de la cuenca presenta alto riesgo de erosión y el 34% dentro del rango entre medio y bajo. Solo el 9% de la cuenca presenta riesgo muy bajo.
- Dentro del rango de riesgos en el caso A ([Figura 5b₂](#)) se expresa que la disminución de superficie en el rango alto (41%) se desplaza al nivel medio y bajo (38%) y al muy bajo con 21%, siendo importante los beneficios aportados por las medidas de manejo y control conservacionista.
- El alto riesgo potencial de erosión hídrica superficial se evidencia en el caso B ([Figura 5b₃](#)) representado en gran parte de la cuenca (60%) y la clase de medio a bajo riesgo en el resto de la misma (40%). En este caso, sin medidas conservacionistas, las áreas con riesgo de erosión muy bajo se anulan.

Es importante destacar que en ninguno de los casos se presentan riesgos de erosión muy altos, debido a que no se generan zonas de pendientes de más de 15% con NC mayores a 80.

Al analizar estos resultados se aprecia el beneficio de la cobertura vegetal y medidas conservacionistas sobre tierras con pendiente. Resultados similares se han obtenido en cuencas de la región cuyas condiciones de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial son representativas del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, permitiendo su extrapolación (Gaspari, 2002; Boyeras *et al*, 2005). Este estudio permitió constatar la eficacia del método aplicado en la cuenca representativa, con el fin de evaluar los riesgos potenciales de erosión hídrica superficial por pérdida de suelo.

4. Conclusiones

La estimación y zonificación de la pérdida de suelo superficial por medio de la evaluación del riesgo de erosión hídrica superficial, efectuadas con SIG, denotaron la influencia que ejerce el cambio de cobertura y la pendiente sobre la dinámica de la erosión hídrica superficial.

La aplicación de la metodología para identificar y calificar la erosión hídrica superficial potencial en cuencas hidrográficas por medio del NC y su interacción con un SIG resultó adecuada para el objetivo propuesto en este trabajo. Las herramientas disponibles actualmente (cartas topográficas, imágenes satelitales, fotografías aéreas, procesadores de información) contribuyeron a la precisión del diagnóstico con esta metodología. La integración del análisis de tendencia con el Modelo de evaluación del cambio del uso del suelo (LCM) cuantificó áreas con pérdida y ganancia de superficie de ocupación de cada tipo de cobertura vegetal.

La simulación espacio temporal permitió definir que la cobertura vegetal y su manejo es un factor fundamental en el análisis de los suelos degradados, brindándole la merecida importancia en

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): “Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina”, *GeoFocus (Artículos)*, nº9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

el momento de planificar las distintas actividades productivas tanto a nivel local como regional.

A partir de la información generada se concluyó que es necesaria la implementación de medidas conservacionistas en las áreas críticas afectadas por erosión hídrica superficial en la cuenca del Arroyo Ventana, de condiciones serrana bonaerense, de cara a lograr contener y evitar la remoción del recurso suelo a nivel superficial. Las medidas de conservación de suelos, en sitios identificados como de alta erosión potencial, están dirigidas a objetivos concretos, como la rehabilitación, la ordenación y la restauración de terrenos agrícolas-forestales degradados y la protección del núcleo urbano rural, de las zonas de recreación y vías de comunicación para el desarrollo sustentable de la cuenca hidrográfica.

Referencias bibliográficas

- Boyeras, M.; Gaspari, F.J. y Hauri, B.A. (2005): “Estudio y diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica superficial en el Parque Provincial Ernesto Tornquist”. *Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Versión digital.
- FAO (1988): *Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina*. Santiago de Chile. FAO- RLAC, 36 pp.
- 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*, Tomo 71 (1) 93-133.
- Gaspari, F. J. (2002): *Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas. Aplicación de SIG*. Buenos Aires, Ediciones Cooperativas, 116 pp.
- Gaspari, F. J.; Bruno, J.; Rickfelder, R.; Hauri, B.; Cornely, I.; Oroná, C. y Leonart, M. (2006): “*Manejo integral de cuencas hidrográficas serranas del Partido de Tornquist*”. Buenos Aires. Editorial Universitaria, 135 pp.
- Gómez Orea, D. (2008): *Ordenación territorial*. Madrid, Mundi Prensa S.A.
- Harrington, H. (1946). *Carta Geológica-Económica de la República Argentina. Sierra de la Ventana - Provincia de Buenos Aires*. Hoja: 34 m. SMA. Esc. 1:200.000.
- INTA. (1989). *Descripción de Cartas de Suelo de la Provincia de Buenos Aires*. Castelar. Cap.4.1: 43-55. Esc. 1:500.000. INTA. 234 pp.
- López Cadenas de Llano, F. (1998): *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid, Editorial TRAGSA. 945 pp.
- Mintegui Aguirre, J. A y López Unzú, F. (1990): *La Ordenación agrohidrológica en la planificación*. Vitoria-Gasteiz, Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, 307 pp.
- Mintegui Aguirre, J. A.; Robredo Sánchez, J. C. y Sendra Arce, P. J. (2003): *Avenidas torrenciales en el Arroyo del Partido y su incidencia en la Marisma del Parque Nacional Doñana*. Madrid, Edita Organismo Autónomo Parques Nacionales, 377 pp.

TABLAS

Tabla 1. Superficie de ocupación de cada cobertura vegetal para el año 2007, en la cuenca del Arroyo Ventana.

Categoría	Cobertura vegetal	Superficie	
		(ha)	(%)
1	Área forestal	253,57	5
2	Pastizal con roca	2902,66	59
3	Pastizal degradado	848,54	17
4	Pastura y forraje	457,90	9
5	Planicie de inundación	126,29	3
6	Uso agrícola	364,83	7
		4953,80	100

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos obtenidos con SIG.

Tabla 2. Número de Curva ponderado según cobertura vegetal actual y simuladas.

Cobertura vegetal	Número de Curva		
	2007	2015-A	2015-B
Área forestal	62	61	88
Pastizal con roca	91	88	91
Pastizal degradado	85	69	89
Pastura y forraje	75	69	83
Planicie de inundación	90	88	90
Uso agrícola	79	72	79

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Tabla 3. Rangos de riesgo de erosión hídrica superficial, según valores de pendiente y Número de Curva. (Referencias: Muy Bajo (MB), Bajo (B), Medio (M), Alto (A), y Muy Alto (MA)).

		Rangos de Número de Curva					
		< 60	61-70	71-80	81-85	86-90	>90
Rangos de Pendiente	0-1,5 %	MB	MB	B	B	B	B
	1,5-3 %	MB	MB	B	B	M	M
	3-5 %	MB	MB	B	M	M	M
	5-7,5 %	MB	B	M	M	M	A
	7,5-10 %	MB	M	M	A	A	A
	10-15 %	B	M	A	A	A	A
	> 15 %	M	A	A	MA	MA	MA

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, nº9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

FIGURAS

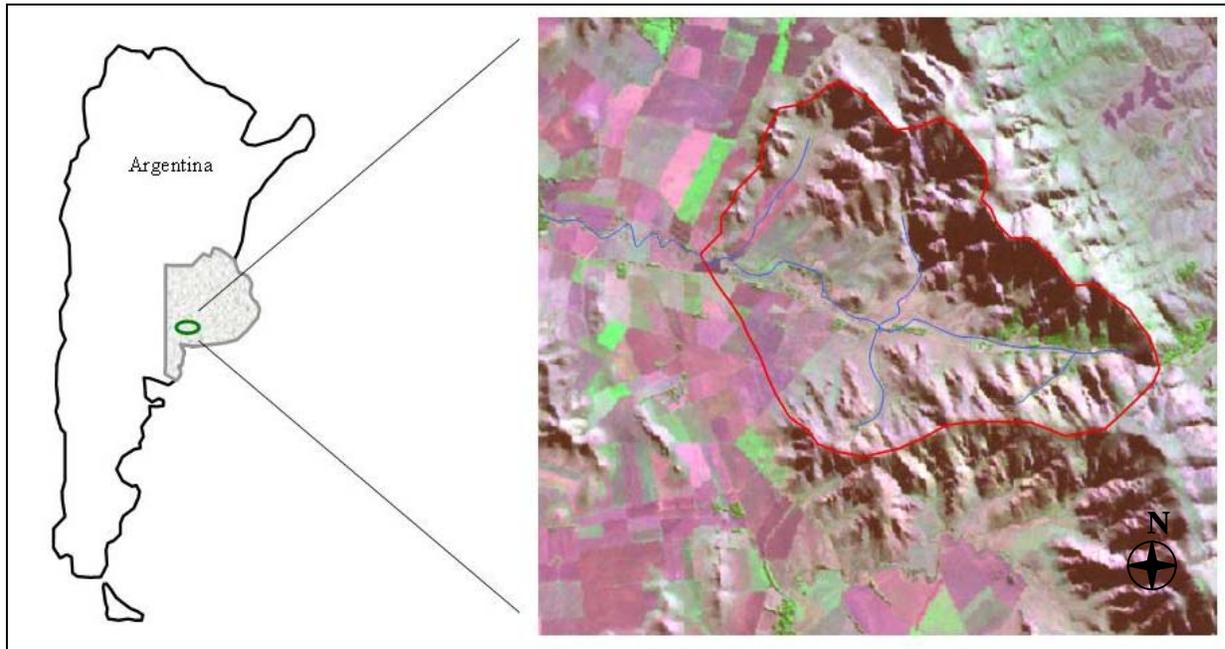


Figura 1. Mapa de ubicación general e imagen satelital de la Cuenca del Arroyo Ventana. Provincia de Buenos Aires. Argentina.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

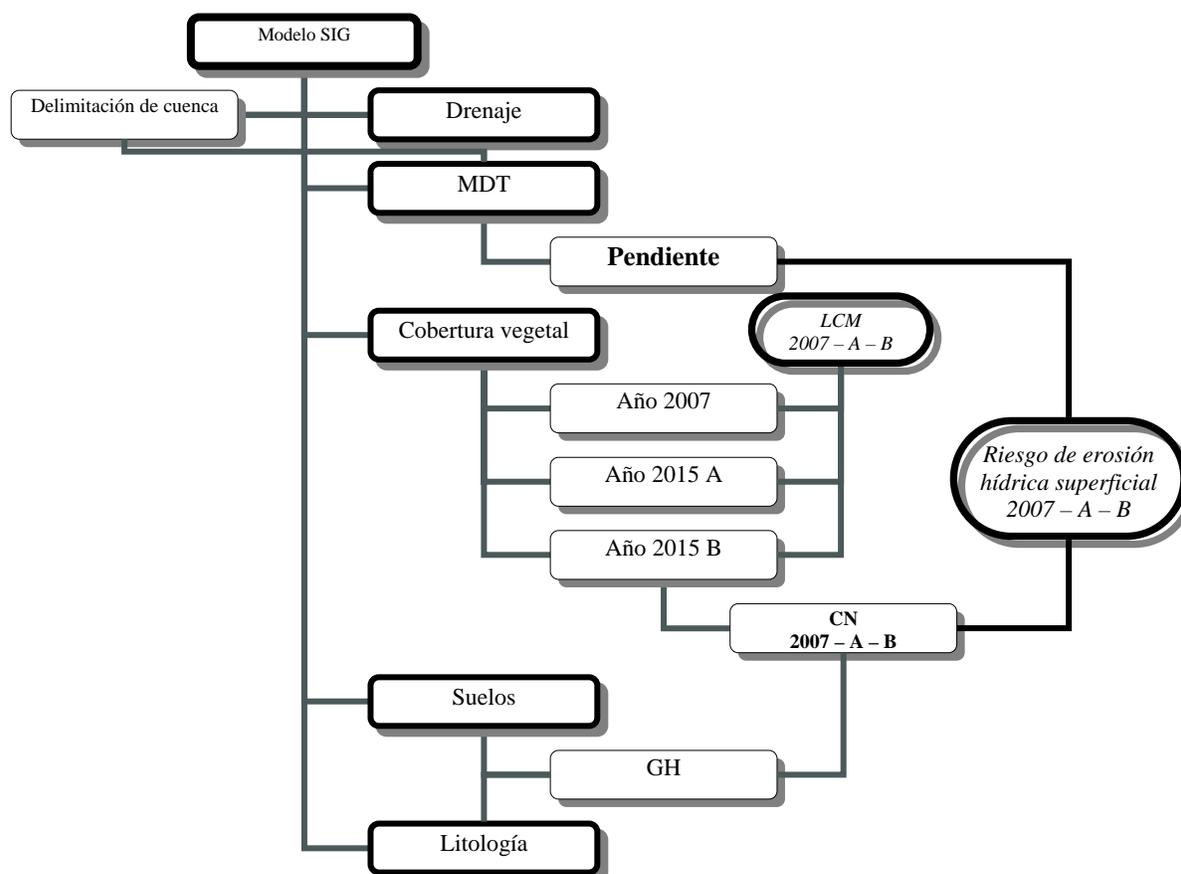


Figura 2. Modelo de simulación espacio-temporal con SIG, para evolución de alternativas de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca del Arroyo Ventana.

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

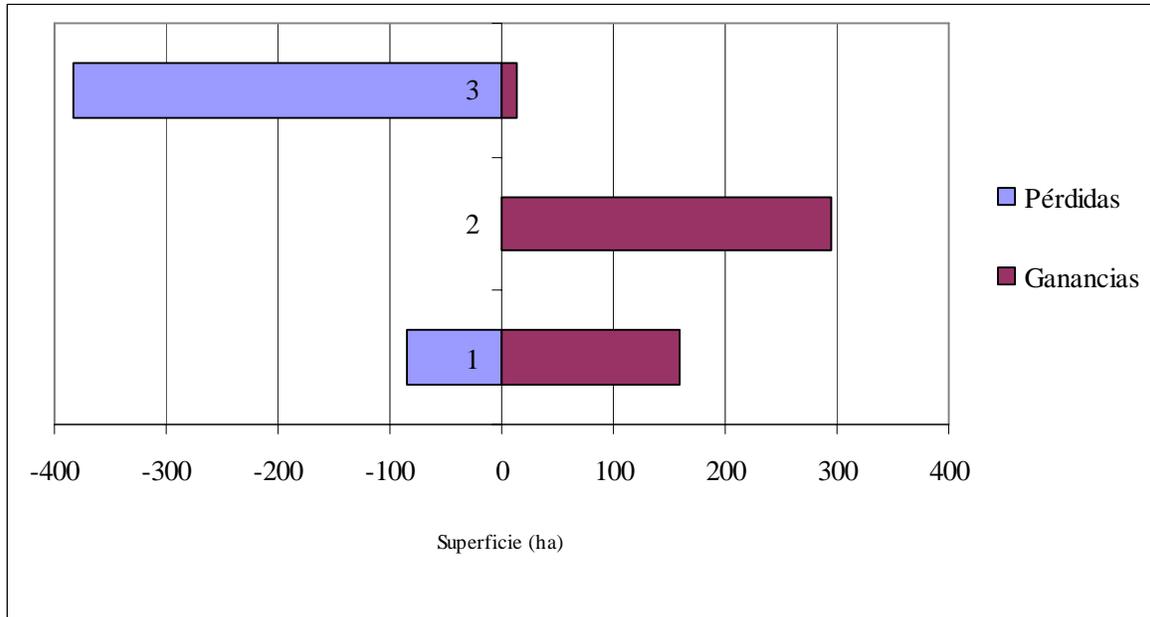


Figura 3a. Resultados del LCM por pérdidas y ganancias en superficie de ocupación en la cuenca del Arroyo Ventana. (1: Pastizal degradado; 2: Área forestal; 3: Pastizal con roca).

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

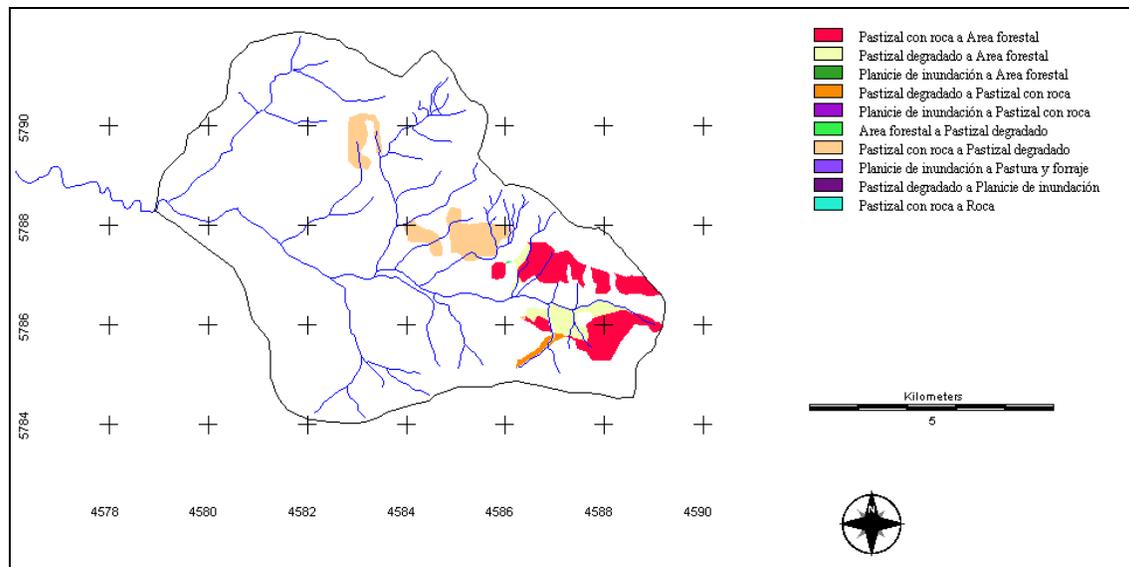


Figura 3b: Zonificación de los cambios de cobertura vegetal simulada con Idrisi Andes.

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

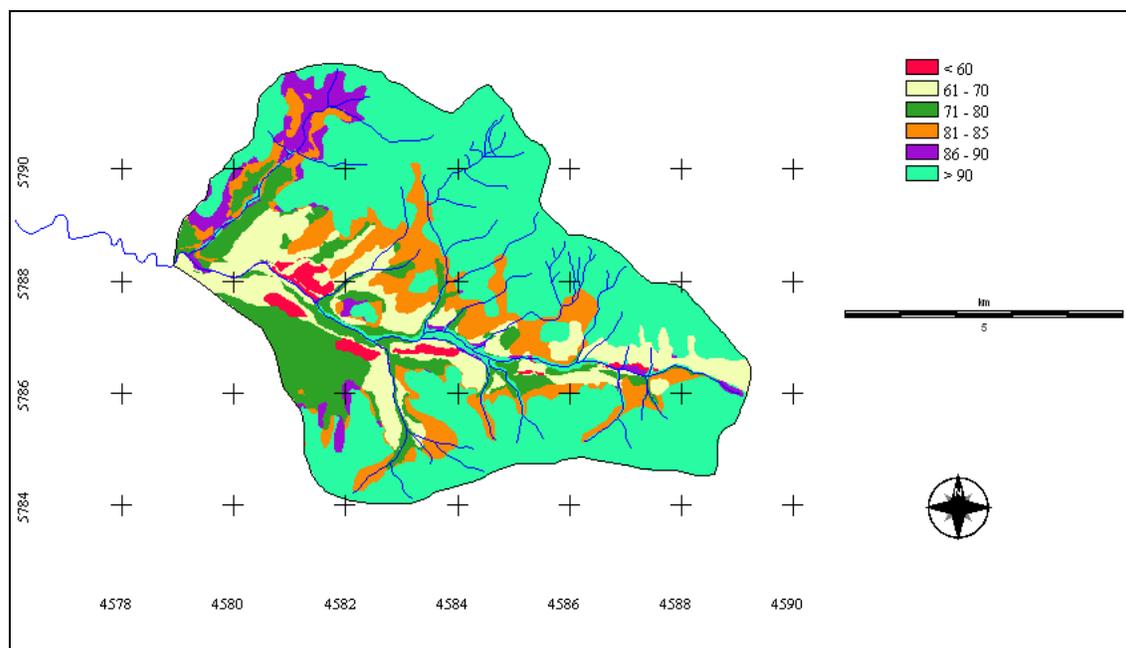


Figura 4a. Zonificación de NC para la situación actual (2007).

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

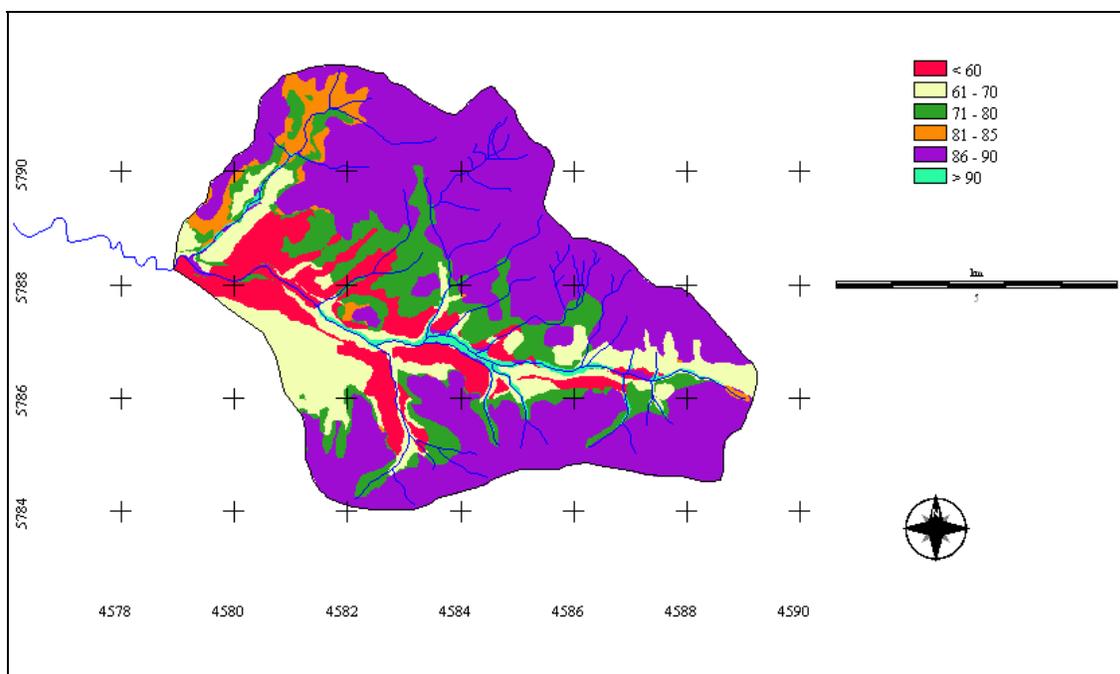


Figura 4b. Zonificación de NC para la situación simulada con medidas conservacionistas

(2015). Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

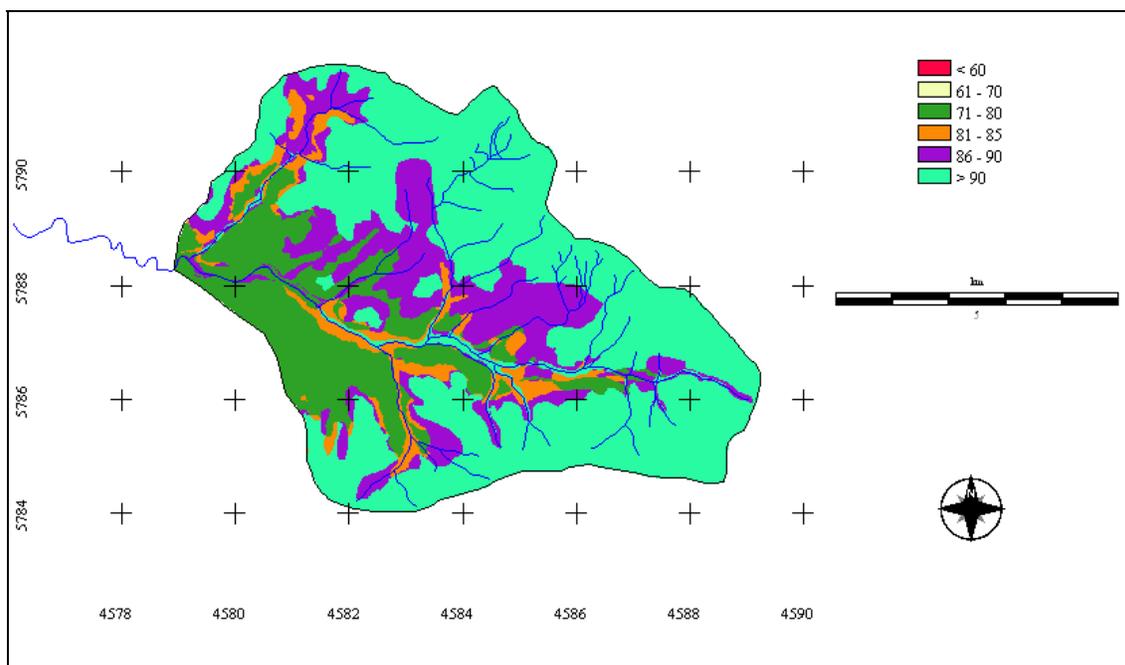


Figura 4c. Zonificación de NC para la situación simulada sin medidas conservacionistas (2015). Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): "Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina", *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

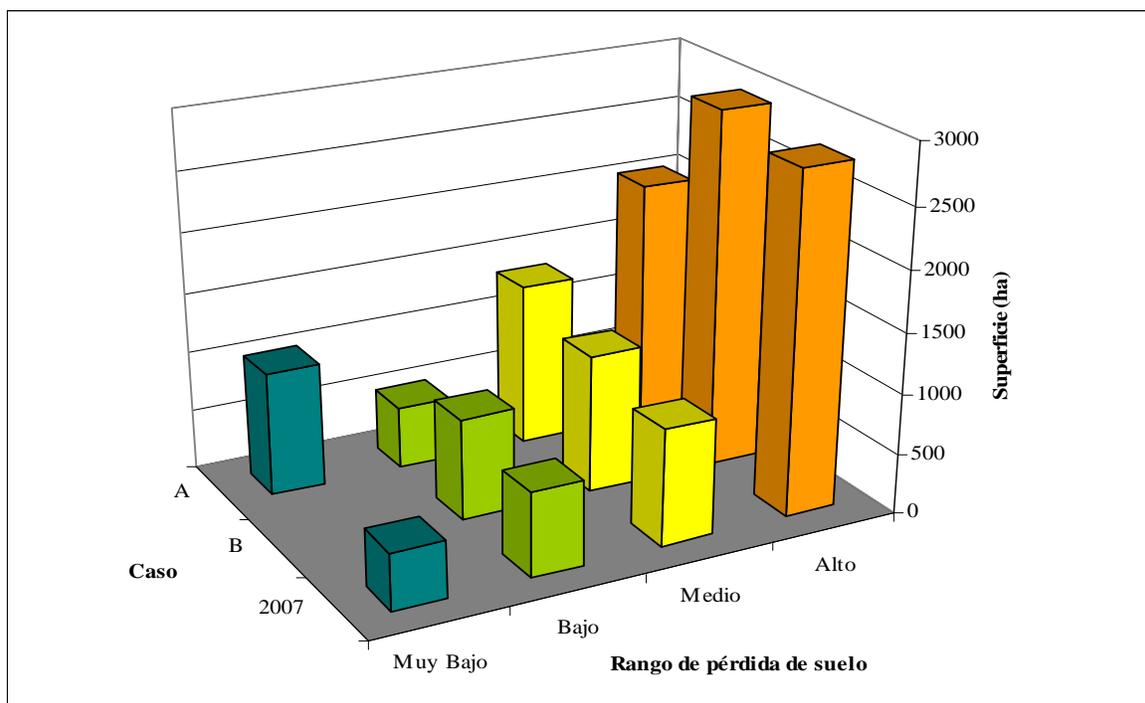


Figura 5a. Rangos de riesgo de erosión hídrica superficial en los tres casos analizados.

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

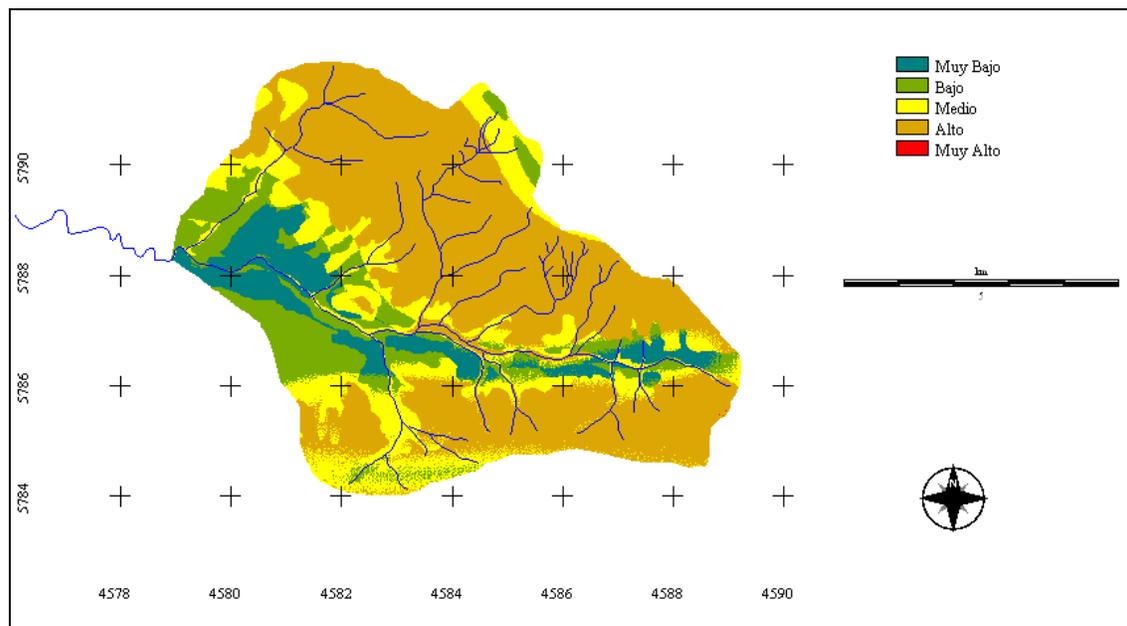


Figura 5b₁. Mapa de zonificación del riesgo de erosión hídrica superficial actual (2007).

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

Gaspari, F. J., Delgado, M. I. y Sensiterra G. E. (2009): “Simulación espacio-temporal de la erosión hídrica superficial en una cuenca serrana bonaerense. Argentina”, *GeoFocus (Artículos)*, n°9, p. 67-82. ISSN: 1578-5157

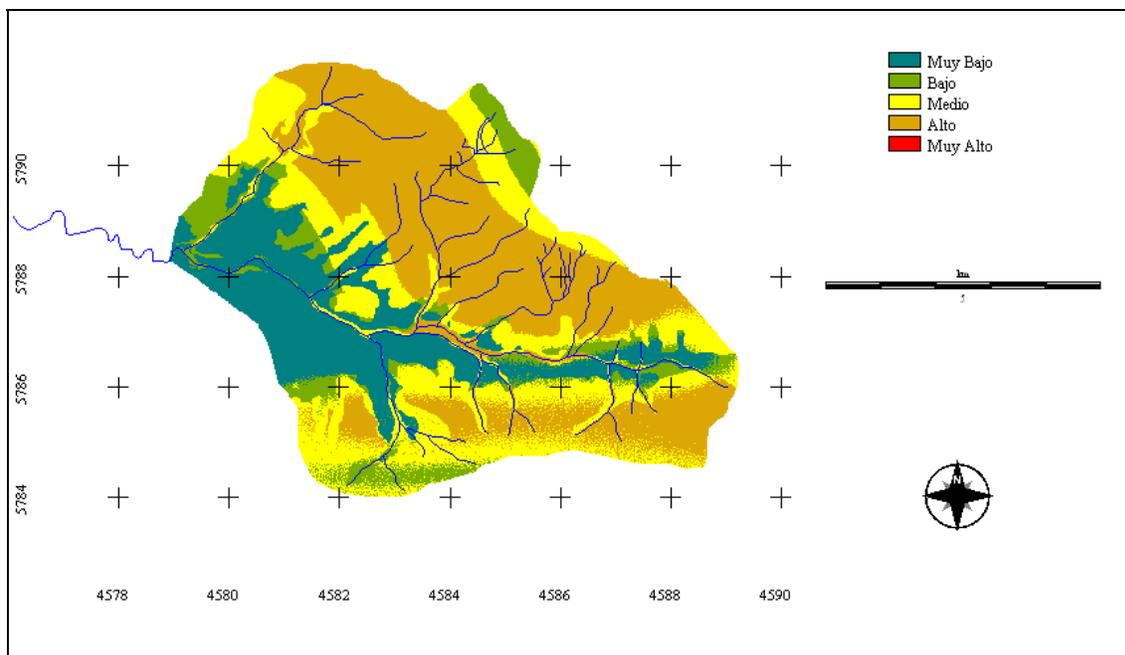


Figura 5b₂. Mapa de zonificación del riesgo de erosión hídrica superficial simulada con medidas conservacionistas (2015).

Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.

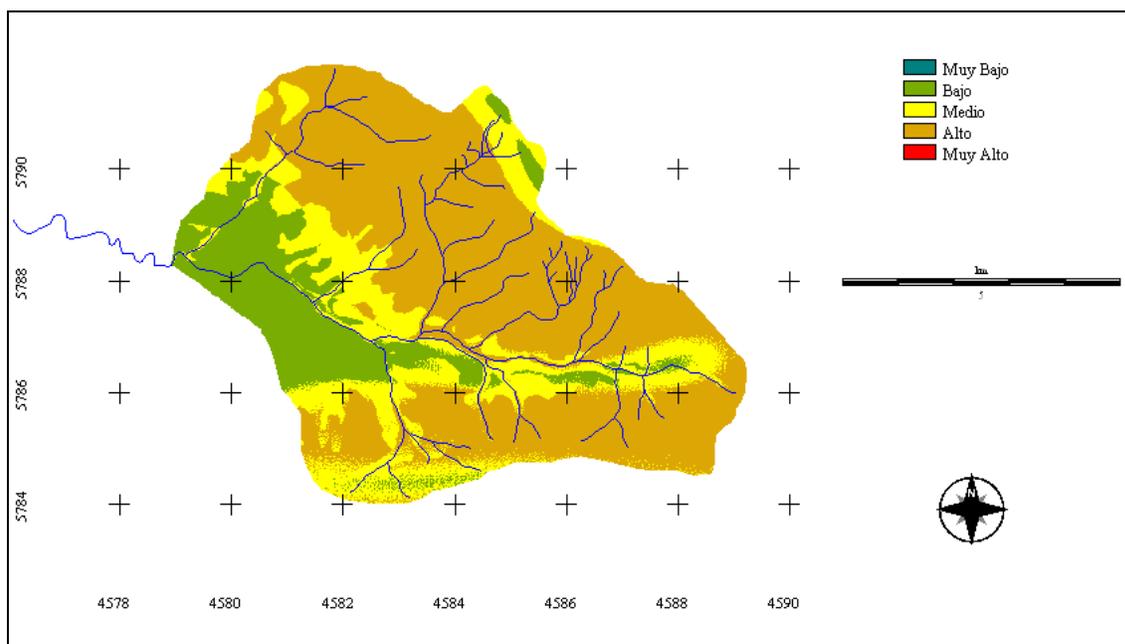


Figura 5b₃. Mapa de zonificación del riesgo de erosión hídrica superficial simulada sin medidas conservacionistas (2015). Fuente: Elaboración propia sobre análisis de datos simulados.