

Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología USLE en la subcuenca del río Ichu

Estimation of soil loss due to water erosion through the application of the USLE methodology in the sub-basin of the Ichu River

 Adiel Alvarez Tidlasuca

Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja "Daniel Hernández Morillo". Pampas, Perú¹

Resumen

La presente investigación se desarrolló en la subcuenca del río Ichu de la provincia de Huancavelica con una superficie de 138,317.2 ha. El objetivo general fue estimar el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu en los años 2013 y 2017. Se utilizaron como métodos generales el análisis y la síntesis de la metodología de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y el análisis espacial con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La tasa de erosión hídrica promedio más alta que se dio en el año 2013 fue de 406.98 t/ha/año con un área de 18.1 ha correspondiente al 0.013 % de la superficie total, la mínima fue de 0.46 del nivel de erosión de la superficie de la subcuenca del río Ichu y la erosión hídrica promedio más alta se dio para el 2017 con 554.36 t/ha/año con un área de 25 ha correspondiente al 0.018 % de la superficie total, la mínima fue de 0.39 t/ha/año del nivel de erosión de la subcuenca del río Ichu. Con estos resultados se concluye que hubo una variación extremada del 2013 al 2017 por dos factores muy importantes la cobertura vegetal y la precipitación pluvial.

Palabras clave: Erosión hídrica, pérdida de suelo, propiedades del suelo, modelado de la erosión; escorrentía superficial.

Abstract

The present investigation was carried out in the sub-basin of the Ichu River of the province of Huancavelica with an area of 138,317.2 ha and is located between the geographical coordinates UTM 501381.5 m and 8586997.9 m. The general objective was to estimate the level of water erosion of the Ichu River Sub-basin 2013 and 2017. The analysis and synthesis of the methodology of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the spatial analysis were used as general methods. Geographic information systems (GIS). The highest average water erosion rate in 2013 was 406.98 t / ha / year with an area of 18.1 ha corresponding to 0.013% of the total area, the minimum was 0.46 of the level of surface erosion of the sub-basin of the Ichu River and the highest average water erosion occurred in 2017 with 554.36 t / ha / year with an area of 25 ha corresponding to 0.018% of the total area, the minimum was 0.39 t / ha / year of the erosion level of the sub-basin of the Ichu river. With these results, it is

Recibido:
Mayo 2020

Aceptado:
Setiembre 2020



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

DOI: <https://doi.org/10.46908/rict.v3i2.97>

concluded that there was an extreme variation from 2013 to 2017 due to two very important factors, vegetation cover and rainfall.

Keywords: Water erosion; loss of soil; soil properties; erosion modeling; surface runoff.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante de degradación de suelos, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud (Honorato *et al.*, 2001). Son múltiples los factores que favorecen e incrementan la erosión hídrica: las lluvias, el suelo, la pendiente, el tipo de vegetación y la presencia o ausencia de medidas de conservación. Además, el hombre, actúa como uno de los principales factores, al alterar las condiciones ecológicas del lugar, ya sea por necesidad, por ignorancia o por aplicar técnicas inadecuadas en el uso de los recursos naturales renovables (Ocampo *et al.*, 1996).

Morgan (1997) menciona que, la consecuencia directa de la erosión del suelo es una disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes, a su deterioro físico, a la pérdida de profundidad y en casos extremos a la pérdida total del suelo. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos para aplicar medidas que eviten la pérdida de este recurso (Pando *et al.*, 2003).

En la estimación de este proceso degradativo, en términos de pérdida de suelo, se han desarrollado y diseñado una serie de procedimientos y modelos. Un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Rodríguez *et al.*, 2004).

Los últimos estudios al respecto fueron realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996 y solo proveen información cualitativa.

La subcuenca del Ichu, no es ajena a esta alarmante realidad, ya que se evidencia el cambio

de la cobertura vegetal y la precipitación pluvial. Todo esto aunado a las condiciones propias de la sierra central, como son pendientes pronunciadas, altas e intensas precipitaciones y suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica, generan la necesidad de aplicar una metodología que nos permita estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y así establecer zonas de mayor riesgo para posteriormente proponer medidas y prácticas de conservación que permitan reducir dicha erosión.

Tomando como efecto el cambio de usos de suelos y coberturas vegetales, debido a que en la parte baja y media de la subcuenca del río Ichu se desarrollan diversos cultivos establecidos en casi el 10 % de la subcuenca, considerándolos a estos los principales generadores de erosión hídrica; en tal sentido en la presente investigación se planteó como objetivo general estimar el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu 2013 y 2017, a través de: a) cuantificar la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017; b) estimar la erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu; c) determinar la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu; y d) determinar los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La subcuenca del río Ichu se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas UTM 501381.5 m y 8586997.9 m de la Región Huanavelica, en la zona suroccidental del Perú. En su parte alta está formada por los ríos Cachimayo y Astobamba, los mismos que se forman por la escorrentía en las laderas producidas por los deshielos de los nevados Antarazo, Huamanrazo y Carhuarazo (pertenecientes al relieve de la Cordillera de Chonta) de la provincia de Castrovirreyna. En su recorrido cruza varios distritos, el

mismo que pasa por la ciudad de Huancavelica, Yauli y Acoria; para después adentrarse al distri-

to de Mariscal Cáceres y luego desembocar en el caudaloso río Mantaro (Figura 1).

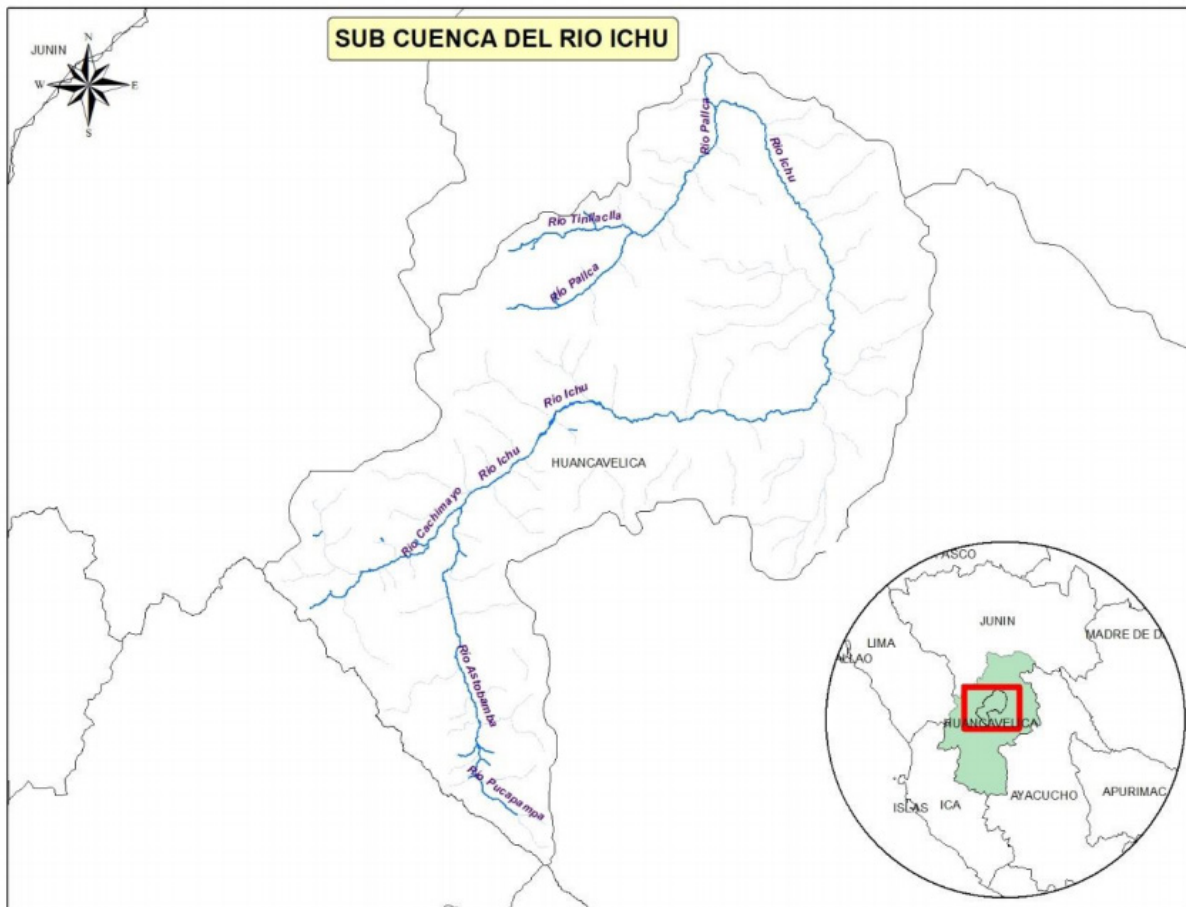


Figura 1. Mapa de ubicación de la sub cuenca del río Ichu.

Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978) se procedió de acuerdo al esquema de la Figura 2. La expresión más conocida de esta ecuación, es:

$$A=R \times K \times S \times L \times C \times P$$

Donde:

A = Pérdida media anual de suelo (t ha⁻¹ año⁻¹)
 R = Factor de erosividad de la lluvia (Mj mm

ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹)

K = Factor de erosionabilidad del suelo (t ha⁻¹ h Mj⁻¹ mm⁻¹ ha)

L = Factor de longitud de la ladera (adimensional)

S = Factor de pendiente de la ladera (adimensional)

C = Factor cobertura y manejo del suelo (adimensional)

P = Factor prácticas de conservación (adimensional)

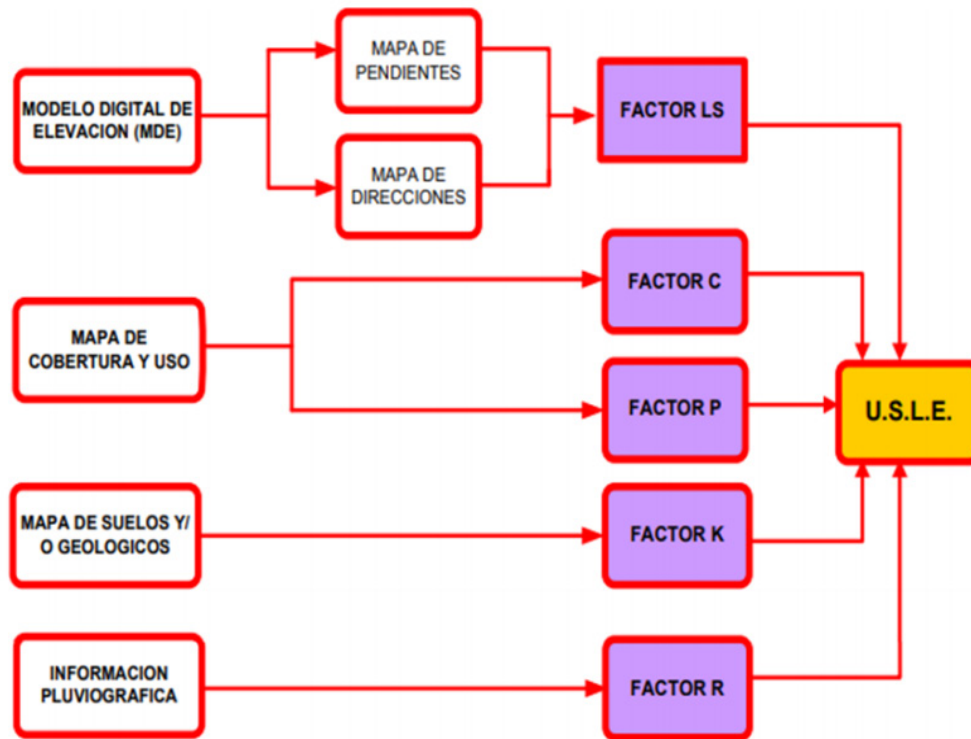


Figura 2. Modelo conceptual para la estimación de los niveles de pérdida de suelo según el método USLE.

Cada uno de los factores requirió un tratamiento diferenciado para obtener, como resultado final, el mapa que representa las pérdidas de suelo por erosión.

a) Factor R: Se obtuvo aplicando el método propuesto por la correlación entre Índice de Modificado de Fournier (IMF) y el factor R muestra me-

mejor ajuste después de una repartición de potencial, misma que ha sido usado para varios estudios de área (Núñez, 2001). Los valores del factor R pueden ser encontrados a partir de la Ecuación:

$$R=21.56 \times (IMF)^{0.927}$$

Para determinar el factor R se recurrió a los registros de precipitación de seis estaciones meteorológicas.

Tabla 1
Estaciones meteorológicas

Estación	Lat.	Log.	Alt.	Distrito
1	496081	8587162	3860	Ascensión
2	530574	8564844	3860	Lircay
3	492255	8550852	4547	Choclococha
4	474289	8613783	3450	Vilca
5	547712	8579073	3236	Acobamba
6	490037	8627984	3880	Pilchaca

Fuente: SENAMHI

Los valores de R se calcularon para cada una de las seis estaciones meteorológicas representativas del área de trabajo, y por interpolación de los valores R de las estaciones, se obtuvo el mapa de erosividad de la lluvia.

b) Factor LS: Los factores L (pendiente) y S (gradiente) se determinaron usando las siguientes fórmulas. (Foster et al., 1977, citado por Barrios & Quiñonez, 2000)

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

Donde: A(i,j): Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda); D: Es el tamaño del pixel (D=70 X 70); X: Es el factor de corrección de forma. (X=1, sistemas pixelados).

Para determinar el factor S se basó en la siguiente fórmula:

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

Una vez identificada los datos de entrada y salida se procedió a la obtención de los subfactores de manera particular partiendo de un modelo digital de terreno (MDT) con valores numéricos de la superficie del terreno representados en el espacio con la herramienta informática ArcGis 10.5 en el sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_18S; así mismo, se corrigieron las imperfecciones y vacíos generada en la imagen con el comando Fill, dando como resultado una imagen sin imperfecciones. Finalmente se obtuvieron imágenes raster del factor L y S, las cuales se usaron como lenguaje de programación en la herramienta calculadora de raster del programa de ArcGis 10.5 donde se multiplicaron ambas imágenes, obteniendo como producto final una capa final que expresa el factor LS correspondiente al área de estudio.

c) Factor K: El factor de erosionabilidad K, se determinó en base a muestras de suelos tomadas en la zona de estudio, los cuales se analizaron en laboratorio para obtener datos de

textura, estructura, permeabilidad y porcentaje de materia orgánica; una vez obtenido el resultado, se procedió a estimar el valor de K la ecuación de K_{USLE} dados por Williams (1995).

$$k_{USLE} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand}$$

Donde:

f_{csand} : Este es un factor que reduce el indicador K en suelos con alto contenido de arena gruesa y más alto en suelos con poca arena.

f_{cl-si} : Proporciona bajos factores de erosionabilidad del suelo en suelos con altas proporciones de arcilla a limo.

f_{orgc} : Reduce los valores de K en suelos con alto contenido de carbono orgánico.

f_{hisand} : Disminuye los valores de K para suelos con un contenido de arena extremadamente alto.

d) Factor C: Se determinó según la cobertura distribuida en campo de manera geoespacial, apoyadas con la metodología índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), partiendo de los respectivos mapas digitales de cobertura vegetal que fueron desarrollados en base a imágenes satelitales Landsat 8 del área de estudio para los años 2013 y 2017. La fórmula utilizada fue:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Donde:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR: Luz infrarroja cercana.

Red: Luz roja visible

Una vez determinada la cobertura vegetal de la zona de estudio se procedió dar los valores del factor C en base al estudio realizado por Wischmeier (1978). Estos valores varían desde 0.014 hasta 1.00, basados en torno al tipo de protección que pueda ejercer un tipo de cobertura vegetal o uso; al suelo, frente a la fuerza erosiva de la lluvia, por lo que áreas sin vegetación tienen un valor de 1.00, por no ofrecer ningún tipo de protección. De igual manera, las coberturas con plantaciones fo-

restales tienen un valor de 0.014, esto en favor de que las plantaciones por ser vegetación más frondosa tienen mayor capacidad de interceptación de las gotas de lluvia, ofreciendo de esta manera mayor protección al suelo.

e) Factor P: Se consideró el valor de este factor igual a 1 (Rodríguez, 2007) cuando no es posible el conocimiento de estas prácticas de

control de la erosión ni de manejo de las actividades productivas.

Estados erosivos

Mármol (2006) clasificó los mapas de erosión por clases o grados de erosión que tiene como referencia la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Tabla 2).

Tabla 2
Tolerancias establecidas por FAO

Nivel de erosión	T/ha/año
Normal	< 0,5
Ligera	0,5-5
Moderada	5-15
Severa	15-50
Muy Alto	50-200
Catastrófica	>200

Fuente: FAO

Para la elaboración del mapa de estados erosivos según el modelo USLE para la subcuenca del río Ichu, se procedió a la superposición de mapas (análisis espacial) de los factores señalados anteriormente (K, LS, C, R).

Materiales

Para lograr la estimación temporal de la erosión hídrica se utilizaron imágenes satelitales Landsat del año 2013 y 2017, muestras de suelo del área de estudio, registro de precipita-

ción pluvial de los años 2013 y 2017, software de ArcGis 10.5 y una laptop Core i7.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En las Tablas 3 y 4 se observan los resultados del factor R a través del Índice Modificado de Fournier (IMF) para el año 2013 y 2017 respectivamente en cuanto a la erosividad de la lluvia, para cada estación meteorológica. Las Figuras 1 y 2 representan gráficamente los valores para cada celda, donde los distintos colores muestran diferentes valores de erosividad.

Tabla 3
Valores del factor de R (Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹) - 2013

	Est	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Factor R
1	26	43	43	3	0	0	0	0	1	1	6	1	34	160
2	20	15	15	1	1	0	0	0	1	0	2	1	28	84
3	42	34	34	4	10	0	1	1	4	8	6	58	201	
4	12	11	11	1	1	2	1	3	1	9	2	7	61	
5	18	8	8	0	0	0	0	0	2	0	2	1	18	56
6	26	19	19	2	2	1	0	0	1	6	4	18	98	

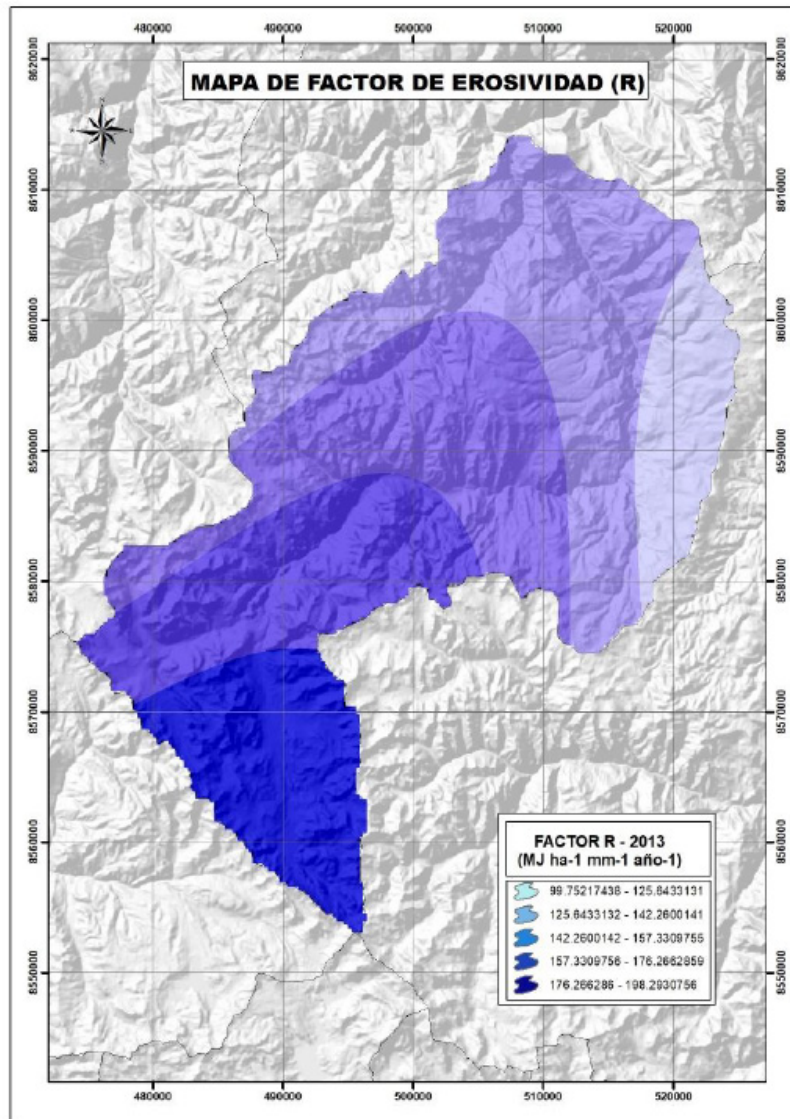


Figura 3. Mapa del factor R del año 2013

Tabla 4
Valores del factor de R (Mj mm ha-1 h-1 año-1) - 2017

Est	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Factor R
1	63	39	39	3	3	0	0	0	4	7	5	9	171
2	42	14	14	8	3	0	0	0	3	4	1	5	94
3	107	69	69	3	8	0	0	0	2	10	6	14	288
4	71	10	10	20	4	0	0	0	3	5	2	13	138
5	16	7	7	4	2	0	0	0	1	2	0	3	42
6	49	14	14	4	1	0	0	0	3	1	1	8	94

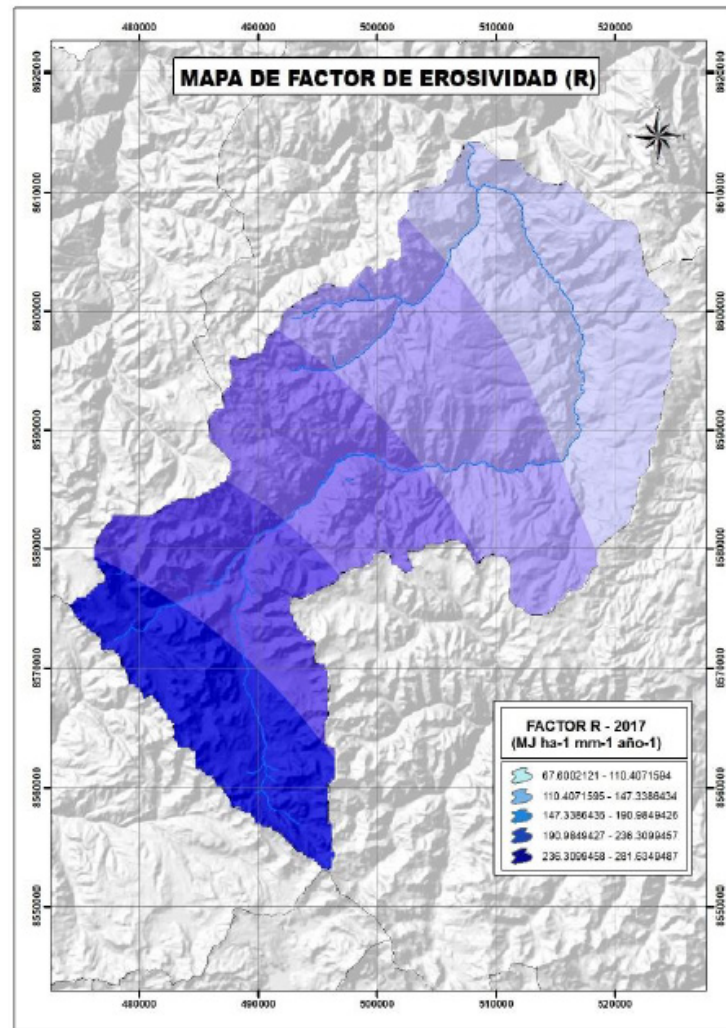


Figura 4. Mapa del factor R del año 2017

Según la tabla 4 se obtuvo como valor mínimo 51 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ y como máximo fue 201 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ para el año 2013 y en la Tabla 5 se puede evidenciar el valor mínimo de 42 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ y como valor máximo de erosividad de 288 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, así mismo según el análisis espacial (**Figura 3 y 4**) se muestra que la mayor parte de área de estudio presenta una alta erosividad, de la misma manera según el estudio realizado por Flores (2015) para la subcuenca del Shambillo en el departamento de Ucayali, obtuvo valores para el factor de erosividad R de 380.88 – 451.84 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, debido a que en la zona de estudio se presentan altas precipitaciones por encontrarse en una zona tropi-

cal, en tanto se puede inferir que los mayores índices de erosividad se registran en zonas con mayor precipitación.

En base a la clasificación natural Soil Taxonomy y la FAO se realizó el análisis del suelo para obtener el factor K, la cual se puede evidenciar en la Tabla 4. Así mismo, este factor es determinante para el grado de erosión del suelo según Flores (2015); en esta Tabla se observa que con excepción de las áreas urbanas que presentan valores de 0.000 t ha⁻¹ h Mj⁻¹ mm⁻¹ ha por el asentamiento humano, los valores varían de 1155 t ha⁻¹ h Mj⁻¹ mm⁻¹ ha a 0,1532 t ha⁻¹ h Mj⁻¹ mm⁻¹ ha el cual se caracteriza por ser un suelo franco arenoso y de permeabilidad mo-

derada siendo del grupo el menos sensible a la erosión hídrica. Flores (2019), obtuvo valores de erodabilidad para los suelos dentro de su área de estudio que oscilan entre 0.023 y 0.096 t ha h ha-1 MJ-1 mm-1 calificándose como bajos en todos los suelos evaluados según Renard et al (1997), lo cual indica que son suelos altamente resistentes a la erosión. Estos autores conside-

ran que un suelo es altamente susceptible a la erosión cuando el factor K es mayor a 0.4 t ha h ha-1 MJ-1 mm-1, y moderada cuando el valor de K oscila entre 0.25 y 0.4 t ha h ha-1 MJ-1 mm-1, y bajo cuando oscila entre 0.05 y 0.2 t ha h ha-1 MJ-1 mm-1

Determinación del factor de erosionabilidad del suelo K.

Tabla 5
Determinación del factor de erosionabilidad del suelo K.

CLASIFICACIÓN NATURAL								
Nº	SIMB	SOIL TAXONOMY	FAO	Fcsand	F cl-si	F orgc	F hisand	K usle
1	HC	Ustocrptandico	Cambisol	0,2001	0,9061	0,7500	0,9991	0,1359
2	IC	Críortent	Regosol	0,2001	0,8803	0,8086	0,9994	0,1424
3	URB	Áreas Urbanas	Áreas Urbanas	0,5000	0,0000	10,000	10,000	0,0000
4	AS	Criembreptandico	Paramosol	0,2000	0,9820	0,7500	0,9764	0,1438
5	CH	Críofibríst	Histosol	0,2000	0,8292	0,7500	0,9286	0,1155
6	SJ	Ustortent	Regosol	0,2009	0,8768	0,8701	0,9999	0,1532
7	MA	Haplustel	Kastanozen	0,2002	0,8759	0,7539	0,9997	0,1322
8	PH	Críofluvent	Fluvisol	0,2000	0,9607	0,7500	0,9654	0,1391
9	LAG	laguna	laguna	0,5000	0,0000	10,000	10,000	0,0000
10	TO	Ustifluvent	Fluvisol	0,2000	0,9718	0,7500	0,8175	0,1192
11	YA	Críocept	Paramosol	0,2002	0,9490	0,7500	0,9991	0,1424

Los resultados del factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS) se puede evidenciar en la Tabla 5, el rango oscila de 0,03 a 550,7 (adimensional) del cual se tiene un menor porcentaje de 0.07% (2934.1 ha), presentan valores elevados de este factor, esto debido a las fuertes pendientes que posee la microcuenca; mientras que un 49.9 % (68,964.6 ha)

del territorio presenta bajos valores del factor LS. Del Aguila (2011), obtuvo valores de LS de entre 0,07 - 8,93, los valores más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo.

Tabla 6
Resultados del factor LS

ID	Rango	Área (Ha)	%	Grado de susceptibilidad
1	0,03-6,5	68984,6	49,90	muy bajo
2	6,5-49,7	48651,1	35,19	bajo
3	49,7-149,03	17585,6	12,72	medio
4	149,03-319,6	2934,1	2,12	alto
5	319,6-550,7	102,9	0,07	muy alto

Una vez determinada el tipo de cobertura vegetal de la subcuenca del río Ichu se procedió a determinar la variación del factor C del año 2013 a 2017, según las Tablas 7 y 8 los cuerpos sin cobertura vegetal tienen un incremento de 15254 ha a 16644, de las áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal hay una reducción de 39062 ha a 33831 ha; de las áreas pobres con arbustos o pastura natural hay una ligera reducción de 48305 ha a 47913 ha, de las áreas con árboles y arbustos se observa un incremento de 24666 ha a 27806 ha y por último de las áreas donde

la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad, también presenta un ligero incremento de 11021 ha a 12116 ha. Esto hace suponer se deba a la intervención del hombre o cambio climático tal cual como también lo menciona Ruiz (2012), que la microcuenca Rumiyacu presenta más del 60 % (423.42 ha), esta ha sufrido la intervención del hombre, ya sea para incremento de las áreas de café, pasto, arroz y cultivos anuales, las rocas superficiales cubren un 15 % del área total de la microcuenca (104.1 ha) y 155 ha de bosque denso (22 %).

Tabla 7
Cobertura vegetal para el año 2013

Característica de la cobertura vegetal	Tipo de cobertura según densidad	Área (Ha)	%
	áreas urbanas		
cuerpos sin cobertura vegetal	lagunas	15254	11,03
	áreas sin cobertura vegetal		
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	39062	28,24
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	48305	34,93
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	24666	17,83
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	bofedales	11021	7,97

Tabla 8
Cobertura vegetal para el año 2017

Característica de la cobertura vegetal	Tipo de cobertura según densidad	Área (Ha)	%
cuerpos sin cobertura vegetal	áreas urbanas	16644	12,03
	lagunas		
	áreas sin cobertura vegetal		
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	33831	24,46
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	47913	34,64
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	27806	20,10
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	áreas forestales	12116	8,76
	bofedales		

La estimación de la erosión hídrica potencial para los años 2013 y 2017 se obtuvo después de multiplicar los factores rasterizados, posteriormente se transformó en polígonos para su evaluación cuantitativa como se puede evidenciar en las Tablas 9 y 10 y las Figuras 5 y 6, del cual se puede mencionar que, la variación de la estimación de la erosión hídrica potencial a lo largo del tiempo 2013 y 2017,

que viene desde la reducción de la erosión hídrica normal de 0.46 a 0.39 t/ha/año hasta aumentos, tales como, la erosión hídrica ligera de 3.989 a 4.89 t/ha/año, erosión hídrica moderada de 14.03 a 14.65 t/ha/año, erosión hídrica severa de 47.87 a 43.89 t/ha/año, erosión hídrica muy alto de 189.65 a 190.26 t/ha/año, erosión hídrica catastrófica de 406.98 a 554.36 t/ha/año.

Tabla 9
Estimación de la erosión hídrica potencial (EPH) para el año 2013

Nivel de erosión	Rango de EPH t/ha/año	t/ha/año
Normal	< 0,5	0.46
Ligera	0,5-5	3.989
Moderada	5-15	14.03
Severa	15-50	40.87
Muy alto	50-200	189.65
Catastrófica	>200	406.98
TOTAL		655.979

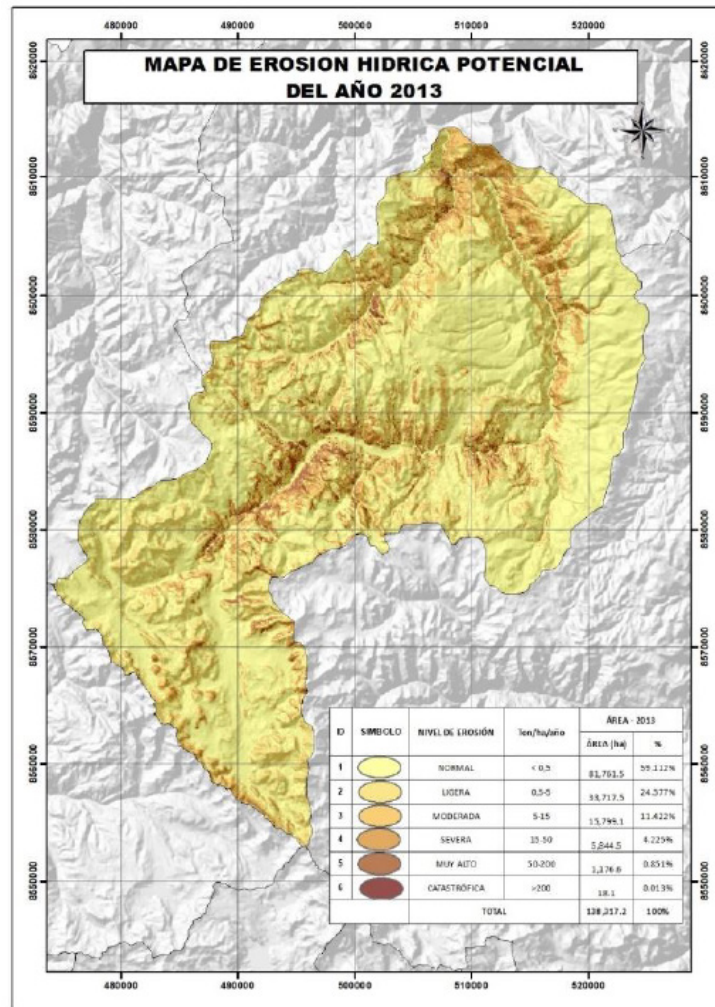


Figura 5. Mapa erosión hídrica potencial del año 2013

Tabla 10
Estimación de la erosión hídrica potencial (EPH) para el año 2017

Nivel de erosión	Rango de EPH t/ha/año	t/ha/año
Normal	< 0,5	0.39
Ligera	0,5-5	4.89
Moderada	5-15	14.65
Severa	15-50	43.89
Muy Alto	50-200	190.26
Catastrófica	>200	554.36
TOTAL		808.448

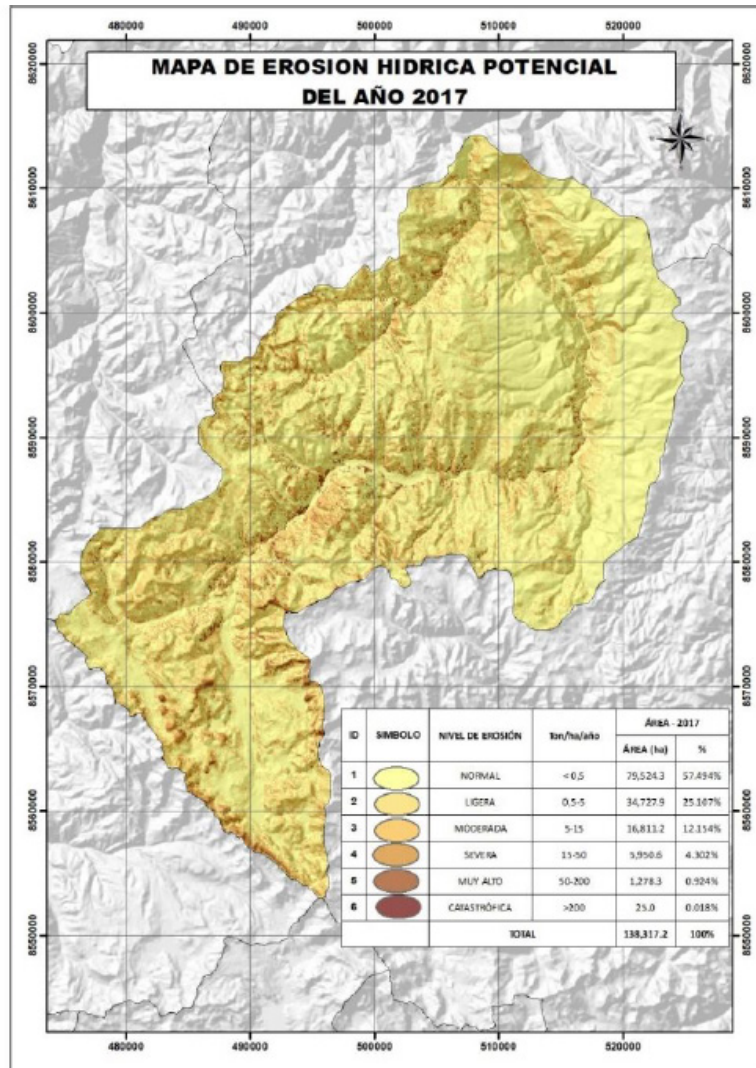


Figura 6. Mapa erosión hídrica potencial del año 2017

El aumento progresivo de acuerdo al tipo de erosión hídrica se puede interpretar por la creciente precipitación pluvial y por la variación de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo de estudio tal y como se puede apreciar en los mapas tipo RASTER de cada uno de los mencionados. RAMOS (2001), sustenta que el límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 - 12 t/ha/año, aunque en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 t/ha/año. Morgan (1997), afirma que, por encima de esta cifra no se puede garantizar la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo. Obedeciendo a estas

premisas es claro que la erosión en la microcuenca Puente Pérez sobrepasa ampliamente los límites aceptables de erosión.

CONCLUSIONES

- La estimación de los factores R K S L C y P sirvió para hacer un análisis sobre la categorización de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu, donde cada uno de los factores constituyó una capa de información, que al ser analizado con el ArcGis 10.5, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), este estudio espacio-temporal generó la zonificación de la pérdida del suelo superficial en la subcuenca.

- Dicho proceso permitió definir el análisis temporal de la erosión hídrica 2013 y 2017 cuya suma total de pérdida de suelo aumentó de 655.979 t/ha/año (2013) a 808.448 t/ha/año (2017); esto a razón del cambio temporal de cobertura vegetal (factor C) y precipitación pluvial (factor R).
- El empleo software de los sistemas de información geográfica como el ArcGis 10.5 demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos, permitiendo localizar geográficamente las áreas más afectadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnoldus, H. M. (1980). Una Aproximación del Factor de Lluvias en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. De Boodt. M. and Gabriels, D.(Eds.). Evaluación de la Erosión. John Wiley-son, Inc. Chichester, West Sussex, UK.
- Barrios, A. G., & Quiñónez, E. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Universidad de los Andes, Mérida (Venezuela). Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales.
- Del Aguila Angulo, M. (2011). Estimación del factor de erosividad (R) y determinación de la tasa de erosión hídrica mediante Usle y Musle de la Microcuenca La Alcantarilla - Las Palmas.
- Flores Coletto, R. D. (2019). Modelamiento cartográfico de los niveles de erosión potencial del suelo en la zona agrícola de la cuenca Chancos.
- Flores Villanueva, Á. L. (2015). Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad.
- 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. Ciencia e investigación agraria: *Revista Latinoamericana de Ciencias de la Agricultura*, 28(1), 7-14.
- Mármol, L., Díaz, J., Larreal, M., & Jiménez, L. (2007). Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía de La Universidad del Zulia*, 24(2), 183-202.
- Morgan, R. P. C. (1997). Erosión y conservación del suelo (No. 04; S623, M67.).
- Núñez, J. (2001). Manejo y conservación de suelos. 1ra Edición UNED. San José Costa Rica.
- Ocampo, R., Medina, C., & Lovat, G. (1996). Programa de conservación de suelos y forestación. Manual de conservación de suelos. Asociación Arariwa. Cuzco-Perú.
- Palacios, A., & Alfaro, S. (1993). El modelo USLE en Costa Rica. In. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CL). Erosión de suelos en América Latina (en línea). Santiago de Chile. Consultado 23 oct. 2003.
- Pando Moreno, M., Gutiérrez Gutiérrez, M., Maldonado Hernández, A., Palacio Prieto, J. L., & Estrada Castellón, A. E. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. *Investigaciones Geográficas*, (51), 23-36.
- Ramos, C. (2001). Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Renard, KG, Foster, GR, Weesies, GA, McCool, DK y Yoder, coordinadores de DC. 1997. Predicción de la erosión del suelo por el agua: una guía para la planificación de la conservación con la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE). Departamento de Agricultura de EE. UU., Manual de Agricultura , 703 , 404.

Rodríguez, M. (2007). Potencialidad de las técnicas SIG para la Gestión Medioambiental: Aplicación al estudio de la erosión. M+ A. *Revista electróni@ de Medioambiente*. Universidad Complutense de Madrid, (3), 76-89.

Rodríguez, M. F., Florentino, A., Gallardo, J., & García, R. D. A. (2004). Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología USLE. *Agronomía tropical*, 54(4), 391-409.

Ruiz Pérez, R. J. (2012). Estimación de la erosión a través del modelo USLE en la microcuenca Rumiyacu, región San Martín.

Velásquez, S. (2008). Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Wieschmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide for conservation planning. 63 p., USDA. Agriculture Hand Book, (537).

CORRESPONDENCIA

Mg. Adiel Alvarez Ticllasuca
adielalvarez@unat.edu.pe