



**Estimación del factor topográfico LS (RUSLE) mediante la aplicación de sistemas de información geográfica
Caso subcuenca Ichu, Huancavelica – Perú**

*Estimation of the topographic factor LS (RUSLE) through the application of geographic information systems
Ichu sub-basin case, Huancavelica - Peru*

*Estimativa do fator topográfico LS (RUSLE) através da aplicação de sistemas de informação geográfica
Caso da sub-bacia de Ichu, Huancavelica - Peru*

Max Henry Alvarado-Anampa ^I
maxh.alvarado@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3746-0775>

Mabél Yésica Escobar-Soldevilla ^{II}
mescobar10@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9253-5974>

Víctor Guillermo Sánchez-Araujo ^{III}
victor.sanchez@unh.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-7702-0881>

Correspondencia: maxh.alvarado@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículos de investigación

***Recibido:** 30 de agosto de 2021 ***Aceptado:** 20 de septiembre de 2021 * **Publicado:** 04 de octubre de 2021

- I. Magíster en Administración de Empresas, Ingeniero Economista, Docente de la Escuela Profesional de Economía de la Universidad Nacional de Huancavelica - UNH, Perú.
- II. Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Ingeniera Geógrafa, Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica - UNH, Huancavelica, Perú.
- III. Doctor en Ciencias Ambientales, Biólogo Microbiólogo, Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica - UNH, Huancavelica, Perú.

Resumen

El modelo paramétrico RUSLE sigue siendo uno de los modelos de mayor aplicación para determinar los efectos de la erosión hídrica en cuencas altoandinas. En este modelo, los efectos del factor topográfico sobre la pérdida de suelo están representado por el factor LS, siendo este factor, uno de los más complejos en su estimación. El objetivo del presente artículo es estimar el factor topográfico (LS) en la sub cuenca Ichu de manera concreta y adecuada para su integración en los sistemas de información geográfica, lo cual no solo permita una estimación más precisa del factor LS, sino también un potencial uso de los modelos de Elevación Digital y de las herramientas de software Gis.

En ese sentido la estimación del factor LS de la sub cuenca Ichu, varia de 0 a 500, el cual es un valor adimensional y de acuerdo al análisis espacial se discrimina que los rangos con mayor porcentaje de superficie del área se ubican en los 4 primeros rangos que varían de 0 a 50, los cuales se relación de manera directa con la pendiente del área de estudio.

Palabras claves: Factor topográfico (LS); RUSLE; SIG; erosión; modelos de elevación digital.

Abstract

The RUSLE parametric model continues to be one of the most widely applied models to determine the effects of water erosion in high Andean basins. In this model, the effects of the topographic factor on soil loss are represented by the LS factor, this factor being one of the most complex in its estimation. The objective of this article is to estimate the topographic factor (LS) in the Ichu sub-basin in a concrete and adequate way for its integration into geographic information systems, which not only allows a more precise estimation of the LS factor, but also a potential use of Digital Elevation models and Gis software tools.

In this sense, the estimation of the LS factor of the Ichu sub-basin, varies from 0 to 500, which is a dimensionless value and according to the spatial analysis it is discriminated that the ranges with the highest percentage of surface area are located in the first 4 ranges that vary from 0 to 50, which are directly related to the slope of the study area.

Keywords: Topographic factor (LS); RUSLE; S.I.G; erosion; digital elevation models.

Resumo

O modelo paramétrico RUSLE continua a ser um dos modelos mais amplamente aplicados para determinar os efeitos da erosão hídrica nas altas bacias andinas. Neste modelo, os efeitos do fator topográfico na perda de solo são representados pelo fator LS, sendo este um dos mais complexos na sua estimação. O objetivo deste artigo é estimar o fator topográfico (LS) na sub-bacia do Ichu de forma concreta e adequada para a sua integração nos sistemas de informação geográfica, o que permite não só uma estimativa mais precisa do fator LS, mas também um uso potencial de modelos de elevação digital e ferramentas de software Gis.

Nesse sentido, a estimativa do fator LS da sub-bacia do Ichu, varia de 0 a 500, que é um valor adimensional e de acordo com a análise espacial discriminou-se que as faixas com maior percentual de área de superfície estão localizadas em as 4 primeiras faixas que variam de 0 a 50, que estão diretamente relacionadas à declividade da área de estudo.

Palavras-chave: Fator topográfico (LS); RUSLE; S.I.G; erosão; modelos de elevação digital.

Introducción

El suelo es uno de los recursos más importantes y vulnerables a sufrir erosión pues ella conlleva no solo la disminución de productividad agrícola, sino también reduce la disponibilidad de agua, por lo que la evaluación del riesgo de erosión hídrica es esencial para gestionar técnicas de conservación.

La erosión implica una amplia gama de procesos que implican desprendimiento y transporte del suelo debido a fuerzas que actúan sobre la superficie de la tierra, para cuantificar estos procesos se recurre a modelos que permitan investigar los procesos físicos y mecanismos que gobiernan las tasas de erosión e identificar áreas de alto riesgo de pérdida de suelo, para ayudar en la planificación de la conservación. (Mitasova et al., 2013), citado por Escobar, M. (2019).

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) y su posterior revisión, la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE), son los modelos que usualmente se usan en todo el mundo para calcular pérdidas de suelo por erosión hídrica.

Los resultados de la forma de la topografía e hidrología sobre la pérdida de suelo están interpretados por el factor combinado LS, donde LS, es uno de los cinco factores comprometidos en el modelo, ya sea USLE (Wischmeier y Smith, 1978) o RUSLE (Renard et al., 1997).

El modelo RUSLE y su estudio en cuencas hidrográficas tiene en consideración la importancia de las características topográficas sobre la pérdida de suelo y es descrita en la longitud de la pendiente (L) y el grado de inclinación de la pendiente (S).

El factor topográfico (LS) caracteriza el tipo de relieve en que tendrán lugar los procesos de pérdida de suelo debido a la inclinación, longitud, además de proporcionar información sobre la forma de la pendiente. Renard et al. (1997). Los mismos autores proponen que la comprensión de las formas del paisaje sugiere un mejor entendimiento en la caracterización de las rutas preferidas de los flujos de agua y la movilidad espacial de las propiedades del suelo.

Moore y Wilson (1992) definen al factor LS como una medida de la capacidad de transporte de sedimentos del flujo superficial y también reconocen que la estimación del factor LS posee más problemas que cualquiera de los otros factores del USLE/RUSLE, siendo además complicada su aplicación o adaptación sobre terrenos reales lo cual representa una gran dificultad en la práctica debido a que el modelo no era capaz de diferenciar aquellas partes del paisaje que experimentan erosión neta de aquellas con deposición, como por ejemplo: las laderas cóncavas de las partes bajas de la cuenca. Todo ello conlleva a una ruta de readaptación de los métodos tradicionales hacia el uso de geo tecnologías para evitar complicaciones en el cálculo de los factores comprometidos en los modelos. De todos ellos el factor LS probablemente sea uno de los factores más discutidos puesto que su estimación requiere del entendimiento previo del impacto de la convergencia del flujo, el área de contribución aguas arriba.

Para incorporar el impacto de la convergencia del flujo, la longitud de pendiente “ λ ”, es reemplazada por el área de contribución aguas arriba, A (Desmet y Govers, 1996) ya que de este modo permite extender la estimación de la pérdida de suelo a la complejidad de los terrenos en 3D, lo que puede ayudar a distinguir áreas que experimentan erosión de las con deposición (Moore y Wilson, 1992).

Entendiendo ello, el concepto de distribución de área requiere la generación de un mapa de flujo acumulativo. Para cada celda, se calculan la pendiente, la dirección del flujo y la cantidad de líneas de flujo acumuladas aguas arriba de esa celda, Por lo tanto, es un gran avance la aplicación de algoritmos asociados con los sistemas de información geográfica (SIG), para calcular el factor LS en el modelo de RUSLE.

La amplia gama de información de bases topográficas digitales disponible, junto con el uso de los SIG, ha estimulado el desarrollo de la extracción automática de las variables topográficas. En

términos operacionales y desde el punto de vista económico, con el uso de las geotecnologías en la caracterización del factor LS, el trabajo de campo es menos intensivo, ahorrando tiempo y recursos. Moore et al. (1992).

Por lo expuesto anteriormente, en esta investigación se plantea llevar a cabo la estimación del factor LS, empleando las herramientas de Sistemas de Información Geográfica en la subcuenca Ichu.

Metodología

a) Materiales:

DEM: Modelo Digital de elevación ALOS PALSAR DEM en formato ráster, obtenido de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) a una resolución espacial de 12.5 m.

Software: Software Arc GIS, extensiones: 3D Analyst for ArcGIS y Spatial Analyst for ArcGIS.

b) Área de Estudio:

Hidrográficamente la subcuenca del río Ichu forma parte de la cuenca del Río Mantaro, políticamente se ubica entre las provincias de Huancavelica y Castrovirreyna Región Huancavelica – Perú, su extensión es de aproximadamente 1383.749658 km², abarcando zonas que van desde los 2847 m.s.n.m. hasta las 5220 m.s.n.m., la cabecera de la cuenca. Sus límites naturales son: por el Norte con la cuenca del río Mantaro, por el Oeste con la subcuenca del río Vilca, por el este con la subcuenca del río Urubamba y por el Sur con la cuenca del río Pisco.

Esta subcuenca se caracteriza por tener un clima propio de puna y vertiente occidental; así mismo presenta variaciones por la ubicación geográfica, altitud y topografía del lugar; la precipitación total anual varía desde 700 y 1000 mm. Escobar, M (2019).

Figura 1: Mapa de Ubicación de la Sub cuenca del Rio Ichu.



c) Factor topográfico (LS)

Renard *et al.*, 1997 define como la distancia horizontal desde el punto más alto, donde se origina el flujo superficial al punto más bajo donde comienza la deposición que fluye por escorrentía a un canal, mediante la ecuación usada por RUSLE.

Adicionalmente a ello se incorporó conceptos asociados a la escorrentía y al transporte de sedimentos tales como que la escorrentía se genera uniformemente sobre el área de captación, y que además, la deposición de sedimentos no es tenida en cuenta, lo cual representa un gran problema en la práctica debido a que el modelo no es capaz de diferenciar aquellas partes del paisaje que experimentan erosión neta de aquellas con deposición, como por ejemplo las partes bajas de laderas cóncavas (Moore y Wilson, 1992).

Para incorporar el impacto de la convergencia del flujo, la longitud de pendiente, λ , es reemplazada por el área de contribución aguas arriba, A (Moore y Burch, 1986; Desmet y Govers, 1996) permitiendo extender la estimación de la pérdida de suelo a la complejidad de los terrenos en 3D.

- Factor de longitud de la pendiente (L)

La ecuación para obtener este factor es la descrita en la revisión de literatura por McCool, *et al.* (1989)

$$L = \left[\frac{\lambda}{22.13} \right]^m \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

L: Factor longitud de la pendiente.

λ : Longitud de la pendiente, (m).

m: Exponente influenciado por la longitud y grado de pendiente.

22.13: Valor que depende del tamaño estándar de una parcela de observación.

El exponente m se calcula como:

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad (\text{Ec. 2})$$

El valor de β se calcula como:

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

θ : Ángulo de la pendiente que debe transformarse de grados a radianes.

La longitud de la pendiente se calcula según Desmet y Govers (1996) citado por (Giménez Suárez, 2008).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)+D^2})^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \times D^{m+2} \times (22.13)^m} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

$A_{(i,j)}$ [m] = es el área de contribución aguas arriba en la entrada de una celda ráster con coordenadas (i,j)

D = Resolución de celda en metros

$x_{i,j}$, ($\text{sen } a_{i,j} + \text{cos } a_{i,j}$)

$a_{i,j}$, dirección de la orientación para la celda del ráster con coordenadas (i,j) .

- **Factor topográfico, inclinación de la pendiente (S)**

Según Escobar, M (2019), el ángulo de la pendiente modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que circula por la superficie del terreno. En los terrenos llanos o con poca inclinación el agua tiene más posibilidad de infiltrarse que en las zonas inclinadas, en las que el escurrimiento circula más rápidamente hacia las zonas de menor cota.

RUSLE utiliza las ecuaciones de McCool et al. (1997), para el cálculo del factor de pendiente S, el cual se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$S = (10.8 \sin \theta + 0.03) \text{ en pendientes } < 9.0\%; \text{ y}$$

$$S = (16.8 \sin \theta - 0.5) \text{ en pendientes } \geq 9.0\%, \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

S: Factor de inclinación de la pendiente.

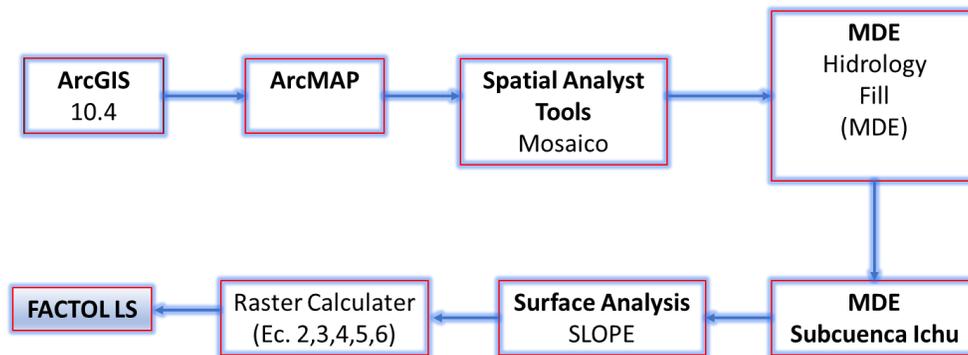
θ : Ángulo de la pendiente que debe transformarse de grados a radianes.

d) Modelo conceptual para estimar el factor LS

Se define como un sistema matemático o físico que obedece a ciertas condiciones específicas y cuyo comportamiento es utilizado para entender un sistema físico, biológico o social. Portuguesez, M. (2015)

El modelado que se plantea se usa como una herramienta predictiva y de simulación para el proceso de estimación del factor adimensional LS.

Figura 2: Modelo Conceptual para estimar el factor LS



Fuente: Elaboración propia.

e) Modelo Digital de Elevación (MDE).

La información cartográfica digital del modelo digital de Elevación para la subcuenca del Ichu se obtuvo del sensor ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), el cual se descargó del sitio web de *Alaska Satellite Facility* (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>) en formato de archivo de información etiquetado (TIFF) a una resolución espacial de 12.5 m. Las cuatro escenas descargadas que cubren el ámbito la subcuenca fueron:

- i. AP_20714_FBS_F6920_RT1
- ii. AP_20714_FBS_F6930_RT1
- iii. AP_21137_FBS_F6920_RT1
- iv. AP_21137_FBS_F6930_RT1

Con el apoyo del programa ArcGis conocido *software* SIG, se unió las cuatro escenas en un mosaico, para luego extraer solo el área de la subcuenca Ichu.

f) Proceso de estimación:

En el cálculo del factor L, fue necesario aplicar la herramienta FILL, del software ArcGIS con el objeto de rellenar y evitar vacíos en el ráster del DEM. Con el ráster resultante se creó el ráster de pendiente “SLOPE” el cual es insumo necesario para crear el factor L utilizando las ecuaciones 2 y 3.

En el ArcMap con la herramienta “RASTER CALCULATOR”, se emplea la siguiente fórmula para obtener el parámetro β .

*Parámetro $\beta = ((\text{Sin}(\text{“slope”} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{“Slope”} * 0.01745))))$* . Hace referencia a la ecuación 3.

Obteniendo el parámetro β , se procedió a obtener el parámetro m , que es un dato adicional para obtener el factor L , para ello se usa la ecuación 2.

$Parámetro\ m = \text{"Parámetro } \beta\text{"} / (\text{"Parámetro } \beta\text{"} + 1)$ Hace referencia a la ecuación 2.

Para obtener finalmente el factor L , se creó el área de drenaje aportante con la ayuda del ArcMap se generó primero el ráster de Dirección de Flujo "Flow direction" y consecutivamente el ráster de acumulación de flujo "Flow accumulation". Obtenidos estos dos ráster se pudo estimar el factor L en "raster calculator" utilizando la ecuación 4, con el enunciado:

$FACTOR_L = (\text{Power}(\text{"Flow_acc"} + 156.25), (\text{"Parametro } m\text{"} + 1)) - \text{Power}(\text{"flow_acc"}, (\text{"Parametro } m\text{"} + 1)) / \text{Power}(12.5, (\text{"Parametro } m\text{"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"Parametro } m\text{"})$. Hace referencia a la ecuación 4.

De igual modo se obtiene el factor S , el cual mide la pendiente del terreno, donde el ángulo θ se toma como ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de la mayor pendiente según (McCool et.al., 1987)

En el cálculo del factor S , fue necesario aplicar la ecuación 5. En el ArcMap con la herramienta "RASTER CALCULATOR", se emplea el condicional en la ecuación 5, considerando que el ángulo de las ecuaciones citadas debe ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal equivale a 0.01745 radianes) para ser multiplicado por los demás componentes de la ecuación.

$FACTOR_S = \text{Con}((\tan(\text{"Slope"} * 0.01745) < 0.09), (10.08 * \sin(\text{"Slope"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \sin(\text{"Slope"} * 0.01745) - 0.5))$. Hace referencia a la ecuación 5.

Así calculados el factor L y factor S en formato ráster se procedió a calcular el factor LS también en formato *ráster*, que es objeto de la presente metodología con la misma herramienta *Raster Calculator* del ArcGis, se procede a hallar el producto.

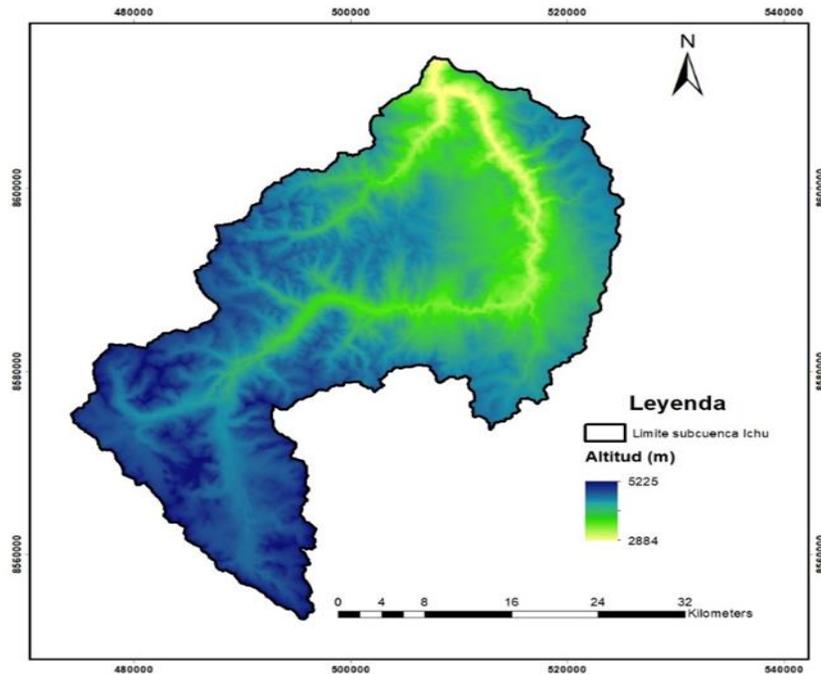
$Factor\ LS = \text{"FACTOR_L"} * \text{"FACTOR_S"}$, Hace referencia a la ecuación 4 y 5.

Resultados

El modelo digital de elevación generado con imágenes ALOS PALSAR, a una resolución espacial de 12,5 m. para la subcuenca del río Ichu, determina que la altitud varía desde los 2884 a los 5224 m.s.n.m.

La altitud mínima de 2884 msnm, se ubica en el punto de aforo de la subcuenca, políticamente en el distrito de Mariscal Cáceres provincia Huancavelica. La altitud máxima de 5224 msnm, se ubica en el distrito de Santa Ana de la Provincia de Castrovirreyna.

Figura 3: Modelo Digital de Elevación del área de estudio.



La sub cuenca posee una topografía accidentada donde la pendiente del terreno varía desde 0 grados hasta mayor a 70 grados de inclinación, hallándose espacialmente con mayor porcentaje de superficie los rangos de pendiente que van de 5 a 50 grados de inclinación.

Tabla 1: Rango de pendiente y la superficie de área que ocupa

Rango de pendiente	Superficie_Km ²	% Área
0 - 1	11.94	0.86
1 - 5	134.47	9.72
5 - 10	296.18	21.40
10 - 20	510.71	36.91
20 - 50	398.7	28.81
50 - 70	31.51	2.28
> 70	0.23	0.02
	1383.74	100.00

Figura 4: Clasificación estadística del mapa de pendientes, calculado en ArcGis, donde se obtiene datos de máxima, mínima, media y desviación estándar de la pendiente.

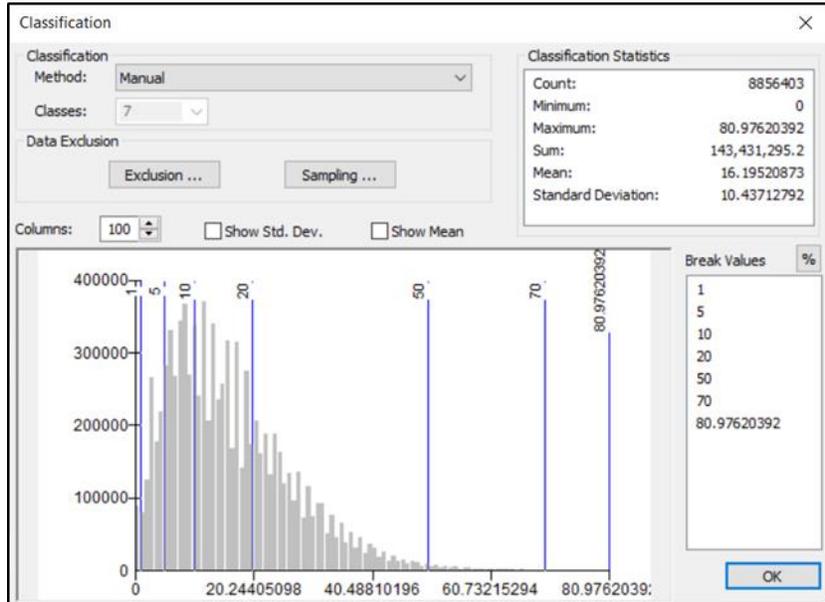
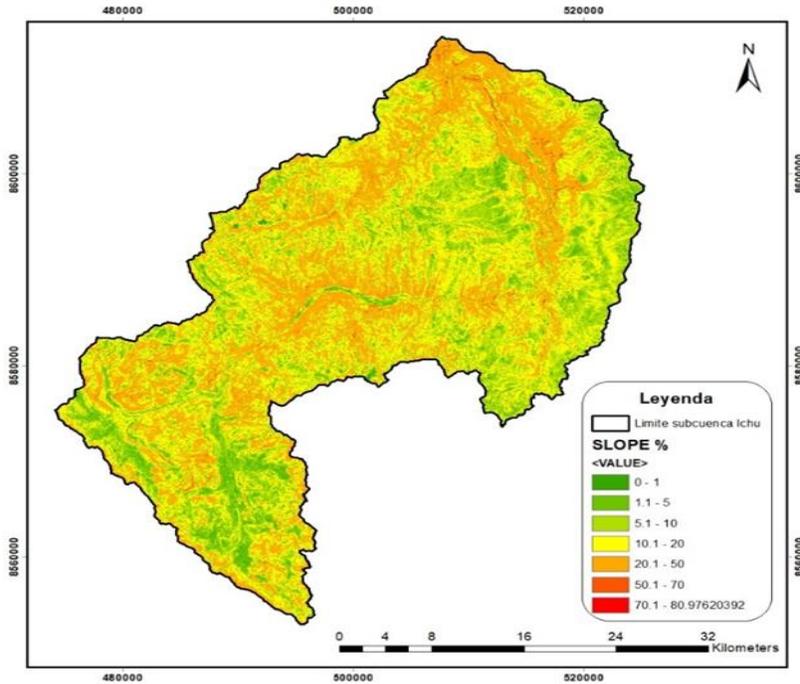


Figura 5: Mapa de pendientes de la subcuenca Ichu.



El factor LS, es un factor adimensional que se calculó para el área de estudio en el entorno GIS, según las fórmulas Mc Cool y Foster y Desmet y Govers (1996). Los valores del factor LS de la subcuenca en estudio están en un rango de 0 a 500 y espacialmente los rangos de valor entre 0 y

50 se encuentran en mayor proporción en el área de estudio, como se puede observar en la Figura 7.

Figura 6: Histograma de Factor LS .

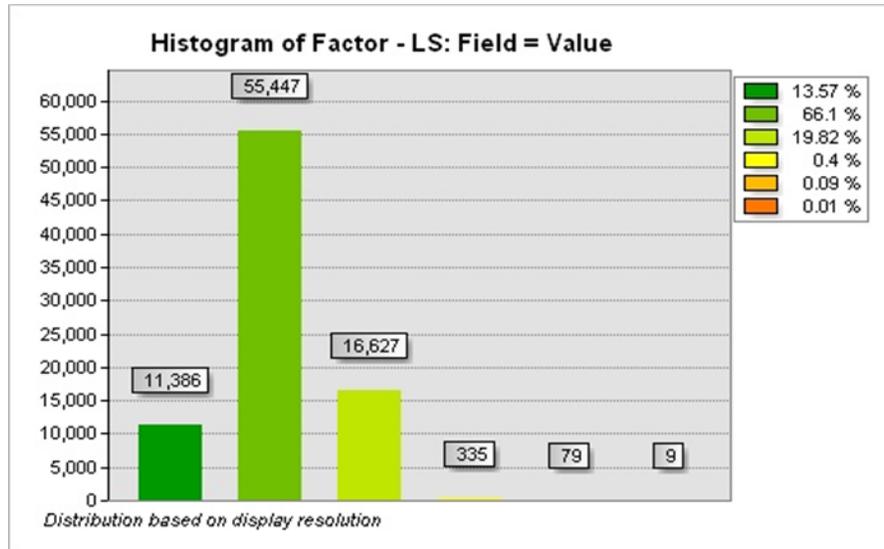
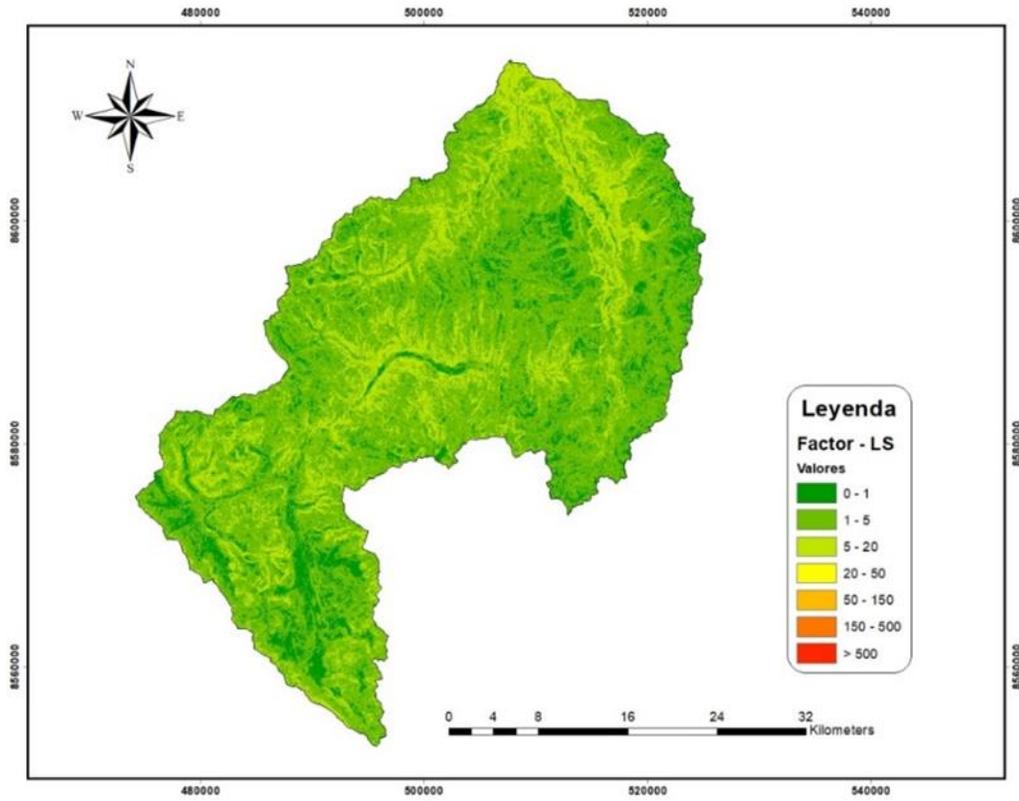


Tabla 2: Rangos de valor del factor LS en relación con la superficie que ocupa.

Rango Valor de LS	% Área	Superficie_Km2
0 - 1	13.58	184.51
1 - 5	66.10	920.81
5 - 20	19.82	271.65
20 - 50	0.40	5.3
50 - 150	0.09	1.36
150 - 500	0.01	0.11
> 500	0.00	0.0028
	100.00	1383.74

Figura 7: Mapa de distribución espacial del factor LS en la subcuenca Ichu.



Discusión

La función de un algoritmo de flujo en un SIG es transferir flujo, ya sea agua, sedimentos o nutrientes, a puntos o áreas adyacentes de menor altitud (Desmet y Govers 1996). La elección de un algoritmo es importante y afecta la estimación del valor del área aguas arriba, así como de otros atributos topográficos como el área específica de captación (Suet-Yan Lam, 2004), citado por Giménez, M (2008).

Existen muchos algoritmos desarrollados para el cálculo del flujo acumulado por celda con la corrección del tamaño de la celda, todos ellos basados en un modelo de elevación digital - DEM para determinar la longitud del flujo superficial acumulado y, por consiguiente, el factor LS. Estas nuevas relaciones basadas en la teoría del poder de la corriente unitaria “Unit Stream Power”, es la más correcta para paisajes con topografía compleja que la ecuación empírica original dada por Wischmeier y Smith (1978), porque cuenta de forma explícita con el flujo de convergencia y divergencia. Adicionalmente, fueron aplicadas por Pelton et al. (2012) y Ashiagbor et al. (2013),

reemplazando la longitud de la pendiente (L) por el área de distribución ascendente por unidad de ancho. De igual modo, el concepto de distribución de área requiere la generación de un mapa de flujo acumulativo. Para cada píxel, se calculan la pendiente, la dirección del flujo y la cantidad de líneas de flujo acumuladas aguas arriba de ese píxel. Escobar, M (2019)

La subcuenca Ichu por ser una cuenca altoandina con topografía compleja también se incluyó el impacto de la convergencia del flujo, la longitud de pendiente, reemplazada por el área de contribución aguas arriba, generando inicialmente el mapa de pendientes, mapa de dirección de flujo con el método D8, mapa de acumulación de flujo, todo ello nos permite establecer relaciones entre las celdas y estimar el factor L.

Por referencia de Wongchuig et al. (2016) en “Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes”, citado por Escobar, M (2019), El factor topográfico LS tiene mayor valor en zonas con mayores accidentes topográficos, reafirmando esa apreciación se puede percibir que los valores obtenidos para la subcuenca del río Ichu, se encuentran dentro de un margen muy próximo al de dicho estudio, lo que nos muestra un buen resultado en su estimación.

Conclusiones

El modelo digital de elevación es la referencia básica para estudios relacionados al factor LS. Para la sub cuenca Ichu, se utilizó el DEM, el cual se obtuvo del sensor ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) con una resolución espacial de 12.5 m.

La percepción de distribución de área requiere la generación de un mapa de acumulación de flujo. Para cada píxel o celda, se calculó la pendiente, la dirección del flujo y la cantidad de líneas de flujo acumuladas aguas arriba de ese píxel. Por lo tanto, la aplicación de algoritmos asociados con los sistemas de información geográfica (SIG) es un gran progreso para estimar el factor LS en el modelo de RUSLE.

De acuerdo a la estimación del factor LS de la sub cuenca Ichu, el factor LS, varía de 0 a 500, el cual es un valor adimensional y de acuerdo al análisis espacial se discrimina que los rangos con mayor porcentaje de superficie del área se ubican en los 4 primeros rangos que varían de 0 a 50, los cuales se relacionan de manera directa con la pendiente del área de estudio. Para un mejor entendimiento del área de estudio, en el momento de analizar espacialmente los valores altos de factor LS estas se ubican en zonas de cauces del flujo y se entiende por ello que el poder erosivo en las zonas más elevadas o al comienzo de las laderas no debería ser sobrestimadas.

Por otro lado, la elaboración, análisis y generación de la cartografía digital requiere de personal capacitado no solo en el uso de los softwares de aplicación sino también del conocimiento en la interpretación de la cartografía digital generada.

Referencias

1. Ashiagbor, G; Forkuo, EK; Laari, P; Aabeyir, R. 2013. Modeling soil erosion using RUSLE and GIS tools. *Int. J. Remote Sens. (IJRSG)* 2 (4), 7–17
2. Giménez Suárez, Martín Cruz (2008). Metodología de cálculo del factor topográfico, LS, integrado en los modelos Rusle y Usped. Aplicación al arroyo del lugar, Guadalajara (España). Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Montes (Universidad Politecnica de Madrid) [antigua denominación]. <https://oa.upm.es/1914/>
3. Escobar Soldevilla, Mabel Yesica (2019). Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica [Tesis para obtener el grado de Magíster, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4156>.
4. Hrabalíková M., Janeček M. (2017): Comparación de diferentes enfoques para los cálculos del factor LS basados en una pérdida de suelo medida bajo lluvia simulada. *Res. Suelo y agua*, 12: 69-77.
5. McCool, D.K., Brown, L.C. and Foster, G.R., (1987). “Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 30: 1387-1396.
6. McCool, D.K., Foster, G.R., and Weesies, G.A. (1997). “Slope length and steepness factors (LS), Chapter 4, pp. 101-141 in Renard et al. (1997).
7. Moreno Jiménez, A (2007). *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica*. RA-MA Editorial.
8. Moore, ID; Wilson, JP. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal of soil and water conservation*, 47(5), 423-428.

9. Mitasova, H; Barton, M; Ullah, ; Hofierka, J; Harmon, RS. 2013. 3.9 GIS-Based Soil Erosion Modeling. In *Treatise on Geomorphology* (Vol. 3, pp. 228–258). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00052-X>
10. Oliveira, AH, Silva, MA, Silva, ML, Curi, N., Neto, GK y Freitas, DA (2013). Desarrollo de modelos de factores topográficos para su aplicación en modelos de erosión de suelos.
11. Pelton, J; Frazier, E; Pickilingis, E. (2012). Calculating slope length factor (LS) in the revised universal soil loss equation (RUSLE). http://gis4geomorphology.com/wp-content/uploads/2014/05/LS-Factor-in-RUSLE-with-ArcGIS10.x_Pelton_Frazier_Pickilingis_2014.docx (accessed July 2014).
12. Portuguez, M. 2015. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la Cuenca del río Sigwas utilizando Geoinformatica. *Anales Científicos*, 76(2), 324. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
13. Quintana, M., Ortega, S., Fernández, M. & Criado, V. (2009). Libro SIG aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental: ejercicios. Madrid, España.
14. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder D.C. (1997).
15. “Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).” *Agriculture Handbook No. 703*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, District of Columbia, USA.
16. Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning*. *Agriculture Handbook, n° .537*, Department of Agriculture Science and Education administration, Washington, USA: U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
17. Wongchuig, S; Mello, CR; Chou, SC; Curi, N; Norton, LD. 2016. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. *Catena*, 147, 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.003>