



5º CONGRESO FORESTAL
ESPAÑOL

5º Congreso Forestal Español

Montes y sociedad: Saber qué hacer.

REF.: 5CFE01-383

Editores: S.E.C.F. - Junta de Castilla y León
Ávila, 21 a 25 de septiembre de 2009
ISBN: 978-84-936854-6-1
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Variación de los valores del factor topográfico “LS” aplicando la RUSLE. Influencia del uso y del tipo del suelo en su cálculo.

MARGARITA ROLDÁN SORIANO¹

¹Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.

28032 Madrid. España. margarita.roldan@upm.es.

Resumen

Una de las principales características del medio con mayor influencia en el proceso de erosión hídrica es la topografía, considerándose como principales elementos de la topografía que intervienen en dicho proceso, la pendiente del terreno y la longitud de la ladera. En los modelos USLE y RUSLE la influencia de la topografía en el cálculo de la pérdida de suelo viene recogido por el producto del factor “L”, factor longitud de ladera y factor “S”, factor pendiente del terreno. El modelo RUSLE, a diferencia de la ya tradicional USLE, tiene en cuenta para su cálculo la complejidad que en el fenómeno erosivo presenta la topografía del terreno, pero junto con otros elementos del medio, y que en el cálculo de dicho factor se traduce en el empleo de mayor número de parámetros, así como de la interrelación de dicho factor con el uso y tipo de suelo, elementos del medio que también se tienen en cuenta en la estimación de otros factores que intervienen en el modelo. Es decir, la RUSLE considera en el cálculo del “LS” la interrelación entre dicho factor LS y el resto de los factores que intervienen en el modelo. Esta interrelación entre factores no es considerada por USLE, que a excepción de la estimación del factor vegetación en terreno agrícola, estima cada uno de sus factores de forma independiente. En este trabajo se presenta una aplicación del modelo RUSLE, en su versión informática v.1.06b, mostrándose las variaciones que en el cálculo del “LS” producen el uso y tipo de suelo, junto con las características del relieve, pendiente y longitud de ladera.

Palabras clave

Erosión, RUSLE, longitud de ladera, pendiente, vegetación, textura.

1. Introducción

La aplicación de los modelos USLE y RUSLE (Renard K.G. et al; 2000) en el cálculo de las pérdidas de suelo en cuencas hidrográficas y la posterior comparación de los resultados obtenidos con ambos modelos permitió determinar que las mayores diferencias en la aplicación de los dos modelos se presentaban en el factor topográfico “LS” (Roldán, M. y Gómez V., 2003)

2. Objetivos

Se ha querido en este estudio analizar con la RUSLE (Renard K.G. et al; 2000) en su versión informática 1.06.b las diferencias que en la estimación del factor “LS” aparecen cuando se consideran, además de la topografía, los diferentes tipos de usos y clases texturales del suelo que incorpora dicho programa informático en la estimación de dicho factor, así mismo, analizar las posibles incongruencias que en su estima se nos pudieran presentar,

conocer sus causas e intentar a raíz de los resultados obtenidos presentar conclusiones que permitan al usuario poder valorar sus resultados.

3. Metodología

Para comprobar las relaciones existentes entre los diferentes elementos que RUSLE considera en la estimación del factor LS se ha aplicado el software RUSLE en su versión 1.06b desarrollando diversas combinaciones de los elementos intervinientes y analizando los resultados obtenidos.

El factor topográfico “LS” se obtiene con el producto del factor “L” y el factor “S”. El factor “L” en el modelo RUSLE depende en su cálculo además de la longitud de la ladera, de un exponente “m” que es función de la pendiente, y que también está relacionado con la tasa de erosión en regueros, causada principalmente por el flujo superficial y la erosión entregueros, causada principalmente por la erosión por impacto de las gotas

$$L = \left[\frac{l}{22,10} \right]^m \quad \text{siendo} \quad m = \frac{B}{1 + B}$$

Siendo, l la longitud de ladera (metros) y B la relación entre la erosión en regueros y la erosión entre regueros que se produce en la ladera, y que se evalúa en función de la pendiente del terreno, y teniendo en cuenta también para su estimación el uso del suelo.

$$B = \frac{\frac{\text{sen } \theta}{0,0896}}{3 \times (\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56} \quad \begin{array}{l} S = 10,8 \times \text{sen } \theta + 0,03 \quad \text{si la pendiente es } < 9\% \\ S = 16,8 \times \text{sen } \theta - 0,05 \quad \text{si la pendiente es } > 9\% \end{array}$$

siendo θ , ángulo de la ladera

Cuando la longitud de ladera es muy corta, y es difícil que se formen regueros, la expresión que debe utilizarse es:

$$S = 3 \times (\text{sen } \theta)^{0,8} + 0,56$$

Cuando la longitud de la ladera aumenta la pérdida de suelo aumenta también debido a una acumulación de escorrentía en la parte baja de dicha ladera, lo que hace aumentar, además, el riesgo de formación de regueros. A medida que aumenta la pendiente también incrementa el riesgo de erosión en regueros frente a la erosión entregueros. Indudablemente la existencia y predominio de uno de estos tipos de erosión dependen, además de la topografía, de las características del suelo y de la cubierta.

En RUSLE una de las innovaciones que introduce con respecto a USLE es la consideración de dicha influencia que en el cálculo de la erosión hídrica tiene la relación de dichos factores, topográfico, de suelo y de cubierta. Se sabe que la erosión en regueros producida por la concentración del flujo en surcos más o menos profundos, comparativamente con la erosión entregueros, produciría mayores pérdidas por unidad de superficie y localmente podría resultar más dañina.

El exponente “m” del factor “L” está determinado, además de por la pendiente, por la susceptibilidad del suelo a la erosión en regueros o entrerregueros, influenciada a su vez por la erodibilidad del suelo, que depende de sus características físicas.

La RUSLE en su versión 1.06b (Renard K.G. et al; 2000), para tener en cuenta en el cálculo del “LS” la erodibilidad considera 12 clases texturales del suelo (Tabla 1), propiedad que aun no siendo la única que influye en la erodibilidad, si es determinante en el valor que tomaría.

Tabla 1. Clases texturales consideradas en RUSLE v.1.06b

Categoría	Textura
1	Arenoso (Sand)
2	Arenoso-franco (Loamy sand)
3	Franco-arenoso (Sandy loam)
4	Franco (Loam)
5	Franco-limoso (Silt loam)
6	Limoso (Silt)
7	Franco-arcillo-arenoso (Sandy clay loam)
8	Franco-arcilloso (Clay loam)
9	Franco-arcillo-limoso (Silty clay loam)
10	Arcillo-arenoso (Sandy clay)
11	Arcillo-limoso (Silty clay)
12	Arcilloso (Clay)

En líneas generales, y sin considerar la influencia de otros factores del medio, los suelos con textura franco-limoso tendrán una tasa de erosión en regueros/entrerregueros de alta a moderada en función del porcentaje de limos aumentando esa tasa con el aumento del porcentaje de estos. Los suelos con un alto porcentaje de arenas tendrán una tasa de erosión en regueros/entrerregueros de moderada a baja. Los suelos con un alto contenido de arcillas tendrán una tasa de erosión en regueros/entrerregueros baja.

En cuanto a la cubierta es también decisiva en el valor que alcanzaría dicha relación (tasa erosión en regueros/entrerregueros) y en RUSLE se tienen en cuenta 15 usos generales del suelo (Tabla 2) que pueden combinarse junto con la información de longitud de ladera, pendiente y clase textural para el cálculo del factor “LS”. En líneas generales, y sin considerar la influencia de otros factores del medio, las áreas alteradas para construcción, minería o lugares en proceso de urbanización que conllevan un gran movimiento de tierras, se supone tendrán tasa de erosión en regueros/entrerregueros alta y por tanto un valor “m” alto, el terreno agrícola sometido a laboreo, siembra y cultivo, actuaciones que influyen en la respuesta del suelo al impacto de las gotas y la escorrentía, tendrán valores de “m” medios, y tendrán también valores de “m” medios las tierras forestales perturbadas con una tasa de erosión en regueros/entrerregueros media, mientras que cultivos no labrados, pastizales o terreno forestal que no han sido recientemente perturbados y por tanto, con un suelo bien consolidado, tendrán una tasa de erosión en regueros/entrerregueros baja.

Tabla 2. Clases de uso general del suelo considerados en RUSLE v.1.06b

Uso General	Categoría
Frecuentemente cultivado (regularly tilled)	1
Sin laboreo (no-till cropping)	2
Cultivos en suelos con procesos de deshielo (thawing cropland soils)	3
Pastizal (pasture)	4
Forestal no arbolado, bosque claro, excepto semiárido (range, except semiarid)	5
Forestal no arbolado, bosque claro, semiárido (range semiarid)	6
Forestal arbolado (disturb forestland)	7
Relleno superficial, sin rocosidad superficial (disturb fill, topsoils no rock)	8
Decapado, sin rocosidad, superficial (disturb cut, topsoils no rock)	9
Relleno, subsuelo sin rocosidad (disturb fill, subsoils no rock)	10
Decapado, sin rocosidad en el subsuelo (disturb cut, subsoils no rock)	11
Relleno superficial con rocosidad (disturb fill, topsoils rock cover)	12
Decapado superficial con rocosidad (disturb cut, topsoils rock cover)	13
Relleno con rocosidad en subsuelo (disturb fill, subsoils rock cover)	14
Decapado con rocosidad superficial (disturb cut, subsoils rock cover)	15

Aunque se sabe que en esa relación podrían influir también otras propiedades del suelo y características de la cubierta, la consideración de los muchos elementos del medio que influirían en dicha relación podría resultar no práctico desde el punto de vista de cálculo de pérdida de suelo media.

El efecto de las prácticas mecánicas, tanto en terreno forestal como agrícola, no prácticas culturales, se tienen en cuenta en el factor P, prácticas de conservación, no analizado en este trabajo.

4. Resultados y Discusión

Se sabe que la pérdida de suelo incrementa más rápidamente con la pendiente del terreno que con la longitud de la ladera, ya que la pendiente del terreno incrementa la velocidad del flujo y por tanto, su capacidad erosiva, así como, además favorece la formación de regueros que desde el punto de vista de pérdidas sería la erosión donde se producen localmente las mayores pérdidas frente a la erosión laminar o por impacto. Aunque también se sabe que para una determinada pendiente la erosión en regueros en suelos consolidados y resistentes a la disgregación y al transporte por el flujo no empezará hasta que no se supere una determinada longitud de ladera, mientras que en suelos susceptibles, los regueros se formarán en longitudes más cortas.

El software del modelo RUSLE (versión 1.06b) emplea para la estimación del factor “LS” la categoría de un uso general del suelo para determinar el impacto que una cubierta tiene sobre la tasa de erosión en regueros y entregueros, y sobre la efectividad de esa cubierta en la protección del suelo frente a la erosión. La elección de dicho uso debería basarse en el uso general del suelo en el momento de mayor interés para el estudio.

Aplicando el modelo RUSLE y analizando los valores de LS para los distintos usos se aprecia que el rango de variación en los valores del “L” es mayor en terrenos sometidos a grandes perturbaciones y se debe a que la erosión predominante es la erosión en regueros, como ya se ha comentado en párrafos anteriores, ya que la influencia de la longitud de la ladera en la erosión en regueros, junto con la pendiente favorece este tipo de circulación del flujo.

Analizando los valores del factor “LS” para los diferentes usos (Tabla 3) se observa que el rango de variación en los valores del factor es mayor en terrenos sometidos a grandes perturbaciones del suelo, cuando la “l” y la “s” son elevadas y por tanto confluyen las condiciones que favorecen la formación de regueros, frente a longitudes de ladera corta donde la formación de regueros se hace más difícil. (* No se ha considerado el uso general (3) porque es aplicable a unas condiciones muy específicas de E.E.U.U.)

Tabla 3. Valores de LS para los diferentes usos y texturas 2 longitudes de ladera y 4 pendientes

	s%	l(m)	LS				l(m)	LS			
			Sand	Clay	Silt	Loam		Sand	Clay	Silt	Loam
Regularly tilled (1)	1	10	0,125	0,13	0,115	0,128	122	0,171	0,151	0,205	0,162
	9	10	0,705	0,83	0,608	0,75	122	2,16	1,53	2,96	1,89
	45	10	3,62	4,41	3,17	3,87	122	18,1	12,6	23,1	16
	100	10	5,19	6,65	4,45	5,63	122	29,2	21,7	35,09	26,4
No-till cropping (2)	1	10	0,137	0,14	0,135	0,137	122	0,141	0,139	0,145	0,14
	9	10	0,95	0,98	0,898	0,964	122	1,14	1,06	1,28	1,1
	45	10	5,61	6,04	5,03	5,79	122	8,13	7,1	9,93	7,67
	100	10	9,3	10,4	7,95	9,76	122	14,5	12,7	17,5	13,7
Pasture (4) Range, except semiarid (5) Range semiarid (6)	1	10	0,132	0,14	0,126	0,134	122	0,152	0,143	0,167	0,148
	9	10	0,825	0,92	0,724	0,862	122	1,54	1,23	2,04	1,4
	45	10	4,39	5,22	3,72	4,69	122	12,7	9,26	17,3	11,3
	100	10	6,6	8,39	5,36	7,22	122	21,8	16,4	28,1	19,6
Disturb forestland (7)	1	10	0,126	0,13	0,116	0,129	122	0,168	0,15	0,199	0,16
	9	10	0,719	0,84	0,62	0,764	122	2,07	1,48	2,85	1,82
	45	10	3,7	4,51	3,22	0,396	122	17,5	12,1	22,5	15,4
	100	10	5,32	6,84	4,52	5,78	122	28,3	20,9	34,4	25,6
Disturb fill, topsoils, no rock (8) Disturb fill, topsoils rock cover (12) Disturb cut, subsoils, no rock (11) Disturb cut, subsoils, rock cover (15)	1	10	0,119	0,13	0,106	0,123	122	0,191	0,16	0,244	0,177
	9	10	0,638	0,76	0,559	0,68	122	2,67	1,82	3,56	2,33
	45	10	3,3	3,95	2,98	3,49	122	21,5	15,5	25,9	19,4
	100	10	4,65	5,77	4,15	4,97	122	33,3	25,7	38,1	30,7
Disturb cut, topsoils, no rock (9) Disturb cut, topsoils, rock cover (13)	1	10	0,124	0,13	0,113	0,127	122	0,174	0,153	0,212	0,164
	9	10	0,691	0,82	0,597	0,736	122	2,25	1,58	3,08	1,97
	45	10	3,55	4,32	3,13	3,79	122	18,8	13,1	23,7	16,7
	100	10	5,06	6,46	4,38	5,48	122	30	22,4	35,8	27,3
Disturb fill subsoils no rock (10) Disturb fill, subsoils rock cover (14)	1	10	0,114	0,13	0,101	0,119	122	0,207	0,167	0,274	0,189
	9	11	0,605	0,72	0,536	0,643	122	3	2,05	3,88	2,63
	45	10	3,16	3,72	2,9	3,32	122	23,3	17,3	27,2	21,3
	100	10	4,43	5,35	4,03	4,68	122	35,3	28,1	39,4	33

Como se aprecia en la tabla 3 para longitudes de ladera pequeñas se obtienen los menores valores de “LS” en los terrenos sometidos a perturbaciones del suelo importantes, independientemente del valor de la pendiente. Estos resultados no son los previsibles, ya que lo razonable sería obtener valores de “LS” más pequeños en terreno forestal, donde el terreno se encontraría más consolidado y ofrecería mayor resistencia a los procesos de erosión. En el manual de usuario de RUSLE se hace referencia a este resultado inesperado, estableciendo que esa discrepancia se debe a la comparación establecida entre la longitud del terreno y la de la parcela “standard”, haciendo que cuando la longitud de la ladera es menor que la de “standard” el valor “L” sea mayor, ya que el cociente es menor que la unidad y dicha relación está afectada por el exponente “m” y por tanto, cuanto menor sea ese exponente, circunstancia que se da en el terreno forestal, el cociente será mayor.

Estas posibles incoherencias, en el cálculo del “LS”, se ven compensadas en los valores obtenidos en el factor “C”, ya que en los usos donde el valor “LS” para longitudes pequeñas da valores, incongruentemente mayores, en general los valores del factor vegetación “C” son más pequeños (cubierta forestal), estableciéndose de esta manera la interrelación entre los diferentes factores que intervienen en la aplicación de RUSLE para cálculo de la pérdida de suelo media anual.

Si observamos los valores de “LS” (tabla 3) para las distintas longitudes de ladera, pendiente, usos y textura se ve que se obtienen los mayores valores de “LS” en longitudes pequeñas para terreno arcilloso, mientras que en longitudes mayores se obtienen los mayores valores de “LS” en terreno limoso, hecho que por otro lado es el razonable, ya que desde el punto de vista de erodibilidad del suelo las texturas donde debería esperarse más erosión son las limosas, texturas finas sin agregados.

En las figuras de la 1 a la 7 se presentan valores de “LS” para diferentes texturas y usos generales del suelo y valores de “l” y “s”. La imprecisión de los valores de “LS” en longitudes pequeñas se recogería en el valor de “K” igualmente que en el caso del factor “C”, anteriormente reseñado, estableciéndose también aquí la interrelación entre factores para el cálculo de la pérdida de suelo. Ya que el factor “K” para los suelos limosos es muy elevado frente al valor del factor “K” obtenido en terreno arcilloso o arenoso. Por encima de la longitud y pendiente “standard” el valor de LS aumenta con la longitud y con la pendiente para todas las clases texturales y usos del suelo, siendo mayores en los suelos con textura limosa e incrementándose mucho el valor cuando la pendiente aumenta (tabla 3). La tabla 3 muestra los valores de “LS” para dos longitudes de ladera muy diferentes, cortas y largas, pendientes muy dispares, para los distintos usos y diferentes clases texturales considerados en el programa. Si se comparan los valores de LS (tabla 3) en los usos de pastizal y área forestal perturbada se observa que se obtendrían los valores más bajos en el área forestal perturbada en longitudes de ladera cortas, mientras que por encima de la longitud de ladera “standard” el valor de LS es mayor en el área forestal perturbada que en el pastizal y para todas las texturas, como era de esperar y corroborando lo señalado ya en párrafos anteriores. Los valores de “LS” más elevados en longitudes de ladera cortas se obtienen en terreno agrícola sin laboreo, valor no esperable frente al valor obtenido en terreno agrícola con laboreo continuo, explicable con lo referido en párrafos anteriores, disminuyéndose la pérdida de suelo final con el menor valor de “C” en el terreno sin laboreo. Observándose que en longitudes de ladera más largas, se obtienen, como era de esperar, valores de “LS” mayores en terreno agrícola sometido a laboreo.

Las áreas de mayor perturbación son aquellas con movimientos de tierra importantes, como consecuencia, por ejemplo, de creación de áreas en construcción,...etc y como se observa en la tabla 3 los mayores valores de LS se obtendrían en dichas áreas perturbadas, con longitudes de ladera por encima de la longitud de la "standard", y esperando que potencialmente se produzcan las mayores pérdidas en dichos terrenos perturbados con relleno artificial.

En los usos clasificados como 10 y 14 la alteración es más profunda, afectando al subsuelo, y por eso los valores de LS que se obtienen en las condiciones de longitud de ladera más largas son mayores que en los otros casos de áreas perturbadas. Dentro de los usos en los que se produce perturbación, en los clasificados como 9 y 13 se obtienen valores menores porque la alteración es menor que en ninguno de los casos considerados como perturbados, y no forestal, ya que se retira la parte superficial de suelo, sin incorporar relleno, que sería la situación donde se favorecería la formación de regueros. Los efectos de la rocosidad estarán incluidos en el factor "C" o en el factor "K" dependiendo de si las piedras están en superficie o en el interior.

Como era de esperar los valores de "LS" aumentan al aumentar la longitud de la ladera y la pendiente. Para las laderas más cortas los valores de "LS" son más parecidos para todos los usos, especialmente en pendientes pequeñas, aumentando estas diferencias en laderas más largas y a medida que aumenta la pendiente debido a una mayor acumulación de escorrentía en la parte inferior de ladera y por tanto a mayor riesgo en la formación de regueros. Hecho que se puede ver modificado por el tipo de cubierta existente. En líneas generales la erosión en regueros se ve afectada en mayor medida por la pendiente que lo es la erosión entregueros.

De las múltiples combinaciones entre uso general, texturas, "l" y "s" para la obtención de "LS" los presentados en esta comunicación, tanto en tablas como en figuras, se han seleccionados con la intención de mostrar las diferencias en diversas situaciones diferentes a la "standard".

5. Conclusiones

Como se aprecia en el análisis de los resultados de aplicación de RUSLE en el cálculo de LS para distintas combinaciones de texturas y tipo de cubierta, habrá que tener precaución cuando se quiera estimar el factor LS no solo en los valores de "l" y "s" introducidos en el programa sino también en la clase textural del suelo considerada y sobre todo en el uso general del suelo, debiendo ser mayor la precaución en longitudes de ladera largas.

Como se observa en las tablas de "LS" para distintos usos, texturas, longitudes y pendientes, cuando las longitudes de ladera consideradas son bajas se pueden obtener valores de "LS" no esperables en determinados usos, debido a la metodología empleada en RUSLE, pero que son compensados con los valores asociados de "C" y "K" en el cálculo de la pérdida de suelo media anual.

La consideración en el cálculo del LS de la textura y del uso del suelo es una mejora importante en la estimación de dicho factor y por ende, en la estimación de la erosión hídrica, ya que el fenómeno erosivo es un proceso muy complejo en el que intervienen muchos factores que están interrelacionados y que no deberían considerarse por separado, aunque esta

interrelación es tan compleja que podría no resultar práctico desde el punto de vista de estimación de pérdidas el tener en cuenta la interconexión de todos los procesos implicados. Por lo que el uso de la textura y el uso general del suelo en el cálculo del valor “LS”, aunque se sabe que no son los únicos elementos del medio que influyen en la pérdida de suelo para una longitud y pendiente dada es un avance sustancial en su estimación.

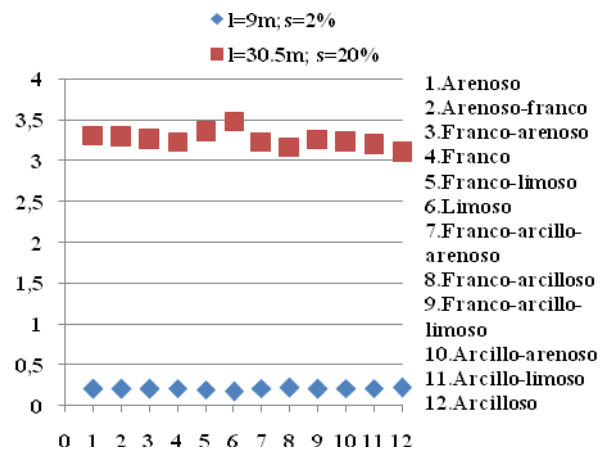


Figura 1. “LS” con clases texturales y “l” y “s”

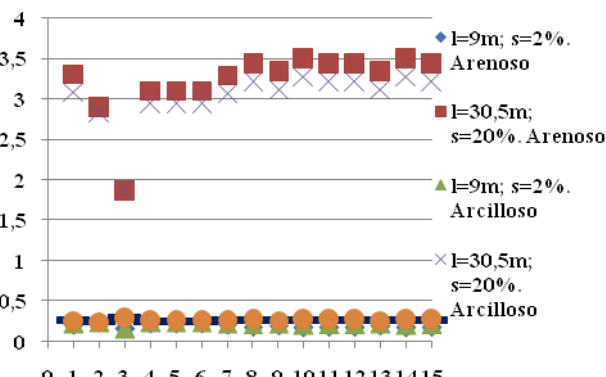


Figura 2. “LS” para los usos del suelo (tabla n°2), texturas (arenosa, arcillosa) y l=9m y s=20%

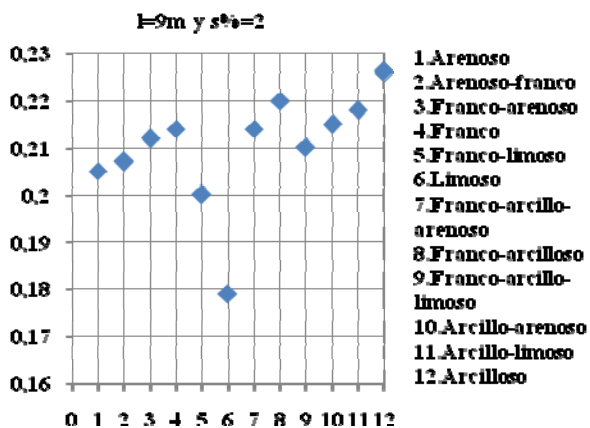


Figura 3. “LS” para las clases texturales l=9m y s=2%

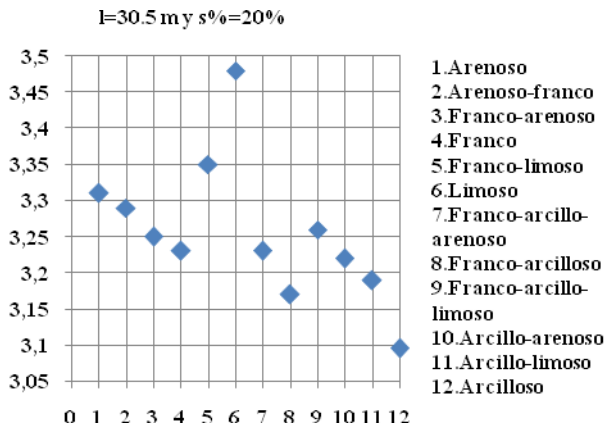


Figura 4. “LS” para las clases texturales l=30.5m y s=20%

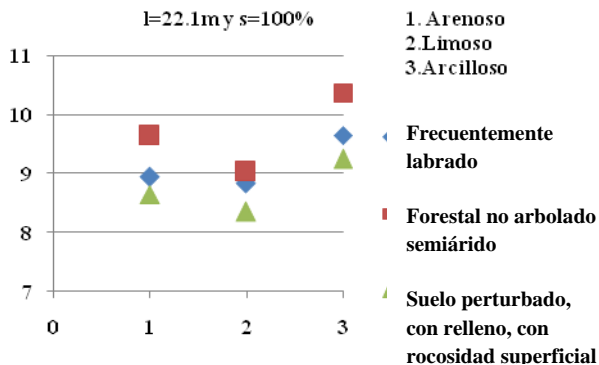


Figura 5

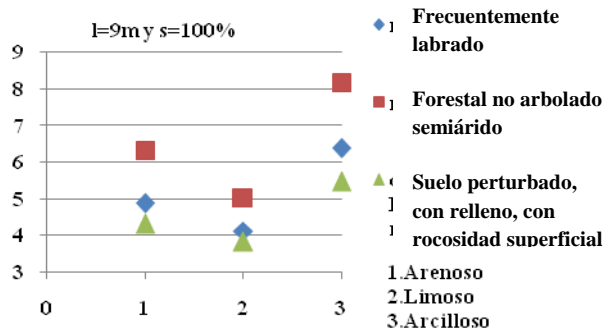


Figura 6

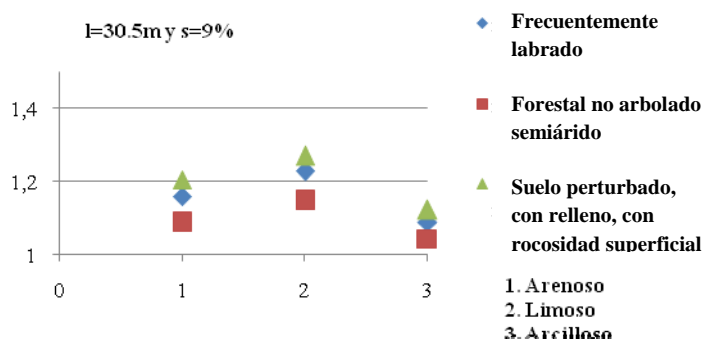


Figura 7

Figuras 5,6 y 7. Valores de "LS" para distintas texturas y usos y diferentes "l" y "s"

6. Bibliografía

RENARD K.G. et al; 2000. Predicting Soil erosion by Water: A guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook nº 703. USDA.

ROLDÁN, M.; GÓMEZ, V.; 2003. Aplicación de la RUSLE v.1.06 en la evaluación de la pérdida de suelo en la cuenca alta del río Cega. Comparación de factores RUSLE-USLE. *Edafología* (SECS). Vol.10 nº3. Pag.11-19