

Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina

Estimation of the soil loss admissibility by water erosion in the stream Napaleofú basin, Buenos Aires Province-Argentina

Rodríguez Vagaría Alfonso¹ y Gaspari Fernanda¹

Recibido: octubre, 2013 / Aceptado: junio, 2014

Resumen

Se analiza la cuenca serrana del arroyo Napaleofú (sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina). El objetivo fue realizar la estimación cuantitativa de erosión hídrica superficial con SIG, mediante la aplicación del modelo Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), definiendo además la tolerancia máxima admisible de pérdidas de suelo. Se zonificó la erodabilidad (K) y se generó un mapa de isoerodentas (R). Se definió la topografía (LS) y las condiciones de uso y manejo del suelo (C y P). Los resultados permitieron un mayor dinamismo en el proceso de análisis y representación de la información antecedente, en enlace con el modelo USLE. Se generó una base de datos inédita georreferenciada de pérdida de suelo superficial, definiendo el máximo de la tolerancia a la erosión hídrica y su admisibilidad actual, estableciendo que la cuenca presenta un 81 % de su superficie en estado de erosión leve, representando un 88 % en estado admisible de tolerancia. Estos resultados promueven la mantención de los tratamientos sustentables actuales.

Palabras clave: Cuenca; USLE; tolerancia; SIG.

Abstract

We analyze the mountain basin of the stream Napaleofú (southeast of Buenos Aires province, Argentina). The aim was to make a quantitative estimation of surface water erosion by means of GIS, by applying the Universal Soil Loss Equation model (USLE), further defining the maximum admissible tolerance of soil loss. The erodibility (K) was zoned and a map of isoerodents (R) was generated. The topography (LS) and the conditions of use and soil management (C and P) were defined. The results allowed a greater dynamism in the process of analysis and representation of background information, with the USLE model. It generated an unprecedented geo-referenced topsoil loss database, defining the maximum tolerance to water erosion and its current eligibility, stating the basin has an 81 % of its surface in a state of slight erosion, accounting for 88 % in allowable tolerance state. These results support the maintenance of current sustainable treatments.

Key words: Basin; USLE; tolerance; GIS.

¹ Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. La Plata (Provincia de Buenos Aires)-Argentina. Correo electrónico: fgaspari@agro.unlp.edu.ar

1. Introducción

La preocupación por el manejo de los suelos y el agua en la República Argentina, data de la década de 1960, cuando el Dr. Julio Castellanos y sus colaboradores, sensibilizados por las problemáticas de sequías e inundaciones de la provincia de Buenos Aires, se orientaron hacia una concepción integral, en cuanto al rol del ambiente para la regulación de los caudales torrenciales y la protección de los suelos, idea enunciada por Florentino Ameghino en 1884, en su ensayo 'Las Secas y las Inundaciones en la Provincia de Buenos Aires', [...], 'Obras de Retención sí, Obras de Desagüe no'. Particularmente en la región pampeana, la intervención antrópica sobre los ecosistemas tiende a un proceso de degradación superficial del suelo.

La degradación de tierras conduce a una disminución significativa de su capacidad productiva. Las actividades humanas que contribuyen a esa degradación incluyen la utilización inapropiada de tierras agrícolas, prácticas deficientes en la ordenación de suelos y agua, deforestación, remoción de la vegetación natural, uso frecuente de maquinaria pesada, pastoreo excesivo, rotación incorrecta de cultivos y prácticas deficientes de riego (UNEP, 2002).

La degradación por erosión hídrica superficial se debe a la acción dispersiva y al poder de transporte del agua que cae en forma de lluvia y se retira del suelo en forma de escurrimiento. Dichos procesos están determinados por: a) el choque de las gotas del agua de lluvia que caen; b) la

cantidad y velocidad del escurrimiento, y c) la resistencia del suelo a la dispersión y al movimiento (Arias, 1996; Buck, 2000; Megahan y Hornbeck, 2000; Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 2008). Como consecuencia de la acción de la erosión hídrica superficial se pierden los estratos superiores de suelo, dejando al descubierto capas inferiores y disminuyendo la calidad edáfica, provocando menores rendimientos de los cultivos. Otras causas de degradación de suelos conciben su origen en factores socioeconómicos, en la sobreexplotación de la capacidad de uso de las tierras y en prácticas de manejo de suelo y agua inadecuadas (Benites *et al.*, 1992).

En la República Argentina, 50 millones de hectáreas están afectadas por erosión hídrica o eólica en grado moderado o grave, llegando las pérdidas económicas debidas a degradación del suelo a 700 millones de dólares al año (Irurtia y Maccarini, 1992).

Cuando se estudian los factores físicos, productivos y económicos que inducen la degradación y sus interrelaciones, el análisis y dinámica de estos fenómenos debe centrarse en unidades territoriales, como cuencas hidrográficas. En éstas, se relacionan las funciones que los usos de tierra y prácticas agropecuarias desempeñan, para mantener la calidad y cantidad del agua dentro de los parámetros requeridos por los usuarios de un sitio en particular, sin alterar el paisaje (Denegri y Gaspari, 2010). Desde una visión holística y sistémica de la relación sociedad-naturaleza, la cuenca hidrográfica es entendida como territorio, debido a que

es un espacio de interacción de los subsistemas natural y social, que componen el medio ambiente nacional, regional y local, estableciéndose una relación de complementariedad entre los conceptos de territorio y medio ambiente. De esta manera, el territorio no es solamente el entorno físico donde se enmarca la vida humana, animal y vegetal y donde están contenidos los recursos naturales, sino que comprende también la actividad del hombre que modifica este espacio (Gaspari *et al.*, 2009).

El manejo apropiado de una cuenca hidrográfica brinda beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios, que pueden ser aprovechados por la comunidad regional y/o local. Este manejo se genera a partir de diferentes tipos de funciones como ecológicas, sociales y económicas (Gaspari *et al.*, 2009).

En el sur del área serrana de Tandilia, provincia de Buenos Aires, son escasos los trabajos que analizan la erosión hídrica superficial actual y su relación con la tolerancia de los suelos, a escala de cuencas hidrográficas, para un análisis integral del espacio y el ambiente. La integración de modelos de erosión y SIG constituyen una herramienta válida para el análisis local.

Según Merten *et al.* (1995), los resultados del uso de sistemas de información geográfica (SIG) y del modelo de Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (*Universal Soil Loss Equation: USLE*) para determinar mapas de erosión hídrica superficial, presentan una correlación razonable entre las áreas de mayor riesgo

de erosión, determinadas por el mapa y las observadas en el campo, destacando además, que las pérdidas de suelo estimadas por el modelo fueron similares a las pérdidas medidas. De esta forma, verificaron que el uso conjunto del SIG y USLE pueden ser instrumentos útiles para la planificación conservacionista de pequeñas cuencas hidrográficas.

El objetivo de este trabajo fue realizar la estimación cuantitativa de la erosión hídrica superficial con SIG, mediante la aplicación del modelo USLE, definiendo la tolerancia de pérdidas de suelo máximas admisibles en la cuenca serrana del arroyo Napaleofú (sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina).

2. Materiales y métodos

La elección de estudiar el proceso erosivo a nivel de cuenca hidrográfica se debe a la necesidad de realizar un análisis integral del proceso de degradación, definido en una unidad geográfica naturalmente indicada para la investigación hidro-sedimentológica (Chaves, 1992).

La zona objeto de estudio es la cuenca serrana del arroyo Napaleofú (AN), localizada en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina; abarca 34.373 ha, distribuida en los partidos de Tandil, Balcarce y Lobería (Figura 1). El centroide de la cuenca está ubicado en 37°37'25" S, 58°44'44" W. El área se caracteriza por explotaciones agrícolas extensivas medianas y, en menor medida, de uso mixto agrícola-ganadero.

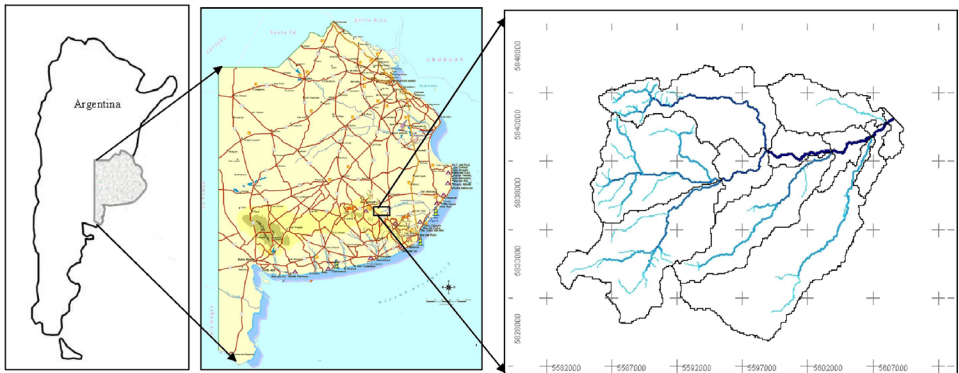


Figura 1. Ubicación del área en estudio

El estudio consistió en la elaboración y procesamiento de cartografía georreferenciada de AN, a partir de material en soporte papel y digital, definiendo un modelo cartográfico de base para cuantificar la erosión hídrica superficial en la cuenca, aplicando la USLE. La integración de esta cartografía en un SIG generó un modelo de simulación geoespacial.

La USLE es una herramienta que combina la información proveniente de la investigación relacionada con la erosión hídrica, para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación (Wischmeier y Smith, 1978). La ecuación se denominó universal porque estaba exenta de algunas generalizaciones y restricciones geográficas y climáticas inherentes en los primeros modelos (Kirkby y Morgan, 1994). Es un modelo matemático de origen empírico (o parámetros agrupados) que utiliza información promedio sobre clima, suelos, topografía, cultivos y manejo del suelo (Álvarez y Sánchez, 1992; Francke *et al.*, 1997; Jones *et al.*, 1992). Emplea los siguientes

factores de análisis: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), topográfico (LS), cubierta, manejo de cultivos y residuos agrícolas (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos (A), (Wischmeier y Smith, 1978). La fórmula se expresa por el producto de estos factores, definiendo A, que cuantifica la pérdida de suelos media anual por unidad de superficie ($\text{Mg} \cdot \text{hectárea}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$).

La definición de cada factor se obtuvo según la siguiente secuencia metodológica:

R. Es el factor que expresa el índice de erosión pluvial (EI) para una tormenta, definido por el producto de la energía cinética total de la tormenta (E), en relación a su máxima intensidad en 30 minutos (I). En este estudio, R (en $\text{cm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) fue determinado por el procesamiento de información antecedente elaborada por Rojas y Conde (1985), que estimaron R para diversas localidades de la región pampeana. A partir de los datos de R en

siete estaciones meteorológicas a escala regional (Tandil, Balcarce, Azul, Barrow, Dolores, Las Flores y Coronel Suárez) se realizó una interpolación geoespacial de los siete puntos con SIG para establecer las isoerodentas en la zona de la cuenca AN.

K. El factor susceptibilidad de erosión del suelo expresa la tasa de pérdida de suelos por erosión hídrica superficial por unidad (EI), (Mintegui Aguirre, 1988; Morgan, 1997; López Cadenas del Llano, 1998; Gaspari *et al.*, 2009). El mapa de K se obtuvo a partir de la digitalización y georreferenciación de los complejos de suelos de AN definidos en las cartas de suelos (escala 1:50.000), publicadas por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 1986). Posteriormente, con la evaluación de los datos provenientes del análisis físico-químico del perfil de cada serie, se determinó el índice de erodabilidad del suelo (K) ($\text{Mg.m}^2 \cdot \text{h.ha}^{-1} \cdot \text{J}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) ponderado, en función del porcentaje de ocupación de cada una de las series para cada complejo de suelo.

LS: Este factor es adimensional e indica la relación entre la longitud del declive (L) y el gradiente de la pendiente (S), (Vich, 1989). Para su determinación se utilizó la metodología propuesta por Mintegui Aguirre (1988), quien desarrolló un cuadro simplificado de LS según pendientes. Para aplicar dicha metodología, se generó un mapa de pendientes, al cual se le asignó una discretización de los valores de LS de Mintegui Aguirre (1988)

por pendiente y se zonificó LS en la cuenca del AN.

- C. El factor cubierta, manejo de cultivos y residuos agrícolas indica la proporción de pérdida de suelo en una superficie con una cubierta vegetal y manejo definido con respecto a una superficie idéntica en barbecho con labranza continua. Como punto de partida se realizó un mapa de cobertura del suelo en AN a partir de la interpretación de imágenes satelitales (*Spot Image 5* © del 26/07/2011), bajo servidor *Google Earth*© y posterior reconocimiento a campo, de manera de estimar el valor de C que tiene cada tipo de cobertura vegetal en la cuenca.
- P. El factor de prácticas de conservación y manejo de suelo es la proporción de pérdidas de suelo en parcelas con aplicación de medidas de conservación, respecto a aquellas que se generan en una con labranza convencional en el sentido de la pendiente. Para su zonificación en AN se definieron las áreas con medidas de conservación de suelos, a partir de la interpretación de las imágenes satelitales utilizadas para definir el factor C, y se cuantificó el factor en forma geoespacial.

La cartografía base generada se procesó adaptándose a la metodología USLE. El procesamiento y definición de parámetros de USLE se realizó en el marco de un modelo cartográfico y procesado con un sistema de información geográfica (SIG) para obtener la caracterización cuantitativa de la erosión hídrica superficial de la

cuenca AN. La elaboración de la cartografía con SIG, alude a una herramienta de información espacial automatizada e internamente referenciada, diseñada para la gestión y análisis de datos espaciales y la elaboración de cartografía (Berry, 1990).

Como herramienta de apoyo SIG, para el cálculo de los parámetros y su procesamiento, se utilizó el programa *Idrisi Taiga* ©, que permite presentar en forma cartográfica los resultados de los distintos mapas y la base de datos (Eastman, 2006). El SIG, al permitir procesar el mapa de factor con álgebra de mapas, generó la modelización geoespacial cartográfica del modelo USLE en toda la cuenca (Gaspari, 2002).

A partir de la zonificación de USLE se definió el grado de erosión hídrica aplicando la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos, confeccionada por FAO, Pnuma y Unesco (1980), a nivel regional. La misma define cuatro categorías que se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1. Grados de erosión hídrica superficial

Grado de erosión	Rango A (Mg*ha ⁻¹ *año ⁻¹)
Leve	0 - 10
Moderado	10 - 50
Alto	50 - 200
Muy Alto	Mayor a 200

Fuente: FAO-PNUMA-UNESCO, 1980

A escala local, el análisis se complementó con la elaboración de un mapa de tolerancias máximas admitidas para cada complejo de suelo, considerando la pro-

fundidad y el tipo de sustrato del perfil, según el cuadro 2. La definición de la tolerancia se estableció a través de una función lógica cartográfica, que generó un mapa binario definiendo áreas donde la erosión es aceptable o supera la máxima tolerancia admitida. El criterio utilizado se basó en que suelos profundos y con mayor capacidad de regeneración, poseen una tolerancia a la erosión mayor, que aquellos desarrollados sobre sustratos desfavorables y poco profundos (Irurtia *et al.*, 2007)

Cuadro 2. Valor máximo de la tolerancia a la erosión hídrica, según la profundidad y calidad del sustrato del suelo

Profundidad del Suelo (cm)	Sustrato favorable (a)	Sustrato desfavorable (b)
0 - 25	2,2	2,2
25 - 50	4,5	2,2
50 - 100	6,7	4,5
100 - 150	9,0	6,7
Mayor a 150	11,2	11,2

(a) Sustrato que puede regenerar un suelo por medio de labranzas, fertilización, enmiendas, cultivos, etc., por ejemplo loes. (b) Sustrato que no puede regenerar un suelo, por ejemplo, roca, tosca, etc. Fuente: Irurtia *et al.*, 2007

La zonificación de la tolerancia máximas admitidas para cada complejo de suelo y la combinación con los resultados de USLE, estableció áreas de uso óptimo del suelo y donde se minimiza la erosión hídrica superficial con respecto al estado de degradación.

3. Resultados y discusión

Los resultados cartográficos de la aplicación de la USLE se presentan en la figura 2. El mapa de isoerodentas se expone en la figura 2a. Los mayores valores del factor R ($388 \text{ cm.m}^2.\text{h}^{-1}$), se localizan en la región noroeste de la cuenca, disminuyendo progresivamente en dirección sudeste, alcanzando R de $373 \text{ cm.m}^2.\text{h}^{-1}$.

La cuenca AN presenta 18 complejos de suelo formados por la combinación de 11 series. Los valores del factor K, calculados para cada serie de suelo y sus pro-

iedades físico-mecánicas se presenta en el cuadro 3. Los complejos de suelos desarrollados sobre las planicies de los arroyos presentan los valores de K más elevados ($0,427 \text{ Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$). El Factor K mas bajo, a nivel serie, se definió en el perfil Sierra de los Padres ($0,032 \text{ Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) y a nivel ponderado en el complejo Sp6 ($0,149 \text{ Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$)

La ponderación de K, según el grado de participación de cada serie por complejo de suelo, representa el factor K complejo (Cuadro 4). La asignación de

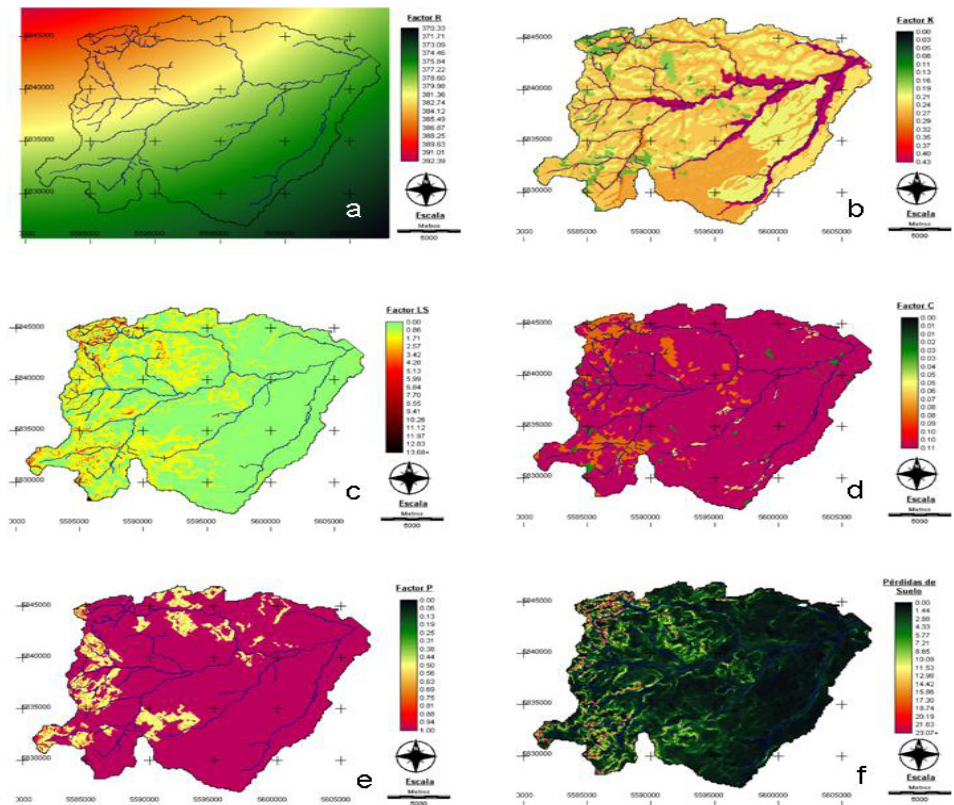


Figura 2. Mapa los factores USLE y de erosión hídrica de la cuenca. (a) Mapa de erosividad de las precipitaciones. (b) Mapa de erodabilidad de los suelos. (c) Mapa de factor de la cubierta vegetal. (d) Mapa de factor topográfico. (e) Mapa de prácticas de conservación. (f) Mapa de pérdidas de suelo

Cuadro 3. Propiedades físico-mecánicas y factor K ($\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) de las series de suelos

Serie	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)			(a)	(b)	(c)	K
	(mm)								
	< 2	2-50	50-75	75 -100	100-250				
1	30,3	34,7	0	33,5	1,5	7,69	2	3	0,186
2									0,170
3	29,6	37,6	0	31,8	1,0	6,10	3	5	0,367
4	30,7	30,9	25,7	7,3	5,0	6,02	3	4	0,328
5	21,7	42,3	0	33,0	3,0	5,74	3	4	0,427
6	21,7	42,3	0	33,0	3,0	5,74	3	4	0,427
7	26,9	29,7	0	21,3	4,2	10,28	1	4	0,05
8	33,6	52,4	0	12,8	1,2	9,61	3	5	0,199
9	32,8	33,8	0	24,7	3,5	12,00	2	4	0,032
10	29,4	41,8	0	28,2	0,6	6,74	3	3	0,276
11	30,7	49,9	0	18,3	1,1	7,39	3	4	0,271

Referencias: Serie: 1 Azul; 2 Afloramiento rocoso; 3 Barker; 4 Cinco Cerros; 5 Complejo A° Napaleofú; 6 Complejo hidrohalmórfico La Ballenera; 7 La Alianza; 8 Napaleofú; 9 Sierra de los Padres; 10 Tandil; 11 Tres Esquinas. (a) % Materia Orgánica; (b) Estructura; (c) Permeabilidad.

Cuadro 4. Valores del factor K ($\text{Mg.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) ponderados por complejo de suelo

Complejo de suelo	K complejo	Complejo de suelo	K complejo
AZ12	0,204	Sp6	0,149
AZ13	0,232	Ta	0,267
AZ40	0,168	Ta10	0,276
CoAoN	0,427	Ta11	0,276
CoLB	0,427	Ta19	0,249
L	0,000	Ta7	0,273
La13	0,206	Ta8	0,268
Np1	0,228	Ta9	0,249
R	0,170	TeS3	0,301

estos valores al mapa edafológico de la cuenca, genera el mapa del factor K (Figura 2b).

La zonificación de LS se presenta en la figura 2c. En términos generales, los valores de LS en la cuenca son bajos, correspondiéndose con pendientes leves a moderadas, donde el 69,3 % del terreno no supera el valor de 3 % de inclinación y el 97,4 % de la superficie comprende pendientes menores al 12 %. El cuadro 5 presenta los valores de LS según pendiente, propuesta por Mintegui Aguirre (1988) y su ocupación en la cuenca AN.

Cuadro 5: Factor LS y ocupación, en función de la pendiente, según Mintegui Aguirre (1988)

Pendiente (%)	Factor LS	Área (ha)
0 - 3	0,3	23.828,56
3 - 12	1,5	9.651,58
12 - 18	3,4	708,05
18 - 24	5,6	147,07
24 - 30	8,7	20,3
mayor a 30	14,6	17,59

La distribución geográfica de los valores del factor C en la cuenca (Figura 2d) fueron asignados a cada zona, según el tipo de cobertura (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990). El cuadro 6 muestra que la cuenca AN es predominantemente agrícola (30.760,8 ha), realizándose labores de siembra directa en 30.494 ha, de las cuales 5.584,46 ha se encuentran con prácticas conservacionistas de suelo. Posee 3.612,3 ha sin uso productivo, identificándose por la presencia de cortinas, montes, vegetación hidrófila y afloramientos rocosos.

Cuadro 6. Factor C y ocupación

Cultivo	Factor C	Ocupación (%)
Agricultura en curvas de nivel con siembra directa	0,11	16,2
Agricultura en siembra directa	0,11	72,5
Agricultura bajo riego	0,11	0,8
Cortinas, montes y cascadas	0,03	1,6
Serrano y afloramientos rocosos	0,08	7,8
Vegetación higrofila	0,06	1,1

El factor P adopta diferentes valores en función del tipo de práctica y pendiente sobre la que se encuentra. En el caso particular de la cuenca de arroyo Napaleofú, las prácticas conservacionistas presentes son exclusivamente cultivo en curvas de nivel (Cuadro 7; Figura 2e). El 88,7 % del área no posee curvas de nivel o se encuentran sobre pendientes en la cual su eficiencia es nula; es por ello que el factor P asume valor 1.

Cuadro 7. Factor P y ocupación según pendiente

Pendiente (%)	Factor P	Ocupación (%)
2 - 8	0,5	9,4
8 - 13	0,6	1,5
13 - 19	0,8	0,4
19 - 24	0,7	0,1

Luego del procesamiento geoespacial de los factores para definir y zonificar la USLE (Figura 2f), los valores extremos obtenidos fluctuaron entre 0,50 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ y 267,4 Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

Según la clasificación de pérdidas de suelo establecida a escala regional por FAO-Pnuma-Unesco (1980), para la cuenca del AN (Cuadro 8) no se evidencian rasgos de erosión hídrica superficial grave, siendo nula la erosión muy alta y mínima el área con alta. Se manifiesta un grado de erosión moderada en el 18,8 % del área y un 81 % leve. En la parte alta de la cuenca, la erosión hídrica superficial se corresponde a ligera o moderada,

relacionando a las mayores pendientes y suelos con baja cobertura vegetal. Hacia la parte baja de la cuenca, se observa erosión leve (Figura 3).

Para un análisis particular de A, en la figura 4 se presenta una reclasificación de las pérdidas de suelo (Ar), obtenidas según rangos leve, moderado y alto de FAO-Pnuma-Unesco (1980) para el modelo USLE, donde se visualiza el porcentaje de ocupación en superficie en las nuevas

Cuadro 8. Grados de Erosión hídrica superficial según FAO-Pnuma-Unesco (1980)

Categoría	Rango ($Mg^*ha^{-1}*año^{-1}$)	Pérdidas de suelo (A)	
		Área (ha)	Ocupación (%)
Leve	0 – 10	27.830,05	81,0
Moderado	10 – 50	6.472,61	18,8
Alto	50 – 200	70,49	0,2
Muy Alto	Mayor a 200	0,00	0,0

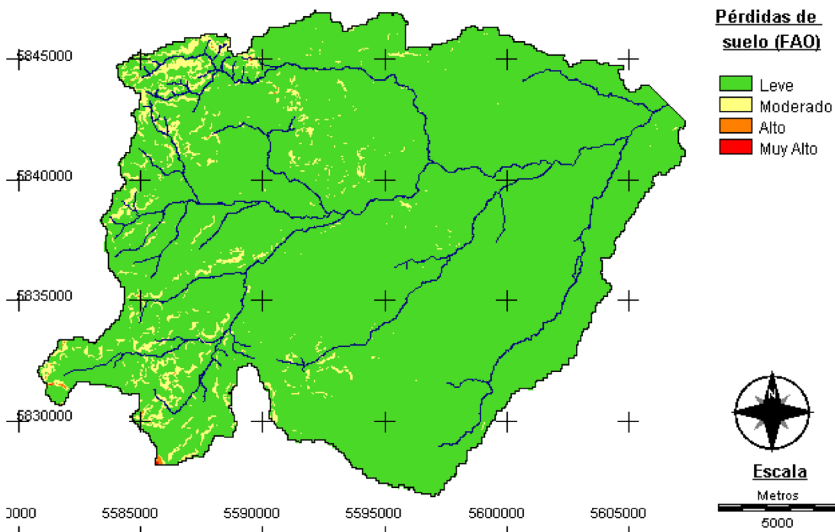


Figura 3: Zonificación del grado de erosión hídrica superficial, según FAO-PNUMA-UNESCO (1980)

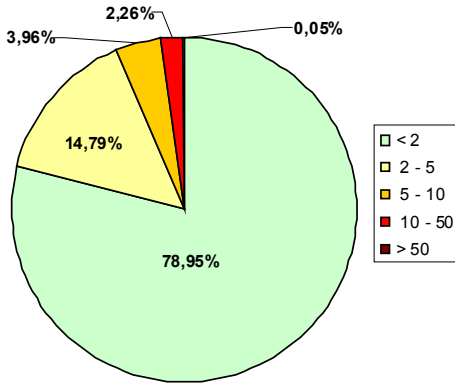


Figura 4. Porcentaje de superficie de ocupación de pérdidas de suelo reclasificada (Ar) (Mg.ha⁻¹.año⁻¹)

clases. Estos resultados confirman la baja pérdida de suelos que presenta la cuenca de AN, debido a que la clase <2 Mg.ha⁻¹. año⁻¹ de A, ocupa más del 78 % de su superficie.

A escala local, según la tolerancia máxima admisible para cada complejo de suelo aplicando el cuadro 2, se definió el mapa de la figura 5a. Posteriormente, conjugando ésta con las pérdidas por erosión hídrica (USLE), (Figura 2f) se determinó una base cartográfica para la cuenca de AN que representa la tolerancia de

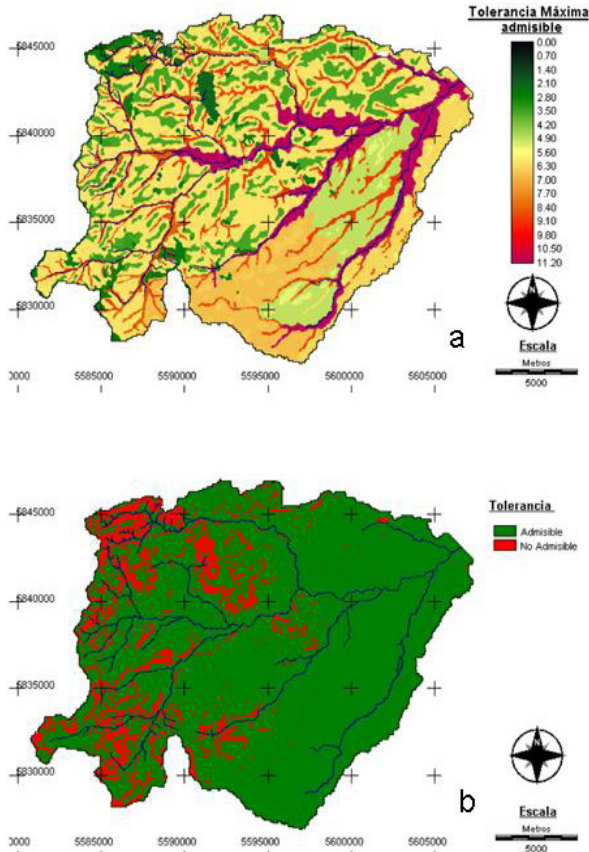


Figura 5. (a) Mapa de tolerancias de pérdidas de suelo máximas admisibles. (b) Mapa de tolerancia de pérdidas de suelo actual

pérdidas de suelo actual admisible. Como resultado se alcanza que la cuenca presenta un 88 % de su ocupación (30.260 has) con tolerancia de pérdida de suelo admisible, y el 12 % del área no admisible (4.112 has), debido a las pendientes y poca profundidad del suelo (Figura 5b).

Los resultados alcanzados expresan que la cuenca AN presenta un estado óptimo de manejo del suelo en áreas productivas, destacando el uso de medidas de conservación de suelo. En conformidad con Gaspari *et al.* (2009), el manejo apropiado de una cuenca hidrográfica brinda beneficios a la sociedad, que se originan en una amplia gama de bienes y servicios, que pueden ser aprovechados por la comunidad regional y/o local. Este manejo se genera a partir de diferentes tipos de funciones de las cuencas hidrográficas, como ser ecológicas, sociales y económicas.

La definición de la tolerancia admisible en AN establece un enfoque sistémico en cuencas hidrográficas, que para el ordenamiento territorial, se presenta como una forma eficiente de calcular servicios y daños económicos en los recursos naturales que la integran, como mencionan Denegri y Gaspari (2004).

Este manejo espacial y temporal del agroecosistema, tiende al ordenamiento territorial, otorgando al desarrollo sustentable un ámbito geográfico de aplicación (la cuenca hidrográfica), el cual incluye un proceso realizado por el hombre, consistente en planear, organizar, dirigir, evaluar y controlar la ejecución de sus acciones; preservando los recursos con el fin de garantizar el crecimiento

económico y el bienestar social de las generaciones presentes y futuras por medio de los servicios ambientales que otorga.

Los servicios ambientales se pueden ampliar mediante el uso coordinado de prácticas agronómicas e hidráulicas, tendiendo a obtener una mayor protección del suelo y la disminución del escurrimiento, y como consecuencia una potencial disminución de la erosión hídrica superficial (Gaspari *et al.*, 2009). Los mismos pueden ser definidos a partir de la zonificación expresada en la figura 5b.

En coincidencia con Arias (1996), las prácticas agronómicas comprenden el planeamiento y manejo de cultivos, con el fin de proporcionar la máxima cobertura vegetal. Por medio de labranzas conservacionistas se logra la absorción óptima de la lluvia por el suelo y con el empleo de residuos de cosecha se asegura una mejor protección contra el impacto de las gotas de lluvia, como es en el caso de AN.

La aplicación de las prácticas mencionadas, en toda la cuenca de AN, en el mediano y largo plazo, disminuirán las pérdidas económicas y ambientales, a causa de la revalorización de la tierra en términos productivos.

4. Conclusión

Los resultados alcanzados constituyen una base de datos inédita, que debe ser validada por medio de parcelas experimentales en campo, logrando un ajuste de la metodología y aplicación de herramienta SIG-USLE.

El presente estudio permitió evaluar el grado de deterioro de los suelos productivos en la cuenca del arroyo Napaleofú, considerando el impacto causado por el empleo de sistemas basados en la agricultura permanente.

La erosión hídrica superficial es leve en el 81 % de la cuenca, favorecido por el empleo de prácticas conservacionistas en áreas con pendientes suaves. Debido a que el 19 % de la cuenca se encuentra bajo erosión hídrica moderada o alta, y ésta se relaciona en gran parte con los valores de pendiente y la escasa cobertura vegetal del suelo, se hace indispensable la intervención con medidas de manejo de suelo y utilización de coberturas vegetales adecuadas para lograr un control del proceso erosivo.

En relación a la tolerancia de pérdidas de suelo actual admisible, la cuenca presenta áreas coincidentes de erosión hídrica leve con zonas admisibles en la actualidad. Este fenómeno se debe a que los productores agropecuarios, en la última década, han adoptado medidas de conservación de suelos, concientes de las ventajas productivas y económicas de su aplicación.

Finalmente, se enfatiza el aporte significativo que tiene el uso de un SIG para estudios medioambientales, para el proceso de toma de decisiones.

5. Referencias citadas

- ÁLVAREZ PALACIOS, G. y M. SÁNCHEZ ALFARO. 1992. *El modelo USLE en Costa Rica*. En: Taller sobre la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. 101-107. Santiago-Chile.
- AMEGHINO, F. 1884. **Las secas y las inundaciones en la provincia de Buenos Aires, Obras de Retención sí, Obras de Desagüe no**. Reedición Secretaría de Política Ambiental. La Plata (provincia de Buenos Aires)-Argentina. 97 p.
- ARIAS, N. 1996. *Erosión hídrica, la degradación de los suelos*. **Revista UCUrrencias**. 1: 7-9.
- BENITES, J.; SAINTRAIN, D. y K. MORIMOTO. 1992. *Degradación de suelos y producción agrícola en Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay*. En: Taller sobre la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. 42-64. Santiago-Chile.
- BERRY, J. K. 1990. *Maps as data: fundamental concepts and applications i GIS technology for resource management*. En: Internal Report, Natural resources. Colorado University, Fort Collins Colorado-USA, 50 p.
- BUCK, S. (ED.). 2000. *Erosion and Sediment Control*. In: **National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Agriculture Field**. 87-106. Office Technical Guide of the US Environmental Protection Agency.
- CHAVES H. M. L. 1992. *Criterios para la selección de áreas piloto*. En: Taller sobre la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. 96-98. Santiago-Chile.
- DENEGRI, G. y F. J. GASPARI. 2004. *Evaluación económica de la transformación de la*

- cobertura vegetal en la cuenca del Arroyo Belisario. UNLaR Ciencia. Revista Científica de la Universidad Nacional de La Rioja.* 5 (2): 17-22.
- DENEGRI, G. A. y F. J. GASPARI. 2010. *Lineamientos para la formulación de pagos por servicios ambientales. Estudio de caso: Alta cuenca del Río Sauce Grande. Argentina. Revista Cuadernos Geográficos.* Universidad de Granada. 46: 93-110.
- EASTMAN J. R. 2006. **Idrisi Taiga. Guide to GIS and image processing**, Clarks labs for cartographic, technology and geographic analysis. Versión Digital.
- FAO-PNUMA-UNESCO. 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.* Publicaciones de la FAO. Roma-Italia. 86 p.
- FRANCKE, S.; WILLIAMS, E. y P. RAGGIO. 1997. Evaluación de pérdidas de suelo por intervenciones forestales en plantaciones de *Pinus radiata*, en base a la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE-USDA), en la reserva forestal lago Peñuelas del semiárido chileno (V región). *Congreso Forestal Mundial, Actas: Tema 4.* Valdivia-Chile.
- GASPARI, F. J. 2002. **Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de sistemas de información geográfica (SIG).** Ediciones Cooperativas. Buenos Aires-Argentina. 116 p.
- GASPARI, F. J.; SENISTERRA, G. E.; RODRÍGUEZ VAGARÍA, A.; DELGADO, M. I. y S. I. BESTEIRO. 2009. **Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas.** (1ª ed.). Ed. el autor. La Plata-Argentina. 321 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA). 1986. *Cartas de Suelo Hojas Almacén La Numancia (3760-35-2); Estancia La Pacífica (3760-29-4); Fábrica la Esperanza (3760-30-3); San Manuel (3760-36-1).* 4 Fotocartas, escala 1:50.000. Buenos Aires-Argentina.
- IRURTIA C. B. y G. D. MACCARINI. 1992. *La erosión del suelo en la República Argentina.* En: Taller sobre la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. 65-77. Santiago-Chile.
- IRURTIA, C., CRUZATE, G. y F. GASPARI. 2007. *Guía de divulgación técnica. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica.* INTA-UNLP. 25 p.
- JONES C. A.; GRIGGS R. H.; WILLIAMS J. R. y R. SRINIVASAN. 1992. *Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo.* En: Taller sobre la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción del riesgo de erosión potencial. 5-9. Santiago-Chile.
- KIRKBY, M. J. y R. P. C. MORGAN. 1994. **Erosión de suelos.** Limusa - Noriega Editores. México. 375 pp.
- LÓPEZ CADENAS DEL LLANO, F. 1998. **Restauración hidrológico forestal y control de la erosión. Ingeniería Ambiental.** Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa, Madrid-España. 945 p.
- MEGAHAN, W. F. & J. HORNBECK. 2000. **Lessons Learned in Watershed Management: A retrospective View.** USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-13. 177-189.
- MERTEN, G. H.; CAVIGLIONE, J. H.; GIACOMINI, C. C.; RUFINO, R. L.; MEDEIROS, G. B.; SAINTRAIN, D.; CURCIO, G. R.;

- DEDECEK, R. A. y C. A. KESSLER. 1995. *El uso del SIG y del modelo USLE para determinar mapas de erosión potencial y actual en las microcuencas pilotos de Agua Grande y Córrego do pensamento, Mamboré, Paraná, Brasil. Documento de Campo G. GCP/RLA/107/JPN*. FAO, Santiago de Chile (Chile). 43 p. <http://agris.fao.org/agris-search/search/display.do?f=2008/VE/VE0701.xml;VE2007400925>.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. 1988. Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. *V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica*. 2.229-2.245. Madrid-España.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. y F. LÓPEZ UNZU. 1990. **La ordenación agrohidrológica en la planificación**. Serv. Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. España. 306 p.
- MINTEGUI AGUIRRE, J. A. y J. C. ROBREDO SÁNCHEZ. 2008. *Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña*. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para la América Latina y el Caribe. PHI-VII, documento técnico Nro. 13. 178 p.
- MORGAN, R. P. C. 1997. **Erosión y conservación del suelo**. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid-España. 343 p.
- ROJAS A.; E. C. y A. A. CONDE. 1985. *Estimación del factor "R" de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para el centro-este de la República Argentina*. **Revista Ciencia del Suelo**, 3 (1-2): 85-94.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE (UNEP). 2002. *Perspectivas del medio ambiente mundial*. GEO-3: Global Environment Outlook. Disponible en: <http://www.unep.org/geo/GEO3/spanish/141.htm>.
- VICH, A. I. J. 1989. *Erosión hídrica: Estimación y medición de pérdidas de suelo*. Curso Latinoamericano sobre detección y control de la desertización. Ed. F. A. Roig. CRI-CYTME. Buenos Aires-Argentina. 54 p.
- WISCHMEIER, W.H. & D. D. SMITH. 1978. **Predicting Rainfall Erosion Losses**. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration. Washington DC-USA. 58 p.

Fecha culminación: octubre, 2013

Lugar: La Plata (provincia de Buenos Aires)-Argentina