

Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelos y aguas en San Pedro de Melipilla, Chile

Application USLE model on erosion plots under soil conservation practices and water in San Pedro de Melipilla, Chile

Olivares, Barlin ^{1*}; Lobo, Deyanira ² Verbist, Koen ³

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), El Tigre Estado Anzoátegui, Venezuela.

² Departamento de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay estado Aragua.

³ Department of Soil Management, Ghent University, Centro del Agua para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), Chile.Koen.

*barlinolivares@gmail.com

Resumen

En el presente estudio se evaluó el modelo USLE en la estimación de la erosión hídrica en un Alfisol ubicado en la comuna San Pedro, Región Metropolitana de Chile, con el empleo de valores de erosividad (R) obtenidos mediante la aproximación de Arnoldus (IFM) y ecuaciones propuestas por el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) en España, adaptadas a las condiciones de Chile. Para la evaluación de las pérdidas de suelo se utilizaron los datos de sedimentos por cada evento de precipitación durante el período 1996-2000, medidas en parcelas experimentales con los tratamientos de subsolado, zanjas de infiltración y pradera natural. Se compararon los valores de erosión estimados con los medidos en parcelas de erosión en términos de estadística básica y en índices basados en diferencia y regresión a través del sistema computarizado IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates). En el análisis descriptivo y comparativo de las ecuaciones seleccionadas se determinó que las pérdidas de suelo estimadas con la USLE, utilizando la ecuación de erosividad de la lluvia de ICONA, obtenida con datos de otras localidades, proporcionó valores que se ajustan bien a los valores registrados en el área de estudio, con ligeras variaciones. De acuerdo con los resultados el modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos, es decir, los datos estimados fueron consistentes y siguieron el mismo patrón de los datos tomados en campo.

Palabras clave: Suelo, degradación, erosividad, lluvia, USLE

Abstract

This study evaluated the USLE model in estimating water erosion in an Alfisol located in the town San Pedro, Chile's Metropolitan Region, with the use of erosivity values (R) obtained by approximating Arnoldus (IFM) and equations proposed by the Institute for the Conservation of Nature (ICONA) in Spain, adapted to the conditions of Chile. For the assessment of soil loss were used sediment data for each rainfall event during the period 1996-2000, measured in experimental plots tilled treatments, infiltration trenches and natural prairie. We compared the estimated erosion values with those measured on erosion plots in terms of basic statistics and indices based on difference and regression through the computerized system IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates). In the descriptive and comparative analysis of the selected equations was determined that the estimated soil loss with the USLE equation using rainfall erosivity of ICONA, obtained with data from other locations, provided values that fit well with the values recorded in the study area, with slight variations. According to the results of the model was able to establish USLE approaches with respect to the tendency of the data, ie the estimated data were consistent and followed the same pattern from the data collected in the field.

Key words: Soil Degradation, Erosion, rain, USLE.

1 Introducción

La erosión hídrica es el proceso que produce la pérdida de la superficie del suelo debido al cambio de sus características físicas, químicas y biológicas por la continuidad de las fases de separación, transporte y sedimentación activadas por la lluvia. Tal fenómeno puede ocurrir de manera aguda y repentina (erosión acelerada) o suave e imperceptible (erosión geológica), involucrando factores que pueden dividirse en activos, como el agua aportada por la precipitación y pasivos, como el suelo, el relieve, la cubierta vegetal, el uso, manejo y las prácticas de conservación (Colotti 2004).

Debido a la complejidad de describir físicamente los procesos que ocasionan escurrimiento y erosión, así como a las limitaciones que involucra la gran cantidad de datos que se requieren, se ha recurrido a la generación empírica de ecuaciones. Es decir, a partir de la gran cantidad de mediciones hechas en el campo, se obtiene una ecuación de cierta sencillez que relaciona matemáticamente varios factores fácilmente determinables. Tal es el caso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, USLE, (Wischmeier y col., 1978). Los procedimientos empíricos presentan una limitante genérica: sólo son aplicables dentro del intervalo de valores que dieron origen a la ecuación (Silva 1995).

En Chile, el problema relacionado con la erosión es considerado uno de los procesos de mayor relevancia en la pérdida de la capacidad productiva de las tierras (Mancilla 2006). Es precisamente por esta razón que surge la necesidad de evaluar la erosión hídrica en términos de la pérdida de suelo a la que está sujeta un área determinada, según las condiciones actuales de uso y manejo, para de esta manera aplicar medidas que eviten las pérdidas de este recurso. El presente estudio constituye una base teórica, práctica y experimental a la hora de diseñar y decidir la mejor estrategia productiva.

Los estudios de erosión hídrica en Chile no son muy abundantes, de aquí surge el interés de llevar a cabo este tipo de estudios en la Región Metropolitana de este país. Asimismo, esta metodología empleada podría ser implementada en estudios similares en diversas regiones afectadas por la erosión hídrica o susceptible a ella.

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la bondad en la estimación de la erosión hídrica del modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) en un Alfisol, bajo diferentes situaciones de manejo de suelo, en la Región Metropolitana de Chile, específicamente en una cuenca ubicada en la Comuna San Pedro, comparando las estimaciones de erosión proporcionadas por el modelo, utilizando dos adaptaciones para la valoración de la erosividad de la lluvia, con las respectivas mediciones de erosión obtenidas en parcelas experimentales en años recientes.

2 Materiales y métodos

Los datos empleados para la validación del modelo se obtuvieron de suelos en la localidad de Alto Loica, Comuna San Pedro, Provincia de Melipilla en la Región Metropolitana de Chile. Dicha localidad se encuentra en la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, a 120 km al Suroeste de Santiago de Chile; a $-34^{\circ} 01' 58,8''$ de latitud y $-71^{\circ} 25' 1,2''$ de longitud. Posee un clima templado con tendencia a mediterráneo, caracterizado por presentar una estación seca en verano (Diciembre a Marzo). La precipitación media anual es de 399 mm. La temperatura media anual es de 15°C . La vegetación típica de la zona está constituida por Espino (*Acacia caven*), Quillay (*Quillaja saponaria*), Boldo (*Peumus boldus*) y Maitén (*Maytenus boaria*) (Tokugawa y col., 1996).

El tipo de suelo donde se encuentra ubicado el ensayo corresponde a un Alfisol, perteneciente a la Serie Cauquenes. El pedón representativo de uno de los componentes de la Asociación Cauquenes es un miembro de la familia Ultic Paleoxeralfs, fina, caolinítica, isomésica (USDA, 1993). Descansa sobre un substrato constituido por roca granítica muy meteorizada. Ocupa una posición topográfica de cerros y lomajes con erosión severa y bien drenada. Por capacidad de uso del suelo fue clasificado como clase VII que significa baja calidad dentro de las ocho clases restantes y se adjunta la letra (e) que significa limitación por erosión y/o topografía (Martínez 2004).

Para la evaluación de las pérdidas de suelo se utilizaron los datos de sedimentos para cada evento de precipitación durante el período 1996-2000, obtenidas mediante mediciones en las parcelas experimentales con los tratamientos de subsolado, zanjas de infiltración y un tratamiento testigo llamado pradera natural, con dimensiones: 4 m de ancho y 22,14 m de largo; para una superficie total de $88,56\text{ m}^2$, delimitadas en su perímetro por una lámina de metal. En la base inferior de las parcelas está el área de captación (Figura 1).

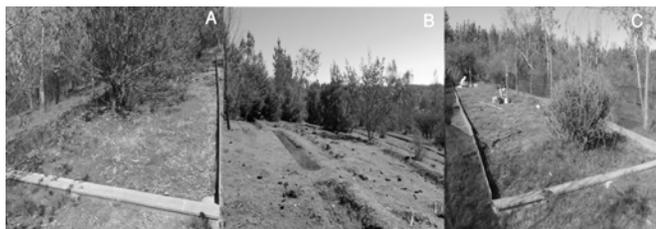


Fig. 1. Tratamientos: A) subsolado, B) Zanjas de infiltración y C) Pradera Natural

El modelo USLE, contempla la acción de los factores precipitación, suelos, topografía, cobertura y prácticas de conservación. Su expresión básica es la indicada en la ecuación 1 (Wischmeier y col., 1978).

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Donde:

A: pérdida de suelo, expresada, en el sistema métrico internacional, en Mg.ha⁻¹.año⁻¹.

R: energía erosiva de la lluvia (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹).

K: erosionabilidad del suelo [(Mg.ha⁻¹).(Mj.mm.ha⁻¹.h⁻¹)⁻¹]

L: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por la longitud de la pendiente.

S: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el gradiente de la pendiente.

C: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el manejo y uso de la tierra (cobertura del cultivo, generalmente).

P: relación (adimensional) de pérdida de suelo originada por el uso de prácticas de conservación.

Para la estimación del factor erosividad de la lluvia se utilizaron dos adaptaciones del factor R, la primera fue desarrollada por el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) y la segunda, mediante una ecuación con el Índice de Fournier Modificado (IFM). Es conveniente indicar que la misma tiene su origen en las zonas áridas y semiáridas con clima mediterráneo de España, por lo tanto responde a un patrón específico de lluvia del clima local.

Se usó el modelo validado para una zona con clima y patrones de precipitación similares al de la zona en estudio; siendo esta la primera forma de estimar el factor erosividad en (hJ.cm.m⁻².h⁻¹) (Valenzuela y col., 2004) (ecuación 2), a partir de los datos mensuales de precipitación del período 1996 -2000:

$$R = 0,291.[PMEX]^{1,297} [MR]^{-0,511} [MV]^{0,366} [F24]^{0,414} \quad (2)$$

Donde PMEX es la lluvia media de la máxima mensual de cada uno de los años de la serie (mm), MR es la lluvia media del período Octubre-Mayo (mm), MV la lluvia del período Junio-Septiembre (mm), y F24 es el factor de concentración de la máxima lluvia diaria (ecuación 3), que se define como:

$$F24 = \frac{(\text{máxima lluvia en 24 horas del año})^2}{\text{Suma de las máximas en 24 horas de todos los meses del año}} \quad (3)$$

Posteriormente se utilizó el Índice de Fournier Modificado (IFM) (Arnoldus 1980), en la que se consideran no sólo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses. Este índice fue denominado (ecuación 4).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad (4)$$

Donde (Pi) representa la precipitación del mes y (Pt) es

la precipitación total anual del área.

Por otra parte, la segunda adaptación para estimar la erosividad de la lluvia es a través de la ecuación 5, donde R es la erosividad de la lluvia (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹); a= 0 y b= 1,6881 mm⁻¹ son coeficientes que se obtienen de una regresión lineal (ICONA, 1988):

$$R = a + b \cdot \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} = a + b \cdot IFM \quad (5)$$

Esta última ecuación se obtiene a partir de la fórmula propuesta por ICONA, con esto no se emplea el IFM como sustituto del análisis de bandas, por lo tanto los coeficientes (a y b) no provienen de la regresión de IFM con el índice de erosión pluvial (EI₃₀) de bandas, lo cual representa una limitación en la estimación de la erosividad.

La estimación del factor erosionabilidad del suelo (K) se realizó mediante el nomograma de erosionabilidad (Wischmeier y col., 1971), según las características (% de limo + arena muy fina), (% de arena muy gruesa a fina), materia orgánica (%), Permedabilidad y estructura del suelo (Morgan 1997).

Los factores S se determinaron a partir de la ecuación 6 (Wischmeier y col., 1978) para cada uno de los tratamientos evaluados.

$$S = 0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2 \quad (6)$$

Donde (s) es la pendiente (%).

Para determinar el factor Longitud de la pendiente, en la parcela con zanjas de infiltración se utilizó la ecuación 7

$$L = \left(\frac{l}{22,1} \right)^\mu \quad (7)$$

Donde (l) es la longitud de la escorrentia sobre la pendiente (m) y (μ) un factor dependiente del gradiente, el cual se calculó por la ecuación 8 (Wischmeier y col., 1978).

$$\mu = 0,6 * \left[1 - e^{(-35,835.S)} \right] \quad (8)$$

Para la estimación, se estableció el factor C como una función lineal en el tiempo, para las plantaciones de *Acacia caven* y *Pinus radiata* ubicadas en los tratamientos subso-lado y zanjas de infiltración, respectivamente, debido principalmente a que en ambos casos la cobertura de las plantaciones varía notablemente en el tiempo. En el caso del tratamiento pradera natural, el valor C se consideró estable, ya que se asumió que no hubo cambios importantes en la cobertura del suelo a través del tiempo.

Por otra parte, con respecto al factor labranza en contorno (Pc) del tratamiento de subsolado, se le asignó el valor proporcionado por Wischmeier y Smith (1978) de acuerdo al gradiente de la pendiente.

Los valores medidos en las parcelas de erosión se compararon con los valores de erosión estimados mediante la USLE, aplicando las dos adaptaciones en cuanto al factor R: a) estimado mediante la aproximación de Arnoldus (IFM) y b) estimado con la fórmula de ICONA (1988). La comparación se realizó con el sistema computarizado IRENE (Integrated Resources for Evaluating Numerical Estimates) en términos de estadísticas básicas como el promedio, desviación típica, sesgo y curtosis; estadísticas basadas en diferencia como los índices eficiencia de simulación (EF), el coeficiente de concordancia (d) y el error medio absoluto (MAE), y por último las estadísticas basadas en regresión utilizadas fueron el coeficiente de regresión de Pearson y la pendiente, el intercepto y la probabilidad de que la pendiente y el intercepto sean uno y cero respectivamente.

3 Resultados y discusión

3.1 Tratamiento de subsolado

Al comparar las mediciones de erosión obtenidas en campo con los respectivos valores estimados, se obtuvo que ambas adaptaciones de la USLE sobrestimaran la erosión en este tratamiento. Los mayores valores totales y promedios se obtuvieron al emplear la USLE con la aproximación de Arnoldus (IFM). A pesar de esta diferencia en los valores absolutos, ambas estimaciones con USLE presentaron un buen comportamiento en cuanto a la distribución de los valores estimados. La desviación típica, sesgo y curtosis de USLE con R (ICONA) fue similar a las de los valores medidos como se observa en el tabla 1.

Tabla 1. Estadísticas básicas de la erosión medida y simulada para el tratamiento Subsulado

Estadísticas Básicas	Medida	USLE	
		R (IFM)	R (ICONA)
Numero de valores	5	5	5
Suma (Mg ha ⁻¹)	0,83	0,99	0,64
Promedio (Mg ha ⁻¹)	0,17	0,20	0,13
Desviación Típica (Mg ha ⁻¹)	0,11	0,14	0,07
Sesgo	-0,09	1,03	-0,59
Curtosis	-2,14	1,02	-1,20

3.1.1 Evaluación de diferencias de simulación

El análisis de los índices relacionados con los errores de estimación, concordancia y eficiencia de simulación, coloca la opción de USLE con R (IFM) en posición desventajosa con respecto a la otra opción. En el mismo orden de ideas, la eficiencia de simulación posee un valor negativo en la opción R (IFM) como se observa en tabla 2, lo cual significa que el error en magnitudes es lo suficientemente importante como para suponer que la media de los valores medidos sería mejor estimador que los resultados simulados. El coeficiente de concordancia fue más desfavorable para la opción de USLE con R (IFM) con un valor más bajo en comparación a la opción USLE con R (ICONA), lo que se interpreta como mayor concordancia entre los valores medidos y simulados para esta última opción.

Tabla 2. Estadísticas basadas en diferencia de la erosión medida y estimada para el tratamiento Subsulado

Índice	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Eficiencia de simulación (EF)	-1,29	0,07
Índice de Concordancia (d)	0,45	0,68
Error Medio Absoluto (MAE)	0,12	0,07

3.1.2 Evaluación de la correlación y tendencia

Las estadísticas basadas en regresión (tabla 3), indican que la opción con mejor comportamiento, en términos de asociación entre valores simulados y medidos fue USLE con R (ICONA). Sin embargo, ambos índices indican baja correlación entre valores medidos y estimados por el modelo. Se puede observar que de las dos opciones, la USLE con R (ICONA) posee coeficiente de regresión (pendiente de la recta, b1 e intercepto, b0) cercanos a los esperados en la recta 1:1, con mayor probabilidad de que ambas condiciones sean ciertas.

Tabla 3. Estadísticas de regresión de la erosión medida y estimada para el tratamiento Subsulado.

Parámetros	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Coefficiente de regresión (r)	0,17	0,49
Intercepto (b0)	0,16	0,07
Probabilidad del intercepto (b0)	0,33	0,31
Pendiente (b1)	0,21	0,31
Probabilidad de la pendiente (b1)	0,36	0,12

Probabilidad $b_1=1; b_0=0$	0,61	0,62
-----------------------------	------	------

3.2 Tratamiento de Zanjas de infiltración

Las cantidades totales de suelo erosionado estimadas de USLE con R (ICONA) para el tratamiento de zanjas de infiltración fueron cercanas a las medidas; por su parte la opción USLE con R (IFM) generó un valor total de erosión notablemente mayor (tabla 4).

Tabla 4. Estadísticas básicas de la erosión medida y simulada para el tratamiento Zanjas de infiltración.

Estadísticas Básicas	Medida	USLE	
		R (IFM)	R (ICONA)
Numero de valores	5	5	5
Suma (Mg/ha)	0,45	1,46	0,94
Promedio (Mg/ha)	0,09	0,29	0,19
Desviación Típica (Mg/ha)	0,05	0,21	0,10
Sesgo	0,72	1,22	-0,70
Curtosis	-0,59	1,73	-1,14

No obstante, ambos valores son superiores a los medidos lo que indica una sobrestimación. Los valores estimados presentaron valores de desviación típica mucho mayor que los medidos. Por su parte, los valores de sesgo y curtosis de la opción USLE con R (IFM) resultaron mucho más altos que los medidos, lo que quiere decir que esta tiene mayor predominio de valores bajos y mayor concentración con respecto a la media. Asimismo, se evidencia que la curtosis de la USLE con R (ICONA) es negativa lo que se interpreta como una menor concentración de datos en torno a la media.

3.2.1 Evaluación de diferencias de simulación

Con relación a los índices empleados para evaluar diferencias, se puede observar, en la tabla 5, que ambas opciones para estimar las pérdidas de suelo poseen índices de eficiencia de simulación negativos, como anteriormente se mencionó se puede inferir entonces que el error en magnitudes es lo suficientemente importante como para suponer que la media de los valores medidos sería mejor estimadora que los resultados simulados. Para este tratamiento, en cuanto al índice de concordancia, la opción de USLE con R (ICONA) presenta un valor mayor, por lo tanto dicha opción presenta mayor concordancia con los valores medidos,

mientras que el error medio absoluto fue mucho menor que la opción de USLE con R (IFM), lo que indica que con la opción de R (ICONA) se presentó un menor error en la estimación de los valores de erosión.

Tabla 5. Estadísticas basadas en diferencia de la erosión medida y estimada para el tratamiento Zanjas de infiltración.

Índice	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Eficiencia de simulación (EF)	-31,56	-5,86
Índice de Concordancia (d)	0,36	0,55
Error Medio Absoluto (MAE)	0,20	0,09

3.2.2 Evaluación de la correlación y tendencia

Ambas adaptaciones del modelo USLE poseen coeficientes de correlación alto. Es decir se presentó alta correlación entre valores de erosión medidos y estimados. No obstante, tomando en consideración las probabilidades conjuntas la adaptación de USLE con R (IFM), presentó una menor probabilidad de que simultáneamente, los valores de interceptos y pendiente sean 0 y 1, respectivamente. De igual manera, los altos valores de pendiente de la recta en ambas opciones indican mayores sobrestimaciones en la medida que aumenta la magnitud de la erosión (tabla 6).

Tabla 6. Estadísticas de regresión de la erosión medida y estimada para el tratamiento Zanjas de infiltración.

Parámetros	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Coefficiente de regresión (r)	0,87	0,76
Intercepto (b0)	-0,04	0,04
Probabilidad del intercepto (b0)	0,71	0,60
Pendiente (b1)	3,75	1,56
Probabilidad de la pendiente (b1)	0,11	0,51
Probabilidad $b_1=1; b_0=0$	0,002	0,077

3.3 Tratamiento de Pradera Natural

Al comparar las estadísticas básicas de los valores medidos y estimados por las dos adaptaciones de USLE, se observa en la tabla 7, que la opción R (ICONA) produjo los valores de suma, promedio y desviación típica más cercanos a los medidos. Los valores de sesgo y curtosis en ambas opciones

fueron mucho mayores a los correspondientes a los valores medidos.

Tabla 7. Estadísticas básicas de la erosión medida y simulada para el tratamiento Pradera natural.

Estadísticas Básicas	Medida	USLE	
		R (IFM)	R (ICONA)
Numero de valores	5	5	5
Suma (Mg/ha)	0,23	0,37	0,27
Promedio (Mg/ha)	0,05	0,07	0,05
Desviación Típica (Mg/ha)	0,02	0,07	0,06
Sesgo	0,36	1,47	1,99
Curtosis	-2,84	1,83	4,20

3.3.1 Evaluación de diferencias de simulación

Como se observa en la tabla 8, ambas adaptaciones del modelo poseen índices de eficiencia de simulación negativos, al igual que en el resto de los tratamientos. Lo que quiere decir que el error en magnitudes es lo suficientemente importante como para suponer que la media de los valores medidos sería mejor estimadora que los resultados simulados. En cuanto al índice de concordancia la opción de USLE con R (ICONA) presenta un valor mayor, sin embargo ambos valores de concordancia se consideran moderados, mientras que el error medio absoluto fue mayor para la adaptación de USLE con R (IFM). Es decir que esta adaptación presentó mayor diferencia promedio entre valores medidos y estimados de erosión para este último tratamiento de pradera natural.

Tabla 8. Estadísticas basadas en diferencia de la erosión medida y estimada para el tratamiento Pradera natural.

Índice	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Eficiencia de simulación (EF)	-6,91	-3,30
Índice de Concordancia (d)	0,51	0,64
Error Medio Absoluto (MAE)	0,04	0,03

3.3.2 Evaluación de la correlación y tendencia

Al analizar las estadísticas basadas en regresión (tabla 9), se puede observar que ambas adaptaciones del modelo poseen valores de coeficientes de correlación considerados altos; por su parte USLE con R (ICONA) presentó mejor comportamiento en términos de asociación entre valores simulados y medidos. Se puede deducir que de las dos adaptaciones, la

USLE con R (ICONA) posee coeficiente de regresión (pendiente de la recta, b1 e intercepto, b0) cercanos a los esperados en la recta 1:1, con mayor probabilidad de que ambas condiciones sean ciertas.

Tabla 9. Estadísticas de regresión de la erosión medida y estimada para el tratamiento Pradera natural.

Parámetros	USLE	
	R (IFM)	R (ICONA)
Coefficiente de regresión (r)	0,62	0,70
Intercepto (b0)	-0,009	-0,027
Probabilidad del Intercepto (b0)	0,90	0,64
Pendiente (b1)	1,84	1,81
Probabilidad de la pendiente (b1)	0,57	0,50
Probabilidad b1=1; b0=0	0,267	0,381

En este orden de ideas, el modelo USLE fue evaluado por (Honorato y col., 2001) en 42 situaciones agroecológicas en 6 localidades entre la IV y IX Región de Chile, con un rango de precipitación de 100 a 1800 mm. El modelo tuvo un buen comportamiento predictivo en localidades con una erosión significativa ($> 2,5 \text{ Mg. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y con prácticas de manejo que favorecieron la erosión, como suelo desnudo y labranza tradicional, ya que los valores estimados por el modelo no superaron el 50 % del valor de erosión observado, con una probabilidad de 0,05; el modelo no proporcionó buenas estimaciones de la erosión, debido principalmente al factor R estimado mediante la aproximación de Arnoldus (IFM) (1980), cuyos valores no proporcionaron la exactitud suficiente para estimar la erosividad de la lluvia, seguido del factor C en donde los valores asignados no cuantificaron adecuadamente las prácticas de manejo.

4 Conclusiones

De acuerdo a los análisis realizados en este estudio, se concluye que el tratamiento de Pradera natural presentó valores de erosión menores a los tratamientos de subsolado y zanjas de infiltración lo cual evidencia que dichas prácticas de preparación de suelos y conservación no tienen un efecto significativo en cuanto a la disminución de la cantidad de sedimento registrado en la zona de estudio.

Debido al origen empírico de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), así como a los procedimientos para calcular cada uno de los factores, se destaca que estos no son universales, es decir, la certeza de sus predicciones es mayor a medida en que las condiciones en que se aplique se asemejen a las condiciones donde inicialmente se obtuvieron. Por esta razón, los resultados o estimaciones en este

estudio deben interpretarse únicamente como aproximaciones de la tendencia que pudiesen ocurrir en la realidad.

El modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos, es decir, los datos estimados fueron consistentes y siguieron el mismo patrón de los datos tomados en campo, a pesar de las ligeras sobreestimaciones y subestimaciones. Las posibles causas del comportamiento del modelo USLE en las estimaciones de la erosión hídrica para la zona de estudio son, en primer lugar, la baja erosión observada en esas situaciones de manejo como subsolado, zanjas de infiltración y pradera natural, donde el error puede ser más grande que los datos obtenidos en campo. Así mismo, el empleo de la precipitación mensual en ambas ecuaciones, utilizadas para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia que puede ocultar el efecto erosivo de lluvias diarias de gran magnitud.

Referencias

- Arnoldus HMJ, 1980, An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, In M. De Boodt and D. Gabriels. (eds), assessment of soil erosion. John Wiley and Sons, Chichester, Gran Bretaña. pp. 127-132.
- Colotti E, 2004, Aplicabilidad de los datos de lluvia horaria en el cálculo de la erosividad, Trabajo de Ascenso, Caracas, Venezuela, Facultad de Humanidades, Universidad Central de Venezuela, pp.182.
- Honorato R, Barrales L, Peña I, Barrera F, 2001, Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX Región de Chile. Cien. Inv. Agr. Vol. 28, No. 1, pp. 7-14.
- ICONA, 1988, Agresividad de la lluvia en España. Valores del factor R de la ecuación universal de pérdidas de suelo, Servicio de publicaciones del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed. Ariel, S.A, Barcelona, Madrid, pp. 292.
- Mancilla G, 2006, El uso de modelos de erosión para la planificación de actividades forestales (parte I). Ambiente For. (Chile) Vol 1, No. 2, pp. 42-45.
- Martínez R, 2004, Mapa de reconocimiento de suelos de la VIII Región del Bio-Bio (sector sur), Trabajo de grado para optar al título Profesional de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile, Santiago, pp. 147.
- Morgan R, 1997, Erosión y conservación de suelo, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 343.
- Tokugawa K, Vargas R, 1996, Control de erosión y forestación en cuencas hidrográficas de la zona semiárida de Chile, Informe intermedio de control de erosión, Proyecto CONAF – JICA, Chile, pp. 72.
- Valenzuela B, Morales LS, 2004, Estimación del factor de erosividad de las precipitaciones en la Región de Coquimbo, XIV Simposio Chileno de Física, Antofagasta, Chile, pp. 3.
- Wischmeier WH, Smith DD, 1978, Predicting soil erosion losses: A guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook 537, pp. 58.
- Wischmeier WH, Johnson CB, Cross BV, 1971, A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of soil Water Conservation, Vol. 26, pp. 189-193.

Recibido: 28 de enero de 2013

Revisado: 02 de octubre de 2014

Oliveros, Barlin Orlando: Ingeniero Agrónomo de la Universidad Central de Venezuela. Master en Tecnología Ambiental, Universidad Internacional de Andalucía, Huelva, España. Participante por Venezuela en el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) con sede en Chile, en el marco del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Investigador nivel (A-2) del Programa de Estimulo a la Innovación e Investigación.

Lobo, Deyanira: Doctora en las ciencias del suelo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. Profesora del Instituto de Edafología de FAGRO-UCV. Investigadora nivel (C) del Programa de Estimulo a la Innovación e Investigación. Participante en proyectos en el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Correo electrónico: lobod@agr.ucv.ve

Verbist, Koen: Profesor e investigador del Departamento de Manejo de Suelos de la Universidad de Gante en Bélgica. Cooperante Belga del Centro del Agua para las Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) con sede en Chile. Correo electrónico: Koen.Verbist@ugent.be

Silva O, 1995, Descripción general de algunos modelos de simulación de erosión, Venesuelos, Vol.3, No. 1, pp. 30-37.