

Modelización de la pérdida de suelo en sierras del Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires

Soil loss modelization in the hilly lands of the Southwest of the Buenos Aires Province

María Isabel Delgado

Originales: Recepción: 28/12/2009 - Aceptación: 29/06/2010

RESUMEN

El modelo U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation), desarrollado por Wischmeier y Smith en 1978, es un modelo paramétrico creado para estimar la pérdida anual de suelo. Engloba, dentro de los cinco factores intervinientes, todas las características de la cuenca, incluyendo tanto aspectos físicos como características edáficas, geológicas y geomorfológicas, sin olvidar las relacionadas con el clima, y el tipo de manejo y uso del suelo. El objetivo del trabajo fue estimar la pérdida de suelo a nivel de la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, ubicada en el Partido de Tornquist, en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires. Más de 1.200 ha (aproximadamente 50% de la cuenca), presentaron pérdidas de suelo mayores a las 50 tn.ha⁻¹.año⁻¹. Se observó que los factores K y LS son determinantes de los elevados valores presentes en la cabecera de la cuenca. La elaboración de la cartografía correspondiente a cada factor de la U.S.L.E se realizó con el Sistema de Información Geográfica Idrisi Andes. Se concluye que el modelo fue aplicado de manera correcta en la cuenca del Arroyo Belisario, brindando resultados que facilitarán la toma de decisiones para un futuro ordenamiento territorial.

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (U.S.L.E.), was developed by Wischmeier and Smith in the year 1978, it is a parametric model created for the estimation of the annual soil loss. Within five factors, it involves all the watershed characteristics, such as soil, geology, geomorphology, including also the weather, and the land use. The aim of this work was to estimate the soil loss in the watershed of the Belisario Creek, placed in the Tornquist District, in the South West of the Buenos Aires Province. Using the U.S.L.E. model, over 1.200 ha (approximately the 50% of the watershed), loss more than 50 tn.ha⁻¹.y⁻¹ of soil. It was observed that the K and the LS factors determinate the elevated values in the upper watershed. The cartographic representation of the U.S.L.E. factors was elaborated with the Geographic Information System Idrisi Andes. It is concluded that the model was applied in an appropriated way in the watershed of the Belisario Creek, bringing up results that will be helpful for a future territorial management.

Palabras clave

arroyo Belisario • cuenca hidrográfica
• erosión hídrica • U.S.L.E.

Keywords

Belisario creek • watershed • hydric
erosion • U.S.L.E.

Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales. Univ. Nac. de La Plata. Diagonal 113, N° 469. (1900) La Plata. Buenos Aires. isabeldelgado@agro.unlp.edu.ar
Becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) CCT La Plata.
Buenos Aires. Argentina.

INTRODUCCIÓN

El modelo U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) es un modelo paramétrico creado con el fin de estimar la pérdida promedio anual de suelo en tierras agrícolas, desarrollado por Wischmeier y Smith en 1978 (16). La pérdida de suelo se puede estimar y utilizar para recomendar modificaciones en el uso de la tierra, con el fin de mejorar la retención del suelo y reducir los efectos perjudiciales de dicha pérdida (11). Se trata de un modelo matemático que utiliza información sobre precipitación, suelo, pendiente del terreno, y manejo y uso del suelo.

La U.S.L.E. combina la información proveniente de la investigación relacionada con la erosión hídrica, para proporcionar datos de diseño en los planes de conservación, convirtiéndose en una valiosa herramienta para el ordenamiento territorial. Permite a los productores llevar a la práctica los resultados obtenidos en la investigación en pro de la conservación y sustentabilidad del recurso suelo (4).

El área bajo estudio, la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, se ubica en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, Partido de Tornquist, específicamente sobre el Sistema Serrano de Sierra de la Ventana, constituyendo uno de los dos grandes sistemas de sierras que emergen de la llanura bonaerense. Forman un conjunto de cadenas montañosas, de relieve pronunciado, con una orientación Noroeste a Sudeste, presentando un ancho máximo de 60 km y una longitud de 180 km. El área se compone de dos elementos geomorfológicos completamente diferentes: las sierras y el pedemonte adyacente. El primero es el cordón serrano que flanquea por el Oeste la zona de topografía accidentada con grandes y continuos contrastes de pendientes; se trata de un área rocosa (cuarcitas y esquistos), sin la presencia de suelos, especialmente en las divisorias de aguas, existiendo un suelo esquelético en las laderas con más suaves pendientes (2).

El Arroyo Belisario es afluente del Arroyo del Oro, que a su vez es tributario del Río Sauce Grande, desembocando sus aguas en el Dique Paso de las Piedras, para finalmente proveer de agua potable a la ciudad de Bahía Blanca. La cuenca del Arroyo Belisario se sitúa geográficamente entre los paralelos 38° 04' y 38° 08' latitud Sur y los meridianos 61° 54' y 61° 58' longitud Oeste. Posee una superficie total de 2.596 ha, siendo sus cauces principales el Arroyo El Negro, Las Piedras y Belisario. Los dos últimos se encuentran delimitando la localidad turística de Villa Ventana (figura 1, pág. 3).

Los suelos dominantes en la cuenca alta son Hapludoles líticos, ocupando principalmente las laderas en pendientes abruptas. La escasa profundidad y presencia de fragmentos de roca y tosca, asociadas a fuertes pendientes, son las principales limitaciones. En la cuenca media y baja los suelos dominantes son Hapludoles típicos (8, 12).

La metodología de Thornthwaite clasifica el clima como templado y subhúmedo seco (1). La temperatura media anual es de 14,5°C. La precipitación media anual varía de 1.056 a 396 mm, siendo la media histórica para la localidad de Tornquist de 615 mm. La distribución temporal de las precipitaciones tiene una marcada estacionalidad, concentrando el 63,7% del total en el semestre octubre a abril (5).

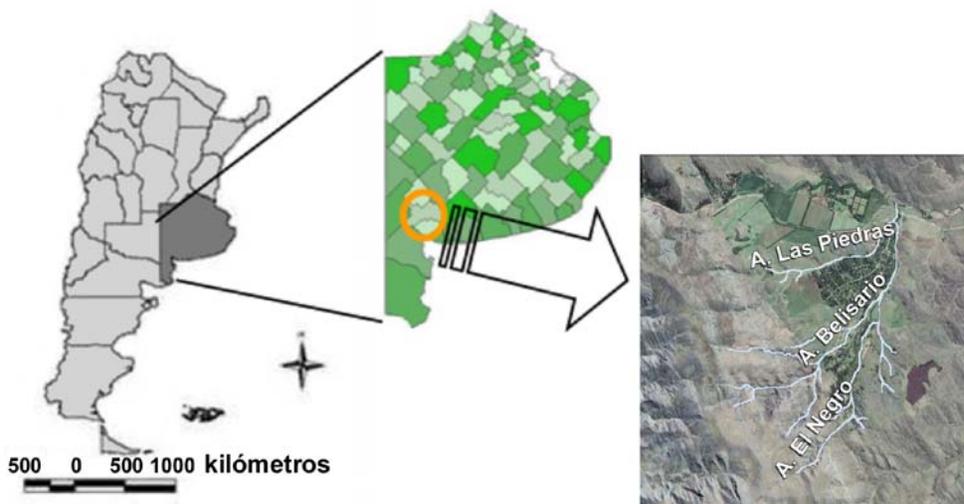


Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del Arroyo Belisario.
Figure 1. Location map of the Belisario Creek watershed.

En cuanto a las características fitogeográficas, considerando el relieve de la cuenca y ante la gran variedad de especies que la componen, se distinguen tres tipos de asociaciones: A) Asociaciones de lomadas suaves: en este tipo de vegetación predominan diversas especies del género *Stipa*. B) Asociaciones de los torrentes y manantiales. C) Asociaciones de las laderas y cerros, que se empobrecen en las sierras (se presentan en manchones aislados); son causa de ello los numerosos y extensos afloramientos de roca viva.

La región se encuentra en la actualidad en gran crecimiento económico, producto fundamentalmente del auge turístico que viene aconteciendo desde comienzos del siglo XXI. Por otro lado, la población estable de la región también se ha incrementado en los últimos años, produciendo entre ambas un incremento en la demanda de recursos, ya sean éstos renovables o no, y el consecuente impacto sobre la región y su dinámica de funcionamiento.

Se considera que el estudio en detalle de las características ambientales de una región es un aspecto fundamental para alcanzar un desarrollo territorial sostenible. En cuanto a la concepción de sistema territorial, el mismo se define como una construcción social que representa el estilo de desarrollo de una sociedad, formándose mediante las actividades que la población practica sobre el medio físico y de las interacciones entre ellas a través de los canales que proporcionan funcionalidad al sistema (7).

Objetivo

Estimar la pérdida de suelo superficial a nivel de la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario, en el Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires.

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo utilizado para la estimación de la pérdida de suelo fue el modelo U.S.L.E., cuya expresión se presenta a continuación:

Ecuación 1. Expresión matemática del modelo U.S.L.E.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

donde:

A: pérdida de suelo por erosión pluvial (tn.ha⁻¹.año⁻¹)

R: factor índice de erosividad del aguacero (J.cm.m⁻².h⁻¹)

K: factor de erodabilidad del suelo (tn.m².h.ha⁻¹.J⁻¹.cm⁻¹)

LS: factor topográfico, siendo L: Factor longitud de pendiente y S: Factor gradiente de pendiente

C: factor de ordenación de cultivos

P: factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo

La cartografía correspondiente fue realizada utilizando el Sistema de Información Geográfica Idrisi Andes Versión 15.01 (9).

Factor índice de erosividad del aguacero (R)

Representa la potencia del aguacero para erosionar superficialmente el suelo. Puede ser obtenido a partir de tablas, por valores de intensidad de lluvia (mm.h⁻¹) y de energía cinética por unidad de lluvia (J.m⁻².cm⁻¹). Puede calcularse además a partir de los datos de intensidad del aguacero a intervalos fijos y la intensidad máxima de lluvia durante el aguacero. Su expresión para un evento puntual es la siguiente:

Ecuación 2. Fórmula correspondiente al Factor R.

$$R = \frac{\sum (210,2 + 89 \log I) * (I * T) * I_{30}}{100} =$$

siendo:

T: período de tiempo, en horas, para intervalos homogéneos de lluvia durante el aguacero

I: intensidad del aguacero en los intervalos citados, en cm.h⁻¹

I₃₀: intensidad máxima en 30 minutos durante el aguacero, en cm.h⁻¹

En este trabajo se utilizó el valor anual del Factor R, el cual se estableció a partir de consulta de bibliografía, tomando como referencia a Gaspari (5). Su valor difiere generalmente de una región a otra del planeta, pudiendo variar entre valores inferiores a 100, y hasta mayores a 2.500 J cm .m⁻². h⁻¹.

En Argentina, cabe mencionar la publicación realizada por Rojas y Conde (15), titulada "Estimación del Factor 'R' de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para el centro-este de la República Argentina". En la misma se pueden encontrar valores de 786 J cm .m⁻².h⁻¹ -por ejemplo- para Mercedes (Corrientes), mientras que para Bahía Blanca (Buenos Aires), el valor es de 246 J cm .m⁻². h⁻¹.

Factor de erodabilidad del suelo (K)

Representa la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado, relacionándose con la estabilidad estructural del mismo. Se calcula a partir del porcentaje de las distin-

tas fracciones granulométricas, el porcentaje de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad del perfil del suelo (ecuación 3). Su unidad de medida se expresa en $\text{tn.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$.

Ecuación 3. Fórmula correspondiente al Factor K

$$100 * K = 10^{-4} * 2,71 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,2 * (b - 2) + 3,23 * (c - 3) =$$

siendo:

M: (% de limos + arenas finas) x (100 - % de arcilla)

a: % de materia orgánica

b: correspondiente a la estructura del suelo

c: clase de permeabilidad del perfil del suelo

Factor topográfico (LS)

Es la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo obtenidas en un campo de longitud de pendiente uniforme y dimensión variable, y el valor medio de la pérdida de suelo correspondiente a una parcela de longitud de pendiente uniforme de 22,1 m, para un mismo tipo de aguacero, suelo, y pendiente.

La longitud de pendiente (L) es la distancia entre el punto más alto de caída de la gota de lluvia y el punto en el cual la pendiente disminuye hasta dar comienzo a la deposición de los sedimentos o aquel punto en el que el escurrimiento entra a formar parte de un canal.

El factor gradiente (S) es la relación entre el valor medio de las pérdidas de suelo en un campo con pendiente cualquiera, con el que se obtendría en una parcela del 9% de pendiente uniforme, manteniendo el resto de las características constantes.

A partir de la digitalización del mapa topográfico, y su posterior interpolación, se obtuvo el Modelo Digital del Terreno (D.T.M.) con S.I.G. A partir del mismo se originó el mapa de pendientes, siendo luego reclasificado en rangos de pendiente.

Dichos rangos se correspondieron con los establecidos por Mintegui Aguirre (13), los cuales se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de Factor LS, según Mintegui Aguirre (13), y su superficie de ocupación en la cuenca.

Table 1. Area of occupation for each value of LS Factor, according to Mintegui Aguirre (13).

Pendiente (%)	Valor de LS	Superficie (ha)
0-3	0,3	271,52
3-12	1,5	871,02
12-18	3,4	246,34
18-24	5,6	194,18
24-30	8,7	188,88
> 30	14,6	824,20

Posteriormente, de modo de corroborar el valor del Factor LS obtenido tomando como base a Mintegui Aguirre (13), se procedió a determinar su valor aplicando el método original de Wischmeier y Smith. Las ecuaciones se utilizaron según se tratara de pendientes menores o mayores al 9% (ecuación 4-a y 4-b).

Ecuación 4-a. Fórmula para determinación del Factor LS, pendientes menores al 9%.

$$LS(\langle 9\%slope) = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^{0,3} * \left[\frac{(0,43 + 0,3 * s + 0,043 * s^2)}{6,613} \right] =$$

Ecuación 4-b. Fórmula para determinación del Factor LS, pendientes mayores al 9%.

$$LS(\rangle 9\%slope) = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^{0,3} * \left(\frac{s}{9} \right)^{1,3} =$$

Siendo (λ) la longitud de ladera, calculada a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 5. Fórmula de lambda, según Mintegui Aguirre y López Unzú (14) y Wischmeier y Smith (16).

$$\lambda = 0,5 * \frac{DA}{LCH} =$$

DA: área del sector delimitado

LCH: longitud total de los cursos que drenan por la misma

Para el análisis geoespacial del Factor LS de Wischmeier y Smith se realizó un modelo cartográfico, establecido según la figura 2.

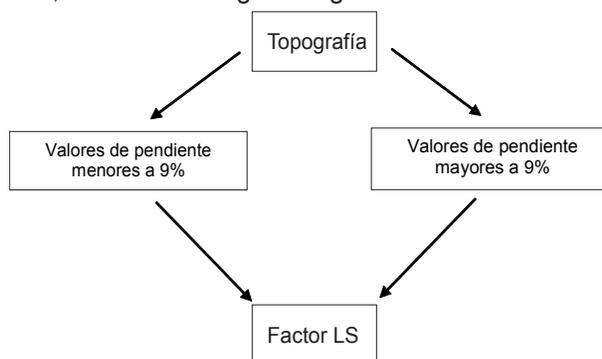


Figura 2. Esquema de obtención del valor de Factor LS, según Wischmeier y Smith (16).
Figure 2. Determination of LS Factor, according to Wischmeier and Smith (16).

Luego de generar la cartografía por ambas metodologías (Mintegui Aguirre y Wischmeier y Smith) se realizó un análisis de diferencias entre ambas a través del módulo *Imagediff* de Idrisi Andes el cual permite obtener cuatro imágenes: 1) una imagen de diferencias absolutas; 2) una imagen de porcentaje de cambio; 3) una imagen de anomalías estandarizadas; 4) una imagen clasificada de anomalías estandarizadas.

Factor de ordenación de cultivos (C)

Se trata de la relación entre el valor de pérdida de suelo en un campo con vegetación o cultivos y la pérdida ocurrida en un suelo en barbecho (11).

El uso del suelo dentro de la cuenca del Arroyo Belisario fue establecido a través de salidas a campo realizadas durante 2007. En abril se realizó el primer recorrido exploratorio, tomando puntos de control con un navegador G.P.S. (Sistema de Posicionamiento Global): se determinó la existencia de cultivos y distintos tipos de coberturas vegetales.

Con el apoyo de imágenes satelitales Landsat 5 y 7 se estableció un mapa de los principales usos del suelo en la cuenca. Luego se determinó el valor del factor C correspondiente a cada tipo de cobertura, según lo establecido por Kirkby (11), Mintegui Aguirre y López Unzú (14) y Wischmeier y Smith (16).

Factor de prácticas de conservación de suelos (P)

Es la proporción de pérdida de suelo cuando se implementan prácticas conservacionistas específicas en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas de colinas (11). Considera las distintas prácticas de cultivo y su efecto en la reducción de la erosión, tales como el cultivo a nivel, en fajas y en terrazas.

Se identificaron los sitios con presencia de medidas conservacionistas, otorgándose el valor de 1 a los sectores carentes de medidas de conservación. Del mismo modo que en los anteriores factores, se tomaron como referencia las tablas presentes en Kirkby (11), Mintegui Aguirre y López Unzú (14) y Wischmeier y Smith (16).

Pérdida de suelo (A)

Para obtener el resultado final de la aplicación del modelo U.S.L.E., se determinó la ecuación básica del modelo a partir del modelo cartográfico originado como producto de los mapas de los cinco factores intervinientes. Para una mejor interpretación, se reclasificó el mapa de A, aplicándose una clasificación propia, adaptada a nivel local -a partir de la elaborada por FAO en 1981-, representada en la tabla 2.

Tabla 2. Superficie asignada según rango de pérdida de suelo y riesgo de erosión.

Table 2. Area assigned to each category, considering soil loss values and risk of erosion.

Categoría	Superficie (ha)	U.S.L.E. tn.ha⁻¹.año⁻¹	Riesgo de erosión
1	607,05	< 5	Mínimo
2	234,81	5 - 10	Bajo
3	312,93	10 - 25	Medio
4	202,34	25 - 50	Alto
5	1.239,01	> 50	Muy alto

RESULTADOS

A continuación se presentan los valores obtenidos para cada uno de los cinco factores que integran la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Factor índice de erosión pluvial o erosividad del aguacero (R)

Según la bibliografía consultada para la región, y considerando las características de las precipitaciones, se consideró apropiado utilizar el valor de Factor R de $289 \text{ J.cm.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ en este análisis (5).

Factor de erodabilidad del suelo (K)

Se identificaron dos unidades cartográficas de suelo dentro de la cuenca del Arroyo Belisario, denominadas Duf 2 y R.

La notable supremacía en la ocupación de la unidad cartográfica de suelo R se encuentra plasmada en la figura 3 (pág. 9), superando las 1.700 ha. Se observa el notable contraste entre los valores de factor K (en $\text{tn.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$), obtenidos para la unidad cartográfica de suelo Duf 2 (0,53) y la R (0,95). Este último se corresponde con los expresados por Gaspari *et al.* (6) para una cuenca vecina, y por Delgado (3), para la cuenca del Arroyo Belisario.

En cuanto al valor de Factor K de $0,53 \text{ tn.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$, determinado para la unidad Duf 2, el mismo coincide con los valores presentados por Irurtia *et al.* (10), quienes citan un valor de 0,54 para sectores serranos con símiles características.

La diferencia entre ambas unidades se debe a las características específicas de cada unidad cartográfica de suelo, e influye de manera notable en el valor final de A.

Factor topográfico (LS)

El Modelo Digital del Terreno (figura 5, pág. 9), obtenido a partir de la rasterización e interpolación del mapa vectorial de curvas de nivel (figura 4, pág. 9), proporcionó información altitudinal sobre cada píxel de la imagen. A partir del D.T.M. y de la red de drenaje se dividió la cuenca en 16 subcuencas (figura 6, pág. 9).

Se observa que las subcuencas 1, 4, 8, 9 y 12 son las de mayor extensión, sobrepasando cada una las 200 ha, mientras que las subcuencas 5 y 16 ocupan superficies inferiores a las 50 ha.

En la figura 7 (pág. 11) se presentan los valores de factor LS para la cuenca del Arroyo Belisario (aplicando el procedimiento de Mintegui y Aguirre) y su correspondencia con los rangos de pendiente, según la tabla 1 (pág. 5), en la cuenca del Arroyo Belisario. Se observa que el 33% de la cuenca se encuentra en el rango de pendientes 3 - 12%, correspondiéndole un valor de LS de 1,5 mientras que otro tercio de la cuenca presenta valores de pendiente mayores al 30%, alcanzando valores de LS mayores a 14,6. Si bien es un valor muy elevado de Factor LS, representa el relieve de la zona, correspondiéndose con valores obtenidos en otra cuenca vecina de la región serrana (6).

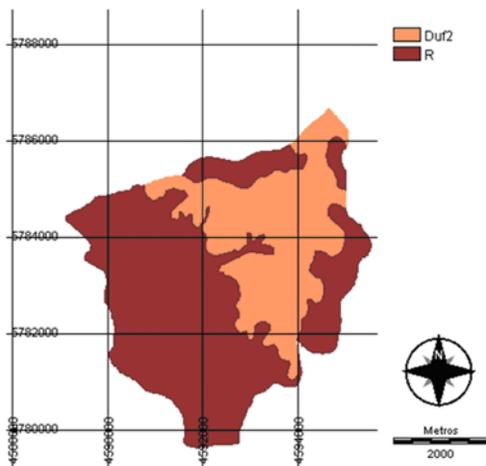


Figura 3.
Mapa de Factor K ($\text{tn.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) para la cuenca del Arroyo Belisario.

Figure 3.
Map of K Factor ($\text{tn.m}^2.\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$) for the Belisario Creek watershed.

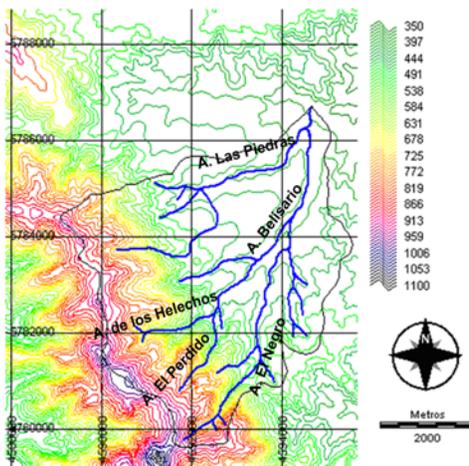


Figura 4.
Mapa topográfico con red de drenaje y límite de cuenca del Arroyo Belisario.

Figure 4.
Topographic map, including drainage and the Belisario Creek watershed.

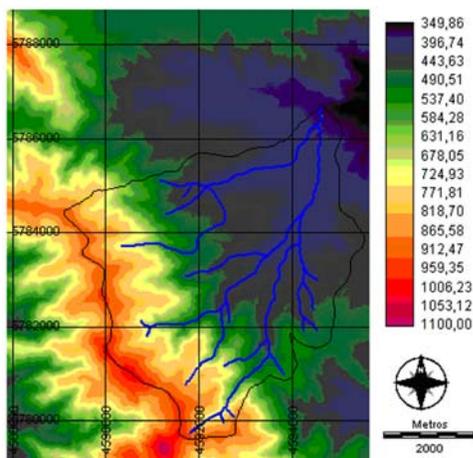


Figura 5.
Modelo Digital del Terreno, de la cuenca del Arroyo Belisario.

Figure 5.
Digital Terrain Model of the Belisario Creek watershed.

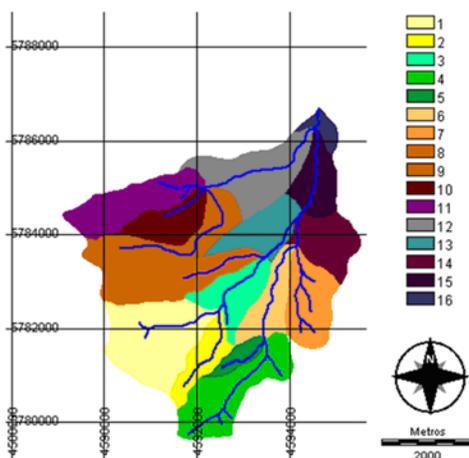


Figura 6.
Mapa de las 16 subcuencas digitalizadas manualmente.

Figure 6.
Map with the 16 sub watersheds digitalized.

En la figura 8 (pág. 11) se presenta el mapa correspondiente al cálculo del Factor LS, aplicando la metodología de Wischmeier y Smith.

Posteriormente, se aplicó el módulo *Imagediff* de Idrisi Andes obteniéndose una serie de cuatro mapas de diferencias entre ambas metodologías empleadas, presentándose en la figura 9 (pág. 11) el mapa de diferencias absolutas entre ambas.

Las mayores diferencias absolutas entre ambas metodologías de determinación de LS se expresan en la cabecera de la cuenca del Arroyo Belisario, debido a que el método de Mintegui Aguirre expresa en rangos de pendiente los diferentes valores de LS, mientras que la metodología de Wischmeier está generada a nivel de píxel (de 30 m de lado), otorgando mayor precisión a nivel geoespacial. Esta comparación de metodologías permitió validar el valor de LS a nivel de píxel, el cual ha sido utilizado para la aplicación del modelo U.S.L.E.

Factor de ordenación de cultivos (C)

Los mayores valores de Factor C se adjudican al tipo de cobertura vegetal Viñedo (figura 10, pág. 11). Se trata de un tipo de uso del suelo que ha comenzado hace algunos años en ciertas estancias dentro de la región. El suelo debajo de la cobertura Viñedo carece de cobertura, lo que lo define como una actividad de alta erodabilidad, incidiendo fuertemente sobre la pérdida de suelo superficial. Pero en este caso, en particular, se destaca que la superficie de ocupación del mismo es mínima, provocando un efecto erosivo poco significativo dentro de la cuenca.

El siguiente valor le corresponde al uso del suelo Cultivo agrícola. Se asigna el valor de 0,25 tanto para Cultivo agrícola como para Cultivo agrícola con medidas conservacionistas, debido a que justamente el Factor C considera el tipo de cobertura vegetal, pero no hace referencia a la implementación o no de prácticas sustentables.

En cuanto al Pastizal con afloramiento rocoso (presente en los lugares de mayores pendientes), su valor de 0,20 se justifica en poseer escasa cobertura vegetal y además presencia de roca superficial, lo que consecuentemente aumenta la velocidad de escurrimiento, tornándose más relevante al considerar que abarca casi el 50% de la superficie total de la cuenca del Arroyo Belisario.

Para el Pastizal serrano pobre se considera que corresponde un valor de 0,11 ya que si bien presenta cobertura vegetal, la misma se encuentra empobrecida. Por último, para los restantes usos, como ser Monte, Monte con arbustal, Vegetación ribereña y la localidad de Villa Ventana, los valores son mínimos, considerando que se trata de usos que favorecen la retención e infiltración del agua, ya sea sobre propio follaje o en el suelo.

En la figura 10 (pág. 11) se aprecia el alto grado de superficie ocupada por el tipo de uso de Pastizal con afloramientos rocosos (48% de la cuenca), segundado por la de Pastizal serrano pobre (29%).

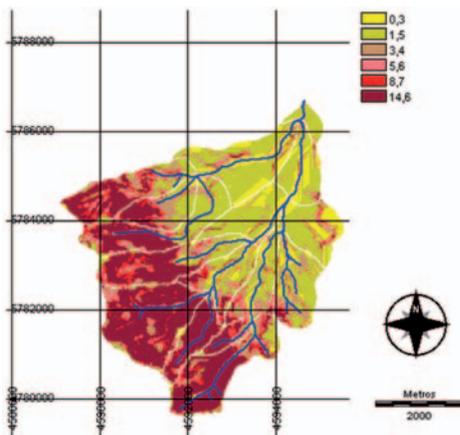


Figura 7.
Mapa de Factor LS, establecido según criterios de Mintegui Aguirre (13).

Figure 7.
Map with the LS values, established according to Mintegui Aguirre (13).

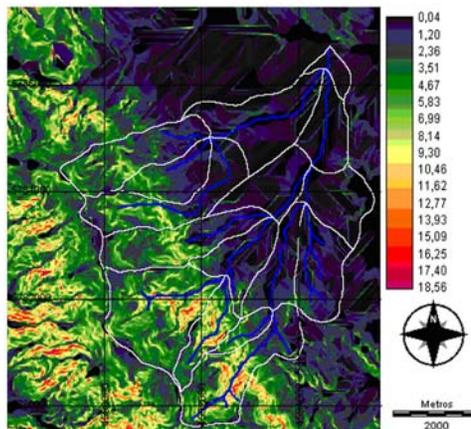


Figura 8.
Mapa de Factor LS, establecido por aplicación de fórmulas de Wischmeier.

Figure 8.
Map with the LS values, established applying Wischmeier's formule.

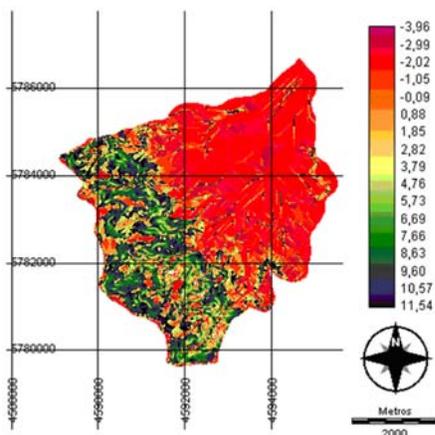


Figura 9.
Mapa de diferencias absolutas entre ambas metodologías utilizadas para determinación del Factor LS.

Figure 9.
Map with the absolute differences between both methodologies applied for determining LS Factor.

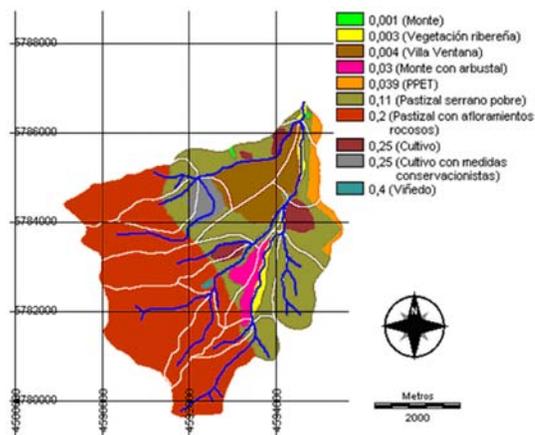


Figura 10.
Mapa de Factor C, según uso del suelo identificado.

Figure 10.
Map of the C Factor, according with the identified land use.

Factor de prácticas de conservación de suelos (P)

Se observó la implementación de medidas conservacionistas (cultivo en curvas de nivel) en un 3% de la superficie de la cuenca, donde las pendientes se encontraban dentro del rango de 8 a 12%, siendo el valor de Factor P asignado de 0,60. En el resto de la cuenca (2.534 ha), el valor de factor P se determinó igual a 1 (figura 11).

Pérdida de suelo (A)

El análisis generado para el procesamiento del modelo U.S.L.E. permitió cartografiar la pérdida de suelo en la cuenca del Arroyo Belisario (figura 12), y a su vez se evidenció que al disminuir la amplitud de los intervalos de las clases inferiores, se alcanzó un mayor detalle. Al mismo tiempo, se agruparon en la quinta clase los valores mayores a 50 toneladas por hectárea y año, por considerarse que en la región cualquier valor superior representa muy alto riesgo de pérdida de suelo.

El 23% de la cuenca (607 ha) se encuentra dentro del rango de riesgo de erosión mínimo, mientras que casi el 50% de la cuenca (1.239 ha) se ubica en el rango de muy alto riesgo de pérdida de suelo.

Los cinco factores intervinientes se analizan de manera independiente, para luego ser multiplicados entre sí. Dependiendo del sector de la cuenca que se analice, toman mayor importancia algunos factores, por ejemplo: los factores K y LS determinan los elevados valores de pérdida de suelo en la cabecera de la cuenca, ya que en dicho sector coinciden el Factor K de $0,95 \text{ (tn.m}^2\text{.h.ha}^{-1}\text{.J}^{-1}\text{.cm}^{-1}\text{)}$, y los mayores valores de Factor LS, los que inducen al notable incremento de A ($\text{tn.ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$), mientras que, por ejemplo, en la parte media de la cuenca, el factor determinante pasa a ser el C, ya que el tipo de uso de suelo Pastizal serrano pobre eleva el valor final de A.

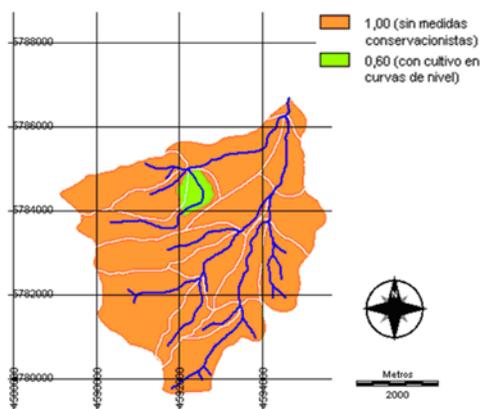


Figura 11.

Mapa de Factor P.

Figure 11.

Map of the P Factor.

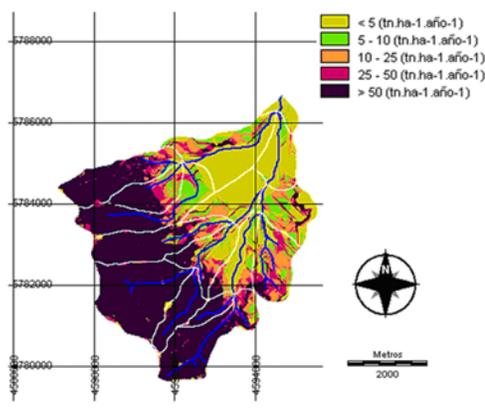


Figura 12.

Mapa de pérdida de suelo (A).

Figure 12.

Map of soil loss (A).

CONCLUSIONES

La Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo se considera como una forma correcta para la determinación de la erosión de los suelos, brindando resultados que facilitarán en un futuro la toma de decisiones para un posterior ordenamiento territorial a nivel de la cuenca hidrográfica del Arroyo Belisario.

Los valores estimados de pérdida de suelo para la cuenca del Arroyo Belisario son elevados, lo que denota la necesidad de implementación inmediata de medidas de conservación de suelos, de modo de lograr una merma en la degradación del recurso, y de este modo evitar sus posibles consecuencias en el corto y largo plazo.

El empleo del Sistema de Información Geográfica Idrisi Andes facilitó la elaboración de la cartografía correspondiente a cada factor de la U.S.L.E., permitiendo cuantificar y analizar la pérdida de suelo en cada sector de la cuenca.

REFERENCIAS

1. Burgos, J. 1963. Las heladas en la República Argentina. INTA. Colección Científica, Vol. III. 388 p.
2. Cellini, N.; D. Silva. 1988. Provisión de agua potable a la localidad veraniega de Villa Ventana. Tornquist. Provincia de Buenos Aires. Comunicación.
3. Delgado, M. I. 2009. Estudio de la dinámica del ciclo hidrológico en sitios forestados en el sistema serrano bonaerense de Ventania, Argentina. Tesis de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 180 p.
4. _____; F. J. Gaspari. 2007. Evaluación del impacto por erosión hídrica superficial en la Cuenca Alta del Río Sauce Chico. Argentina. Revista electrónica REDLACH. Número 1, Año 4. p. 74-89.
5. Gaspari, F. 2000. Ordenamiento territorial en cuencas serranas. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Ediciones Cooperativas. 115 p.
6. _____; M. I. Delgado; G. A. Denegri. 2009. Estimación espacio - temporal y valoración económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. Revista electrónica TERRA Latinoamericana, Organismo de difusión científica de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. 27(1): 43-52.
7. Gómez Orea, D. 2008. Ordenación territorial. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. 766 p.
8. Hauri, B. A. 2006. Determinación de la erosión hídrica superficial asociada al uso del suelo en la cuenca hidrográfica del arroyo Belisario. Tesis de Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. 113 p.
9. Idrisi Andes Versión 15.01. 2006. Clark Labs, Clark University, Worcester MA, USA.
10. Irurtia, C.; G. Cruzate; F. Gaspari. 2007. aplicación de la U.S.L.E. en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica. Instituto Nacional de Suelos del INTA y Universidad Nacional de La Plata. 25 p.
11. Kirkby, M. 1994. Erosión de suelos. Uteha, Noriega editores. México. 375 p.
12. Kozarik, J. C. 1967. Estudio preliminar del estado natural de la cuenca Arroyo Belisario para su futura ordenación. Tesis de Grado. 53 p.

13. 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. Madrid. p. 2229-2245.
14. _____; López Unzú, F. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I parte. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. 172 p.
15. Rojas, A.; A. Conde. 1985. Estimación del factor R de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo para el centro-este de la República Argentina. Ciencia del Suelo, Vol. 3: 1-2.
16. Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook N° 537. Washington. USA. 51 p.