

ESTIMACIÓN ESPACIAL, TEMPORAL Y ECONÓMICA DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA SUPERFICIAL

Spatial, Temporal and Economic Estimation of Soil Loss from Surface Water Erosion

F. J. Gaspari^{1‡}, M. I. Delgado¹ y G. A. Denegri¹

RESUMEN

Los cambios irreversibles generados como consecuencia de las actividades socio-económicas hacen necesario que se prevea el ordenamiento y la utilización controlada de los recursos naturales disponibles. La intervención planificada sobre el medio debe caminar tanto hacia un crecimiento sostenible como al mantenimiento de un entorno natural digno para el hombre de hoy y las generaciones futuras. Para ello, se consideró la cuenca hidrográfica modal serrana bonaerense (Argentina) del arroyo Ventana. El objetivo fue realizar un diagnóstico espacial, temporal y económico de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial, utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica. El método de estimación cuantitativa fue el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), valorándose el diferencial de margen bruto en una situación con y sin manejo sustentable. El material rocoso con una marcada impermeabilidad, las pronunciadas pendientes y la ausencia de prácticas agroforestales adecuadas, aumentó considerablemente los valores de escurrimiento, propiciando el consecuente incremento de la erosión hídrica superficial. Los resultados económicos mostraron que debido al elevado monto de quebranto anal regional (US\$ 217 000 000), se refuerza la importancia de generar un plan de ordenamiento territorial. Las consecuencias negativas de la pérdida de suelo no se plasmaron únicamente a nivel ecológico, sino también en el económico, ya que la productividad de los cultivos también sufrió una disminución de ingresos en los distintos sectores involucrados.

Palabras clave: *cuenca, GIS, USLE, pérdida económica, margen bruto.*

¹ Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. 1900 La Plata, Buenos Aires, Argentina.

[‡] Autor responsable (gasparifermanda@gmail.com)

SUMMARY

The irreversible changes generated by socio-economic activities make regional planning and controlled use of the available resources necessary. Planned environmental intervention must lead to both sustainable growth and conservation of natural surroundings for present and future generations. This study was conducted in the Ventana hydrographic basin in southwestern Buenos Aires, Argentina, to generate a spatial, temporal and economic diagnosis of soil loss by surface water erosion, using a Geographic Information System. The method used for quantitative estimation was the USLE model (Universal Soil Loss Equation), evaluating the gross differential margin with and without sustainable management. The highly impermeable rock, steep slopes, and absence of appropriate agroforestry practices increased the runoff values, propitiating an increase in the levels of surface water erosion. The economic results showed that, because of the elevated amount of annual regional financial setback (US\$ 217 000 000), generating a territorial management strategy is even more important. The negative consequences of soil loss are not only ecological, but economic as well, since crop productivity decreased incomes of the different sectors involved.

Index words: *basin, GIS, USLE, economic lost, gross margin.*

INTRODUCCIÓN

Las distintas condiciones climáticas y los usos de la tierra que actúan sobre las diversas condiciones naturales moldean al recurso suelo y, en ciertas ocasiones, lo degradan. La erosión hídrica de suelos es la cantidad bruta de suelo removido por la acción dispersante y de transporte de las gotas de lluvia o del escurrimiento superficial. La pérdida de suelo está representada por los sedimentos desprendidos de un campo con una pendiente determinada. La producción de sedimentos se define como el suelo depositado en un punto que está bajo evaluación (Kirkby, 1994). La pérdida promedio

de suelo, se puede estimar y utilizar para recomendar ajustes en su uso, a fin de mejorar su retención y reducir los efectos perjudiciales.

Una herramienta para estimar la pérdida de suelo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) que permite obtener tasas de erosión para varios sistemas de uso y manejo en unidades de tierra específicas, combinando la información proveniente de investigación relacionada con la erosión hídrica para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación (Wischmeier y Smith, 1978; López Cadenas del Llano, 1998). Cuando estas tasas se comparan con la erosión tolerada, permite definir y seleccionar las combinaciones de cultivo y manejo que posibiliten un control adecuado de la erosión. La USLE faculta a los productores para llevar a la práctica los resultados obtenidos en la investigación para la conservación del suelo (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Páez, 1992).

La erosión hídrica superficial es conveniente analizarla en el marco del paradigma de las cuencas hidrográficas. La cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de las aguas. No hay dos cuencas iguales, las características físicas de una cuenca (tamaño, forma y relieve) y los recursos vivos que contiene, son únicos, así como los tipos de uso que se presentan (FAO, 1988). En el presente trabajo se estudió una cuenca hidrográfica localizada en el Partido de Tornquist, al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, sitio que presenta serios problemas de erosión hídrica superficial que afectan la productividad agrícola-ganadera y aumentan los conflictos sociales en las áreas rurales. La actividad ganadera y agrícola produce la erosión hídrica laminar, misma que ocasiona pérdidas de material sedimentario en el horizonte superficial y, por lo tanto, afecta el rendimiento de los cultivos. Este impacto provoca la denudación del suelo por la excesiva carga animal y la falta de prácticas de conservación del suelo en las actividades agrícolas, aumentándose el escurrimiento superficial al inicio de la época de lluvias. El objetivo del presente trabajo fue realizar tanto un diagnóstico espacial, temporal como una valoración económica de la pérdida del suelo por erosión hídrica superficial en la cuenca del arroyo Ventana en el marco de un Sistema de Información Geográfica (GIS).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en una cuenca hidrográfica serrana que comprende parte del Sistema

Serrano de Ventania, formado por cordones serranos que se extienden de SE a NO, separados por valles transversales denominados localmente *abras*. Los suelos predominantes son Hapludoles líticos someros y Argiudoles profundos, cubiertos, principalmente, por pastizales.

La cuenca del arroyo Ventana se ubica en la cabecera este del río Sauce Chico, 38° 01' y 38° 07' S y 61° 57' y 62° 08' O, Partido de Tornquist, Buenos Aires, Argentina (Figura 1). Posee una superficie de 4809 ha y, debido a sus características físico-ambientales y sociales modales, es representativa de las condiciones serranas en un área de 3.6 km².

Según la clasificación de Thornthwaite, el clima es templado subhúmedo seco (Burgos, 1963). La temperatura media anual es de 14.5 °C y la precipitación media histórica de 909 mm, con una distribución temporal con marcada estacionalidad, concentrando el 64% del total en el semestre octubre a abril, siendo marzo y abril los que registran mayores valores mensuales de precipitación, según el Servicio Meteorológico Nacional-Fuerza Aérea Argentina. No existe estacionalidad marcada en la dirección y velocidad de los vientos predominantes. La humedad relativa media anual es del 70% y las heladas son frecuentes entre los meses de abril y septiembre (Gaspari, 2000).

Las unidades cartográficas de suelo se conforman por las series: *Alta vista-Bonete* (Hapludol lítico, franco fino, mixta, térmica), *Estancia ojo de agua* (Hapludol lítico, limosa fina, mixta, térmica), *Fuerte argentino* (Argiudol ácuico, franca fina), *Goyena* (Endoacual típico, franca fina), *Napostá* (Hapludol lítico, franca fina), *Tornquist-Dufaur-Erize* (Paleudol petrocálcico, limosa fina, mixta, térmica) y *Tres picos* (Paleudol petrocálcico).

La vegetación nativa predominante es la estepa gramínea, ubicada en la Región Fitogeográfica Neotropical, Dominio Chaqueño, Provincia Pampeana, Distrito Pampeano Austral (Frangi y Bottino, 1995). La vegetación herbácea varía según la altitud y las condiciones de pendiente y exposición en que se encuentran las laderas. En la zona de las lomadas suaves se presenta vegetación esteparia formada por hierbas perennes xerófilas. Sobre las laderas de la sierra, la vegetación es pobre y se reduce a manchones debido a abundantes afloramientos rocosos (Cabrera, 1968; Frangi y Bottino, 1995). En las forestaciones predominan los géneros *Pinus*, *Cupressus* y *Eucalyptus*, limitados a apoyar la actividad agropecuaria, presentándose bajo la forma de montes de abrigo para el ganado, cortinas

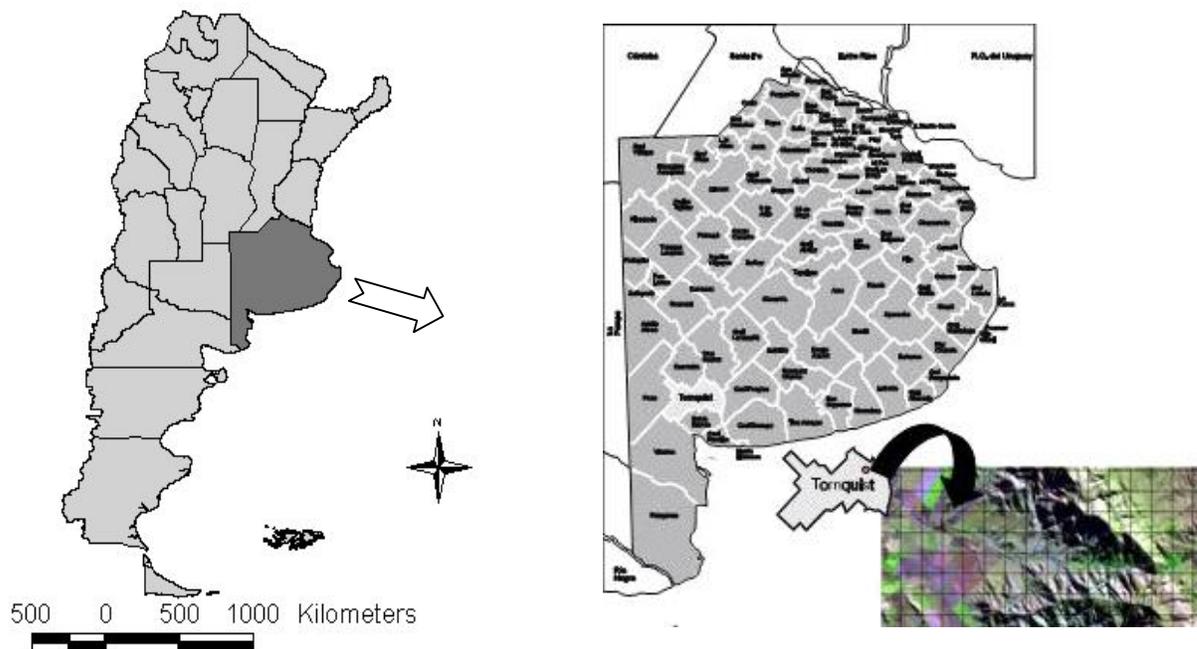


Figura 1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Argentina. Buenos Aires. Tornquist. Cuenca del Arroyo Ventana.

forestales de protección, montes ornamentales y una pequeña área de montes protectores y de recreación. No se encuentran masas de especies arbóreas nativas de importancia.

La región presenta aptitud para el uso agrícola-ganadero. Los cultivos principales son trigo, girasol y recientemente soja. La actividad ganadera se basa en la cría e internada bovina. En invierno se realiza el pastoreo en las áreas altas.

El diagnóstico espacial, temporal y económico de la erosión en la cuenca del arroyo Ventana se realizó mediante el uso de cartografía base y su incorporación a un GIS. para generar diferentes mapas temáticos, que fueron digitalizados a partir de dicha información analógica de referencia. El límite de la cuenca del Arroyo Ventana se estableció por divisorias de agua topográfica, donde las unidades de drenaje se ajustaron a la cartografía del Instituto Geográfico Militar (IGM) realizada en 1970 a equidistancia de 25 m, y a la Carta de Suelos Hoja 3963-5-2 y Plano Catastral Rural, realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (escala 1:50.000). El procesamiento y análisis de los mapas se realizó íntegramente con el programa IDRISI 32 (Clark Labs., 2001).

El modelo cuantitativo utilizado para estimar la pérdida anual de suelo fue la ecuación USLE (Wischmeier y Smith, 1978). Para su aplicación se procedió a la representación cartográfica digital de cada uno de los factores intervinientes y su procesamiento con el fin de obtener una zonificación.

La expresión del modelo USLE, según López Cadenas del Llano (1998) se presenta a continuación:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

donde: A = pérdida de suelo por erosión pluvial ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); R = factor índice de erosión pluvial o de erosionabilidad del aguacero ($\text{J cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); K = factor de erodabilidad del suelo ($\text{Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$); LS = factor topográfico, donde L: factor longitud de pendiente; S = factor pendiente; C = factor ordenación de cultivos; P = factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo.

A partir de un análisis de antecedentes y una consulta bibliográfica, el factor R adquirió un valor anual de $289.65 \text{ J cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para la zona de estudio (Gaspari, 2000).

Para la confección del mapa del factor K se digitalizaron las distintas unidades cartográficas de suelo para su análisis geoespacial a partir del GIS.

La estimación del factor LS partió del mapa topográfico con curvas de nivel equidistantes cada 50 m. Se elaboró el Modelo Digital del Terreno (MDT) y los mapas de exposición e iluminación de laderas que representan en forma digital la topografía de la cuenca. El MDT permitió modelar, analizar y desplegar fenómenos, relacionando la topografía y la pérdida de suelo superficial a partir de la determinación de la longitud y el porcentaje de pendiente.

La evaluación del factor C es a menudo difícil debido a los múltiples sistemas de cultivo y de manejo (Kirkby, 1994). La interpretación del factor C, de la cobertura vegetal y uso del suelo se analizó y representó mediante una zonificación sobre la imagen 226/086, del satélite LANDSAT 7 ETM WGS 84, para lo cual se procedió a su reproyección espacial y georreferenciación. Se trabajó con la composición RGB 354, por considerarla adecuada para identificar y zonificar el mapa del factor de ordenación de cultivos en la cuenca. Con los datos tomados de campo mediante GPS y la información obtenida a partir de una clasificación supervisada del área, se procedió a digitalizar los usos del suelo y generar la cartografía actual del factor C, según la clasificación de Mintegui Aguirre y López Unzú (1990). Para el análisis temporal se introdujeron medidas potenciales de manejo y conservación del suelo para disminuir las pérdidas y transporte de sedimentos en diferentes sitios críticos, por medio de un procesamiento digital.

El factor P se consideró uniforme y unitario en toda la cuenca, debido a la carencia de prácticas mecánicas de conservación del suelo, considerando el LS establecido.

El resultado final de la aplicación del modelo USLE se obtuvo procesando la cartografía mediante el uso del GIS.

Los valores económicos de la pérdida de suelo se determinaron mediante márgenes brutos modales a precios de 2005, considerando las reducciones del rendimiento de la producción reportadas por Bakker *et al.* (2004) para condiciones similares a la cuenca en estudio. Para agricultura se tomó un promedio entre los márgenes de trigo y girasol. Para el uso ganadero se consideró un modelo de cría, donde se seleccionaron distintos niveles de producción de carne, según la productividad de los mismos.

A partir de la disminución del rendimiento en la producción de 4.3% (mínimo), 10.9% (medio) y 26.6% (máximo) por cada tonelada de suelo perdido, según el modelo de Bakker *et al.* (2004), se modelaron

tres escenarios de detrimento económico en ganadería y cultivos. A partir de ello se realizó la comparación con una situación ideal en donde se aplican medidas conservacionistas, resultante de la simulación con la USLE al modificar el factor C. El resultado final constituyó un intervalo de pérdidas económicas que permiten dimensionar, en términos financieros, la magnitud de la erosión hídrica en ausencia de prácticas de conservación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del procesamiento geoespacial de cada factor que constituye la USLE, surge la zonificación y cuantificación de cada uno de ellos.

Las características texturales y estructurales del suelo fueron fundamentales en la determinación de las áreas críticas, y la presencia de roca en la superficie generó un efecto erosivo de gran impacto negativo. Los afloramientos rocosos se presentan en gran parte de la cuenca intercalados con pastizal de altura. Este material rocoso presenta una marcada impermeabilidad y fracturas que aumenta considerablemente el escurrimiento superficial y, consecuentemente, la erosión hídrica.

De los factores que componen la USLE, la erosionabilidad de las precipitaciones R y P forman parte de los datos antecedentes y el resto de los factores determinados se presentan a continuación.

El Cuadro 1 expresa los valores de erosionabilidad del suelo (K), ponderados por cada unidad cartográfica y la superficie ocupada dentro de la cuenca, también representado cartográficamente en la Figura 2. Asimismo, en el Cuadro 1 se expresa el porcentaje de incidencia de cada fase integrante de una unidad cartográfica.

En relación con el Cuadro 1 se establece que los afloramientos rocosos ocupan 68% de la cuenca. Los valores más bajos de erodabilidad del suelo alcanzan valores de $0.4 \text{ Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ representando suelos de fase somera, ocupando un 13% de la cuenca. El resto de las unidades cartográficas se expresan cercanas a $0.56 \text{ Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

La pendiente tiene una marcada presencia en la región, por lo cual podría considerarse, *a priori*, que los riesgos de erosión serán elevados por la acción del desnivel. La presencia del mismo denota su influencia en la determinación del factor LS, en el modelo USLE (Figura 3). Los valores del factor LS calculados

Cuadro 1. Unidades cartográficas edafológicas y erosionabilidad del suelo (factor K; $\text{Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) ponderado por superficie en la cuenca del arroyo Ventana.

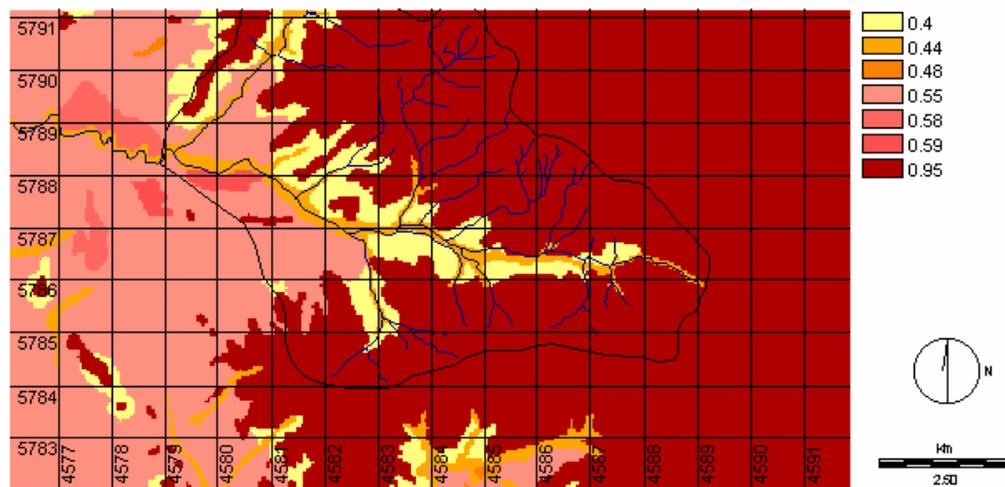
Unidad cartográfica - fase	Incidencia	K	Superficie ocupada
	%	$\text{Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$	ha
Bonete, fase somera	50	0.4	625
Napostá	50		
Dufaur, moderadamente inclinado	70	0.58	1
Alta Vista, moderadamente inclinado	30		
Dufaur, fase erosión hídrica	50	0.59	42
Dufaur	40		
Estancia Ojo de Agua	10		
Fuerte Argentino	70	0.44	351
Goyena	30		
Tornquist	30	0.55	120
Dufaur, petrocálcico	30		
Tres picos, petrocálcico	20		
Napostá	20		
Tres Picos	30	0.55	390
Tornquist	30		
Dufaur	20		
Napostá	20		
Afloramientos rocosos	100	0.95	3280

expresan un predominio de valores menores de 4 cuando se estudia un área cercana a la planicie de inundación y las zonas aledañas a los cursos de agua. En estos lugares, donde las pendientes son muy cortas y pronunciadas, sobre el área de afloramientos rocosos y divisorias de agua, se alcanzan valores extremos, con un LS superior a 10.

El factor C se identificó según la cobertura vegetal y diferentes usos de suelo presentes en la cuenca, como

se expresa en el Cuadro 2, para dos momentos de tiempo, actual y potencial, con medidas de conservación de suelo y silviculturales. Existen sitios particulares donde no se han aplicado ningún tipo de medidas correctoras, debido a su sensibilidad ambiental al cambio.

Los valores estimados por el modelo USLE se agruparon en niveles de pérdida de suelo superficial por erosión hídrica, para brindar una mayor comprensión de los mismos (Figura 4). Como puede apreciarse,

**Figura 2. Mapa de erosionabilidad del suelo (factor K; $\text{Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) en la cuenca del arroyo Ventana.**

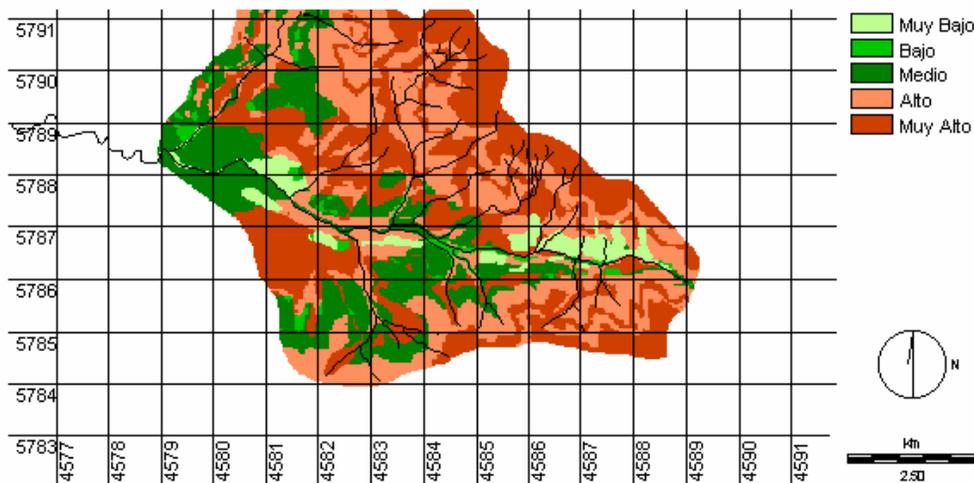


Figura 3. Mapa de factor topográfico (LS) en la Cuenca del Arroyo Ventana.

los riesgos actuales de erosión hídrica superficial para la cuenca alcanzan valores considerables en sectores con pendiente.

En la simulación de pérdida de suelo, donde se introdujo el manejo del uso del suelo y la pendiente con prácticas de conservación, como fajas y prácticas silvícolas sobre la masa forestal, generó una importante disminución de las pérdidas de suelo por erosión hídrica potencial estimada, indicando los valores que se expresan en el Cuadro 3.

El área que presentó pérdidas menores de 5 Mg ha⁻¹ año⁻¹ casi no sufrió variación; los otros rangos presentan cambios debido a que mejora la estructura del suelo y el intervalo alto se ve aumentado, ya que se incorpora superficie que anteriormente estaba en el muy alto, que se repite con el pasaje de medio a bajo.

Cuadro 2. Factor ordenación de cultivos (C) en la cuenca del Arroyo Ventana con base en Minteguí Aguirre y López Unzu (1990).

Uso del suelo	Valor de C		Superficie ha
	Actual	Potencial	
Pinar	0.001	0.001	103
Bosque mixto/mirador	0.02	0.02	48
Arboleda-recreación	0.02	0.005	65
Pinar incendiado	0.03	0.01	51
Planicie de inundación	0.07	0.04	124
Pastizal de altura	0.11	0.08	256
Pastizal degradado	0.2	0.1	837
Pastura y forraje	0.25	0.13	457
Uso agrícola	0.25	0.06	365
Roca en superficie	0.042	0.042	2503

La lámina de suelo perdido se representa en la Figura 4 según el uso del suelo en la cuenca del Arroyo Ventana, reflejando y confirmando el beneficio que otorgan las medidas de manejo y conservación del suelo y silvícolas para la retención del suelo superficial en un escenario potencial.

En la Figura 5 se muestra que las medidas de conservación de suelo aplicadas a sitios con actividad agrícola han generado muy buenas expectativas, debido a que presentan una disminución en la pérdida de suelo de 75%, aproximadamente. Estos mismos valores también los alcanza el manejo silvicultural simulado en áreas de arboleda y uso recreativo. La zona de pinar incendiado presenta grandes diferencias, debido a las prácticas de raleo efectuadas. El pastizal degradado y el de altura presentan una disminución potencial de la cantidad de suelo perdido en 50 y 27%, respectivamente, debido al manejo del ganado y el enriquecimiento del pastizal natural. Esto mismo se visualiza en áreas con pastura y forraje. Las zonas donde no se implementaron medidas de conservación de suelos, como son el pinar,

Cuadro 3. Evolución de la superficie ocupada por cada intervalo de pérdida de suelo por erosión hídrica superficial estimada.

Intervalo	Pérdida de suelo Mg ha ⁻¹ año ⁻¹	Superficie ocupada ha		
		Actual	Potencial	Diferencia
Muy bajo	Menor de 5	112	114	2
Bajo	5 a 10	103	560	457
Medio	10 a 25	582	541	-41
Alto	25 a 50	2808	3594	786
Muy Alto	Mayor de 50	1203	0	-1203

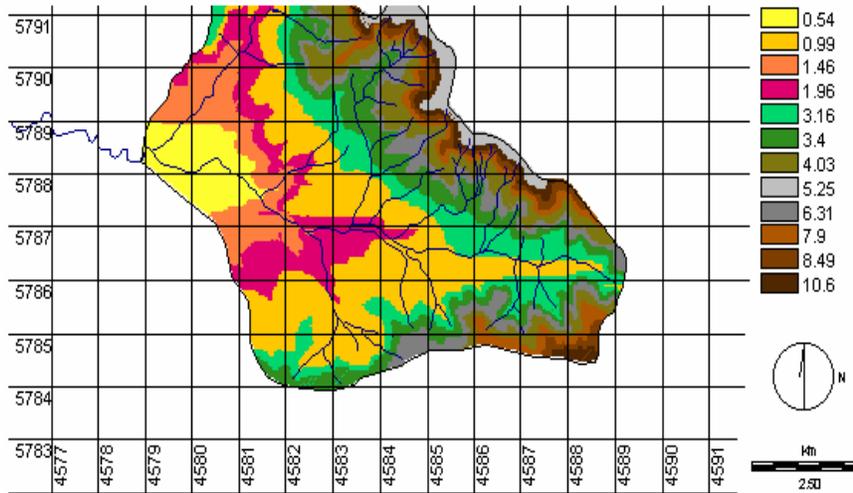


Figura 4. Mapa de intervalos de pérdida de suelo ($Mg\ ha^{-1}$) superficial por erosión hídrica según la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en la Cuenca del Arroyo Ventana.

el bosque mixto/mirador y el área con roca en superficie, no han presentado diferencias.

En el Cuadro 4 se aprecian los márgenes brutos de las actividades consideradas en la situación ideal y los obtenidos al considerar una producción menor debida a la pérdida de suelo de $10\ Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$, reflejada en tres escenarios.

Las pérdidas de margen bruto en cada unidad de uso de suelo se aprecian en el Cuadro 5. Al expresar los montos por unidad de superficie con uso agrícola, se encuentra que en el escenario de mínima pérdida se produce una disminución de $US\$ 6\ ha^{-1}$ y en un escenario pesimista una de $US\$ 37\ ha^{-1}$. La alta pérdida de suelo en los cultivos constituye el uso del suelo más

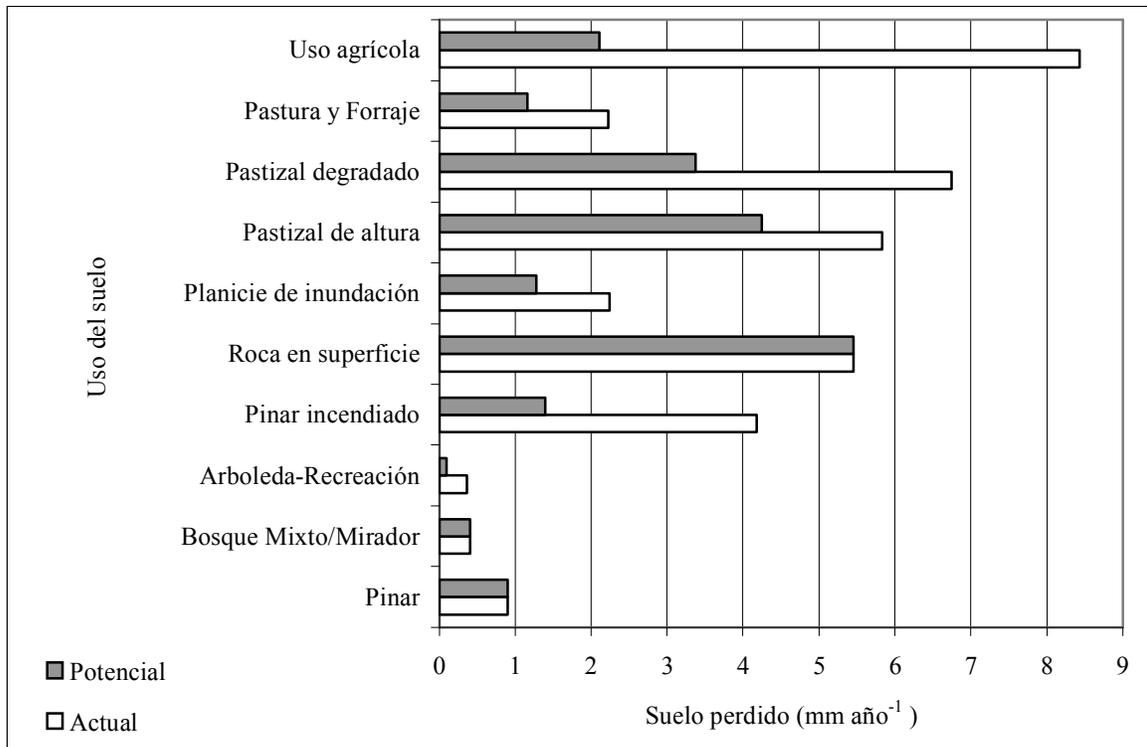


Figura 5. Lámina de suelo perdida ($mm\ año^{-1}$) según resultado de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) e identificando usos del suelo en la cuenca del Arroyo Ventana mediante diferentes escenarios.

Cuadro 4. Márgenes brutos (US\$ ha⁻¹ año⁻¹) sin y con pérdida de suelos, según diferentes escenarios y porcentajes de disminución de producción.

Tipo de producción	Márgenes brutos sin pérdida de suelo	Márgenes brutos con pérdida de suelo		
		Mínimo	Medio	Máximo
	-----	-----	-----	-----
	US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹			
Trigo	122	108	88	40
Girasol	229	213	188	128
Carne bovina	54	51	47	37

Mínimo = 4.30%; Medio = 10.90% y Máximo = 26.60% de la disminución de la producción.

degradante y el que más aporta a la erosión global. La extrapolación de este dato a la superficie que representa esta cuenca, suma un decremento de US\$ 217 000 000 por no aplicar medidas conservacionistas, lo cual justifica la formulación de un programa de manejo integral de recursos naturales para la cuenca.

Atis (2006) quien utiliza una metodología comparable aplicada a cultivos de algodón bajo riego en Turquía, encuentra reducción en el margen bruto de US\$ 860 ha⁻¹, contrastado con el escenario medio para uso agrícola que es de US\$ 53 ha⁻¹; el monto mayor se explica porque el algodón es un cultivo industrial y, por lo tanto, de mayor valor unitario.

Particularmente para la región de estudio, cuando se estimaron las pérdidas económicas debidas al cambio en el uso del suelo, se determinaron valores de un promedio de US\$ 5 ha⁻¹ (Denegri *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

- El diagnóstico espacio-temporal generó la zonificación de la pérdida del suelo superficial en la cuenca del arroyo Ventana, dicho proceso permitió definir el estado actual de erosión hídrica, el cual, con apoyo de la simulación de cambios de uso del suelo, se logró proyectar en mejores escenarios futuros, dentro del marco de un Sistema de Información Geográfica.

- La pérdida de suelo utilizando la ecuación universal de pérdida del suelo se expresó en forma crítica (con valores mayores a 50 Mg ha⁻¹ año⁻¹) principalmente donde las pendientes son elevadas y la cobertura vegetal escasa. En donde se observaron zonas con cobertura arbórea en buen estado se establece que esta protección del suelo disminuye las pérdidas de suelo, ya sea en sectores con o sin pendientes abruptas para la región. La vegetación herbácea establece que, en áreas planas,

Cuadro 5. Pérdidas económicas (US\$ ha⁻¹ año⁻¹) en la cuenca del Arroyo Ventana.

Uso del suelo	Superficie ha	Escenarios de pérdida		
		Mínimo	Medio	Máximo
		-----	-----	-----
		US\$ ha ⁻¹ año ⁻¹		
Pastura-forraje	457	1101	2790	6808
Pastizal de altura	256	1818	4606	11240
Pastizal degradado	837	1000	2534	6185
Uso agrícola	365	7617	19307	47117
Sin uso agrario	2893	0	0	0
TOTAL	4809	11537	29237	71350

Mínimo = 4.30% de disminución de la producción; Medio = 10.90% de la disminución de la producción y Máximo = 26.60% de disminución de la producción.

la pérdida de suelo se mantiene constante según la propuesta, y donde la cobertura del suelo no es la apropiada, producto del sobrepastoreo, o bien, producto de la práctica de la agricultura sin medidas de conservación de suelo, se tiende a una erosión hídrica más elevada sobre la capa superficial del suelo, acarreado graves problemas de pérdida de suelo potencial.

- La cuantificación y valoración económica de tales escenarios permitió obtener un rango de valores que marcan la importancia de aplicar prácticas de conservación de suelo, como propuestas de manejo.

- Por último, al considerar a la cuenca del arroyo Ventana como representativa de la región, se recomienda este estudio como antecedente para implementar estrategias de manejo sustentable del suelo, dado que los quebrantos monetarios que la actual situación genera lo justifican. Para ello, se debe alcanzar un compromiso entre autoridades de distintas entidades e instituciones, sin dejar de lado a los pobladores de la región, quienes son los actores sociales más influenciados (beneficiados o perjudicados), por las distintas decisiones que se toman en las diversas esferas políticas. Se propone efectuar una asignación óptima desde el punto de vista de la planificación física que implique utilizar, para cada actividad, lugares con una mayor capacidad productiva y un menor impacto.

LITERATURA CITADA

- Atis, E. 2006. Economic impacts on cotton production due to land degradation in the Gediz Delta, Turkey. *Land Use Policy* 23: 181-186.
- Bakker, M., G. Govers, and M. Rounsevell. 2004. The crop productivity-erosion relationship: an analysis based on experimental work. *Catena* 57: 55-76.

- Burgos, J. J. 1963. Las heladas en la República Argentina. Colección Científica, vol. 3. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Cabrera, A. L. 1968. Flora de la provincia de Buenos Aires. Colección Científica 4, vol. 6. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Clark Labs. 2001. IDRISI 32. Clark University. Worcester, MA, USA.
- Denegri, G., R. Lara y F. Gaspari. 2004. Evaluación económica de transformación de la cobertura vegetal de la cuenca del arroyo Belisario. Revista UNLAR Ciencia 2: 17-22.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 1988. Manejo integrado de cuencas hidrográficas en América Latina. Santiago de Chile, Chile.
- Frangi, J. y O. Bottino. 1995. Comunidades vegetales de Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Facultad de Agronomía de La Plata 1: 93-133.
- Gaspari, F. J. 2000. Ordenamiento Territorial en Cuencas Serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ediciones Cooperativas. Buenos Aires, Argentina.
- Kirkby, M. J. 1994. Erosión de suelos. Uteha Noriega. México, D. F.
- López Cadenas de Llano, F. 1998. Restauración hidrológico-forestal de cuencas y control de la erosión. TRAGSA. Madrid, España.
- Mintegui A., J. y F. López Unzú. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. Madrid, España.
- Páez, M. L. 1992. Diseño de prácticas de conservación con la ecuación universal de pérdida de suelo. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Caracas, Venezuela.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Washington, DC, USA.