



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i5.2288>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Proposal for the control and management of gullies in rural sectors of the Province of Manabí

Proposta de controle e gestão de voçorocas em setores rurais da Província de Manabí

José Gonzalo Zambrano-Centeno ^I
jzambrano5538@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4595-8821>

Eric Cabrera-Estupiñan ^{II}
ecabrerae@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1266-2947>

Correspondencia: jzambrano5538@utm.edu.ec

***Recibido:** 25 de julio 2021 ***Aceptado:** 30 de agosto de 2021 * **Publicado:** 21 de septiembre de 2021

- I. Ingeniero Civil, Estudiante de la Maestría en Hidráulica Mención en Gestión de Recursos Hídricos del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Ingeniero Hidráulico, Magíster en Ingeniería Hidráulica, Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

Resumen

La erosión hídrica del suelo es un problema constante desde que la humanidad comenzó a cultivar la tierra, por ello es de gran importancia el estudio de los procesos erosivos en la dinámica de las cuencas hidrográficas. El estudio realizado se encuentra orientado a la formulación de alternativas para la mitigación de los efectos erosivos que se producen en las cárcavas, estableciendo las características morfológicas con las que cuenta el cantón Tosagua de la Provincia Manabí en Ecuador, específicamente la zona del cerro "El Junco". Se emplea el método de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos (USLE) con el fin de definir estrategias para un modelo de control y manejo de la proliferación de las cárcavas. El trabajo se desarrolla con el empleo de una metodología de investigación documental, fundamentada en el paradigma cuantitativo, con la aplicación del sistema USLE, por medio de la revisión de indicadores relacionados con la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la longitud y pendiente cauces y, uso y prácticas de conservación del suelo. Con ayuda del software QGIS se generan los mapas de los factores que integran la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, que finalmente se multiplican y como resultado se obtiene un mapa del factor A, que corresponde con la pérdida de suelo anual por hectáreas, expresada en ton/ha.año y distribuida espacialmente, por cuanto se obtienen las zonas más proclives a la formación de cárcavas en la zona de estudio. El valor máximo de erosión hídrica obtenido fue de 1,55 Ton/ha.año, pudiéndose categorizar esta variable en valores de nula o moderada en toda la cuenca.

Palabras clave: Cárcavas; erosión hídrica; USLE; QGIS.

Abstract

Soil water erosion has been a constant problem since humanity began to cultivate the land, which is why the study of erosive processes in the dynamics of hydrographic basins is of great importance. The study carried out is aimed at the formulation of alternatives for the mitigation of the erosive effects that occur in the gullies, establishing the morphological characteristics of the Tosagua canton of the Manabí Province in Ecuador, specifically the area of the hill "El Rush". The method of the Universal Soil Loss Equation (USLE) is used in order to define strategies for a control and management model of gully proliferation. The work is developed with the use of a documentary research methodology, based on the quantitative paradigm, with the application of the USLE system, through the review of indicators related to rain erosivity, soil erodibility, length and slope channels

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

and, use and practices of soil conservation. With the help of the QGIS software, the maps of the factors that make up the Universal Soil Loss Equation are generated, which are finally multiplied and as a result a map of the factor A is obtained, which corresponds to the annual soil loss per hectare, expressed in tons / ha / year and spatially distributed, since the areas most prone to gully formation are obtained in the study area. The maximum value of water erosion obtained was 1.55 Ton / ha / year, and this variable can be categorized into null or moderate values in the entire basin.

Keywords: Cárcavas; water erosion; USLE; QGIS.

Resumo

A erosão hídrica do solo tem sido um problema constante desde que a humanidade começou a cultivar a terra, por isso o estudo dos processos erosivos na dinâmica das bacias hidrográficas é de grande importância. El estudio realizado se encuentra orientado a la formulación de alternativas para la mitigación de los efectos erosivos que se producen en las cárcavas, estableciendo las características morfológicas con las que cuenta el cantón Tosagua de la Provincia Manabí en Ecuador, específicamente la zona del cerro "El Junco". O método da Equação Universal de Perdas de Solo (USLE) é utilizado para definir estratégias para um modelo de controle e manejo da proliferação de voçorocas. O trabalho é desenvolvido com a utilização de uma metodologia de pesquisa documental, baseada no paradigma quantitativo, com a aplicação do sistema USLE, por meio da revisão de indicadores relacionados à erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimentos e taludes dos canais e, uso e práticas de conservação do solo. Com o auxílio do software QGIS, são gerados mapas dos fatores que compõem a Equação Universal de Perdas de Solo, os quais são finalmente multiplicados e como resultado é obtido um mapa do fator A, que corresponde à perda anual de solo por hectare, expressa em toneladas / ha / ano e distribuídas espacialmente, uma vez que as áreas mais propensas à formação de voçorocas são obtidas na área de estudo. O valor máximo de erosão hídrica obtido foi de 1,55 Ton / ha / ano, e esta variável pode ser categorizada em valores nulos ou moderados em toda a bacia.

Palavras-chave: Cárcavas; erosão hídrica; USLE; QGIS.

Introducción

El suelo es un recurso natural semi-renovable de importancia básica para la vida sobre la tierra, es la fuente de vida de las plantas, los animales y la especie humana, el mismo sufre procesos de degradación, de los cuales la erosión, es considerada la pérdida selectiva de materiales del suelo, ya sea por la acción del agua o del viento, los materiales de las capas superficiales van siendo arrastrados (Fajardo Zaruma, 2010).

La degradación del suelo, es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios, de hecho, el cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana, ya que, de él, se extrae la mayor parte de los alimentos necesarios, las fibras y las maderas (Silenzi, Echeverría, Bouza, & De Lucía, 2011).

Los procesos erosivos, como parte de la degradación del suelo, se conciben como un proceso natural en el cual las partículas de la superficie del suelo, son removidas por el agua, el viento o el arado (Segredo Díaz, 2018).

Actualmente, los procesos erosivos representan un gran espectro y, son considerados como parte de los principales problemas de los entornos medioambientales a nivel mundial, tal es así, que la erosión está enlazada de manera directa con los aspectos relacionados con la pobreza y la marginalidad en la sociedad; ya que, sus implicaciones socioeconómicas afectan de manera directa a la agricultura, al producirse pérdidas en la productividad por la erosividad en sus territorios; e indirectamente, por los daños que pueden producir para el desarrollo y sostenimiento de los recursos hídricos, debido a los procesos de sedimentación y contaminación en obras de riego y represas (Andrade Quintuña, 2019). En tal sentido, se tiene que, en zonas tropicales generalmente costeras, los procesos geomorfológicos son de gran importancia, ya que suelen modificar en periodos de tiempo relativamente cortos la configuración de los paisajes como consecuencia del predominio de elementos o factores que favorecen la erosión o la sedimentación (Nuñez Ravelo, 2017).

Uno de estos procesos, son las denominadas cárcavas, que son formas producidas por la socavación repetida sobre el terreno, debido al flujo incontrolado de los escurrimientos superficiales provocados por la lluvia. Las cárcavas son zanjas más o menos profundas, originadas por la erosión laminar, y suelen evolucionar por desplomes laterales y hacia arriba. Las cárcavas siempre comienzan en la parte inferior de la ladera y van comiéndose la tierra hacia arriba, hasta crear una cabeza de cárcava, con un corte brusco y escarpado (Carrasco, 2019), estas son un tipo de erosión impresionante y notoria,

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

que ha sido declarado como uno de los problemas ambientales más graves en el planeta. También, son consideradas barrancos o zanjas, provocados por el agua de lluvia que corre sobre el suelo, llevándose así grandes cantidades de tierra (Floes, 2019).

Al principio, las cárcavas son solamente pequeños surcos que apenas se ven en el terreno y, con el paso del tiempo estos surcos se vuelven más grandes y profundos por causa del agua de lluvia, que arrastra la tierra suelta de los surcos, para finalmente convertirse en quebradas profundas que amenazan las áreas de cultivo (Domínguez Carmona, 2021).

Los daños que se ocasionan en el suelo producto de las cárcavas, están relacionados con el arrastre del suelo fértil, la sedimentación de canales y estructuras de almacenamiento de aguas, así como la interferencia con la labranza y la reducción de las áreas útiles para cultivos, además de la destrucción de obras de infraestructuras, como lo son los caminos.

Las investigaciones sobre erosión en cárcavas se han desarrollado en diferentes zonas del mundo, llegando a tener gran relevancia como en los casos de la meseta de Moldavia en el este de Rumanía, donde la erosión que ha formado barrancos ha sido reconocida como una amenaza ambiental importante, el colapso de la quebrada de Yuanmou y de la Estación Experimental de Campo, situada dentro de la región del valle seco-caliente del suroeste de China (Yang, Zhang, Liu, Deng, & Fang, 2019).

Las cárcavas se forman debido a las actividades antropogénicas y factores físicos como son el uso inapropiado del suelo y de la vegetación, el sobrepastoreo, la construcción de caminos, senderos creados por animales o vehículos, la intensidad y cantidad de lluvia, la topografía, el tamaño y forma de la cuenca, la longitud y el gradiente de laderas y, características del suelo, entre otros (Da Costa Ribeiro, 2018).

Los procesos erosivos en cárcavas afectan negativamente su área cercana, reduciendo áreas agrícolas, de pastoreo y forestales, y dañando la infraestructura ubicada aguas abajo, contaminando cuerpos de agua superficiales y abatiendo el nivel freático de las corrientes (Cueva Alanguía, 2018).

Este tipo de problema no es ajeno al Ecuador, país suramericano en el que la producción agrícola es una actividad económica imprescindible, y en el que los suelos a escala nacional están enfrentando una grave erosión que afecta la capa superficial considerada la más fértil (Peñañiel, López, & Alemán, 2017).

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Por su ubicación, las características climatológicas del Ecuador, como las de cualquier otra parte del planeta, responden a una diversidad de factores que modifican su condición natural (Gómez et al., 2012), tales como: latitud geográfica, altitud del suelo, dirección de las cadenas montañosas, vegetación, acercamiento y alejamiento del Océano, corrientes marinas y los vientos.

Desde el punto de vista político – administrativo, el Ecuador se divide en 24 provincias, la zona de interés del presente trabajo se ubica en una de ellas, su nombre es Manabí, territorio que presenta la mayor actividad agrícola orientada al cultivo de plantas de ciclo corto.

En dicha provincia, se encuentran diferentes localidades rurales que serán el centro de atención de este estudio, por ejemplo en el cantón Tosagua se encuentran diferentes localidades agrícolas, destinadas fundamentalmente al cultivo del maíz, maní, entre otras plantaciones de periodo corto, para efecto del estudio se trabaja en el sitio “El Junco”, ubicado en unas de las cotas más altas del cantón, y que a causa de una actividad agrícola intensiva en la zona se tienen altos índices de deforestación, siendo esto último causa principal de la erosión en los suelos.

Además de la deforestación, en la zona de estudio la topografía es bien accidentada, con altas pendientes, con lo cual este es otro factor que atenta a la estabilidad del suelo y por ende facilitando de manera directa la ocurrencia de cárcavas en temporadas invernales, debido a la velocidad que puede tomar el agua en sitios con esas características geográficas.

La erosión del suelo por acción del agua y del viento es un problema constante desde que la humanidad comenzó a cultivar la tierra. Por ello, la erosión se visualiza como uno de los principales problemas ambientales, afectando sobre todo al sector agropecuario, desde perspectivas ecológicas, ambientalistas y socioeconómicas (Bocero, 2002) .

En las zonas tropicales, generalmente costeras, los procesos geomorfológicos son de gran importancia, ya que suelen modificar en periodos de tiempo relativamente cortos la configuración de los paisajes, como consecuencia del predominio de elementos o factores que favorecen la erosión (Padilla Jiménez, 2020).

Este artículo tiene como objetivo principal formular una propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la provincia de Manabí, tomando como área de estudio el sitio “El Junco” del cantón Tosagua y mediante la aplicación de la Ecuación Universal de la Pérdida de suelo se busca determinar el grado de erosión que presenta la zona, así mismo establecer propuestas que ayuden al control, manejo y mitigación de las cárcavas.

Materiales y Métodos

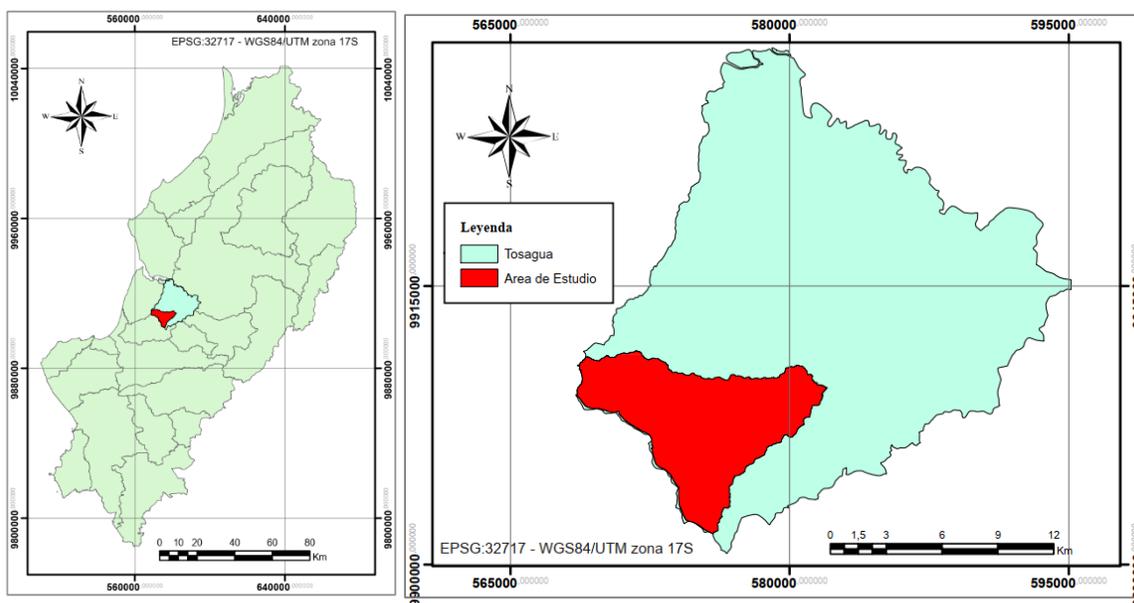
Área de Estudio

El área de estudio está definida por la cuenca que se obtiene del procesamiento de un modelo digital de elevación en formato ráster (del cual se darán detalles más adelante), con un cierre en la zona de aportación del sitio “el Junco” del cantón Tosagua, la superficie de la cuenca es de 6058.82 Ha, área que se encuentra dentro del cantón como se aprecia en la Figura 1.

Tosagua, es una ciudad ecuatoriana; cabecera cantonal del Cantón Tosagua, perteneciente a la Provincia de Manabí. Se localiza al centro-norte de la región litoral del Ecuador, en una extensa llanura, atravesada por el río Carrizal, a una altitud de entre 11 a 420 msnm y con un clima cálido tropical de 25°C en promedio.

Se plantea el estudio de esta área ya que por ser una de las zonas con mayores pendientes del cantón donde de igual forma se aprecia una gran extensión del área destinada para la agricultura es una de las más susceptibles a procesos erosivos y se observa de manera clara la formación de cárcavas en diferentes terrenos de uso agrícola.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

La Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo es un modelo empírico para estimar la pérdida media anual de suelo por erosión laminar, factores naturales y antrópicos, los que pueden ser estimados a partir de geotecnologías, en este caso se emplea el software QGIS.

La aplicación de la USLE en escalas regionales es válida para estudios cualitativos sobre erosión hídrica laminar, proporcionando una estimación de áreas con mayor o menor susceptibilidad erosiva (Barbosa, de Oliveira, Mito, & Paranhos Filho, 2015). La USLE es ampliamente utilizada para identificar áreas potencialmente erosivas, en un enfoque cualitativo, con el fin de apoyar la planificación ambiental, los condicionantes de la ecuación son:

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

Donde:

A = Pérdida media anual de suelo por unidad de área (ton/ha. año);

R = Erosividad de la lluvia (*Mj. mm/ha. h. año*);

K = Erodabilidad del Suelo;

L = Longitud de Pendiente;

S = Pendiente del Terreno;

C = Cobertura y Manejo de la vegetación; y

P = Prácticas de conservación

Información geográfica

Para el procesamiento de la información son necesarios ciertos insumos de información geográfica digital del área de estudio, de entre ellos: El modelo digital de elevación, imagen satelital y archivos vectoriales (shp).

Con relación al modelo digital de elevación (DEM) se tuvo acceso al proyecto SIGTIERRAS del MAGAP cuyo modelo está compuesto por cuadrículas de 4 m x 4 m. Este fue el insumo principal para la delimitación de la cuenca y el factor LS.

La imagen satelital se genera mediante un recorte del mapa satelital de google procesada en el software de QGIS 3.18.3. Del procesamiento de la imagen satelital se obtiene la clasificación CP que corresponde a los usos del suelo y la práctica de conservación del mismo (QGIS Development Team, 2018).

Procesamiento de Datos

La metodología utilizada consiste básicamente en 5 etapas principales:

- a) Obtención del mapa de factor topográfico (LS) por medio del software QGIS.
- b) Elaboración del mapa de uso de suelo, cobertura vegetal y práctica de conservación (CP) por medio de la imagen satelital generada por QGIS.
- c) Adquisición del mapa de erosividad de lluvia (R) en base a la información meteorológica del área.
- d) Adquisición de información del suelo para determinar el factor de erodabilidad (K) en la zona de estudio.
- e) Cálculo de la erosión (factor A) a partir de los factores: R.K.(L.S).(C.P).

Factor LS

El factor topográfico (LS) creado a partir de dos subfactores, un factor de pendiente (S) y un factor de longitud de pendiente (L), ambos determinados a partir del Modelo de elevación digital (DEM). El parámetro de longitud de pendiente y gradiente es crucial en el modelado de la erosión del suelo para calcular el flujo superficial (escorrentía superficial). L y S representan el efecto de la longitud y la pendiente respectivamente sobre la erosión. Estos se calculan a partir del DEM y se combinan para dar como resultado la cuadrícula de factores topográficos utilizando la relación (Thapa, 2020). Mediante la aplicación de la herramienta de QGIS, Ls-factor, field based de saga, se puede obtener el factor LS de manera directa, simplificando el cálculo del mismo.

Tabla 1. Clasificación del factor LS

Factor LS	Categorización
Bajo	< 15
Moderado	15 – 30
Alto	30 – 45
Muy Alto	> 45

Fuente: Barbosa et al. (2015)

Factor CP

Directamente relacionados con el uso del suelo y la cobertura vegetal en el área de estudio, los factores C y P pueden variar a lo largo de los años como consecuencia de cambios en la forma e intensidad de este uso. Por tanto, es fundamental utilizar imágenes del mismo período en el que se quiere estimar

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

la pérdida de suelo, ya que para determinar los factores C y P es necesario conocer el uso y cobertura del suelo adoptado en el momento estudiado (Ramírez, Wilson, Marizza, & Gabioud, 2017).

Utilizando la imagen satelital de google y mediante el uso del complemento dzetsaka de QGIS (Karasiak, 2016), se puede hacer una clasificación cualitativa de la imagen satelital, permitiendo así obtener el mapa del factor CP.

Tabla 2. Valores del factor CP

Características	Factor CP
Área Húmeda	0
Cuerpos de agua	0
Bosque seco	0.00004
Vegetación densa	0.00004
Vegetación poco densa	0.007
Pasto	0.01
Agricultura	0.2
Malezas (Campo sucio)	0.25
Suelo expuesto	1

Fuente: Barbosa et al. (2015)

Factor R

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio.

El factor de erosividad pluvial para el área de estudio se obtuvo mediante el corte del raster de erosividad pluvial para la cuenca hidrográfica de Manabí, desarrollado por Antonio, Sinichenko, and Gritsuk (2017).

Tabla 3. Valores del Factor R para todo Manabí

Nro.	Nombre de estación	Código	Coordenadas UTM (WGS 84, 17S)		R
			X	Y	
1	Portoviejo - UTM	M005	559.523,22	9.884.982,17	77,07
2	Pichilingue	M006	671.167,34	9.878.372,68	2041,4
3	Puertolla	M026	684.859,81	9.947.353,13	3587,5
4	Manta INOCAR	M047	529.607,70	9.896.745,30	38,41
5	Manta Aeropuerto	M074	535.232,44	9.894.994,75	14,53
6	El Carmen	M160	671.938,74	9.968.948,11	3251,41
7	Chone	M162	599.185,83	9.922.066,78	569,67
8	Boyacá	M163	588.400,30	9.937.145,28	525,18

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

9	Rocafuerte	M165	561.349,93	9.905.400,22	53,4
10	Olmedo - Manabí	M166	587.791,41	9.845.734,15	1122,19
11	Jama	M167	580.799,64	9.977.124,57	194,88
12	Pedernales - Manabí	M168	605.097,76	9.993.551,53	381,07
13	Julcuy	M169	540.911,18	9.836.411,78	342,63
14	Camposano 2	M171	566.616,98	9.823.940,07	652,99
15	Estancilla	M296	587.159,33	9.909.725,24	237,9
16	Simbocal	M297	579.743,79	9.926.307,47	154,41
17	Lodana	M298	568.606,76	9.871.040,58	246,03
18	San Isidro - Manabí	M446	593.441,49	9.959.038,04	188,3
19	24 de Mayo	M447	564.710,04	9.858.636,79	370,39
20	La Laguna	M448	541.812,73	9.872.580,49	34,08
21	Sancán	M449	545.983,04	9.860.943,20	77,79
22	Camarones - Manabí	M450	524.784,87	9.875.161,34	50,3
23	El Anegado	M451	551.324,59	9.836.471,24	345,86
24	Zapote	M452	605.083,81	9.896.271,70	856,52
25	Chorrillos	M453	534.613,23	9.883.481,05	109,03
26	Río Chico - Alajuela	M454	578.715,81	9.883.443,13	267,69
27	Joa - Jipijapa	M455	540.758,45	9.847.495,81	54,83
28	Jama AJ Mariano	M456	582.963,07	9.969.540,23	61,23
29	Puerto Cayo	M457	529.325,34	9.850.843,98	43,07
30	Colimes - Paján	M458	554.628,06	9.823.912,53	467,12
31	San Pablo - Manabí	M459	545.420,53	9.825.480,44	1144,48
32	Junín	M462	588.083,86	9.896.705,80	399,87
33	Río Chamotete - Jesús María	M464	585.361,31	9.885.406,72	570,84
34	Poza Honda	MA29	589.006,09	9.876.562,52	629,35
35	COM	COM	589.006,09	9.876.562,52	96,24
36	COM	COM	589.006,09	9.876.562,52	309,98
37	COM	COM	589.006,09	9.876.562,52	1790,55

Fuente: Antonio et al. (2017)

Tabla 4. Clasificación del factor R

<i>Mj. mm/ha. h. año</i>	Factor R
0 – 50	Bajo
50 – 550	Moderado
550 – 1000	Alto
> 1000	Muy alto

Fuente: INAHMI (2021)

Factor K

El método más completo para estimar K es el Nomograma de Wischmeier and Smith (1978), en este, se requieren datos sobre porcentaje de limos, arenas muy finas y arenas, además, porcentaje de contenido de materia orgánica, la estructura del suelo y su permeabilidad.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Para la obtención del factor K se usó como base el mapa digital de los suelos del mundo, desarrollado por la FAO (2007), para un estudio más profundo es recomendable la toma de puntos para muestreos en toda el área de cobertura a estudiar, con la finalidad de contar con información más actualizada y diversa.

Las estimaciones para la determinación de K pueden realizarse también con el método de Kirkby and Morgan (1980) quienes ponen a consideración los valores de la Tabla 5 para una clasificación en base a la característica del suelo y contenido de materia orgánica.

Tabla 5. Valores de K para la aplicación del método de Kirkby y Morgan (1980)

Textura del Suelo	Valores de K en Función del Contenido		
	< 0.5 %	2%	> 4%
Arcilla	0,017	0,038	-
Arcilla arenosa	0,018	0,017	0,016
Arcilla limosa	0,033	0,030	0,025
Arena	0,007	0,004	0,003
Arena fina	0,021	0,018	0,013
Arena fina franca	0,032	0,026	0,021
Arena franca	0,016	0,013	0,011
Arena muy fina	0,055	0,047	0,037
Arena muy fina franca	0,058	0,050	0,040
Franco (grada)	0,050	0,045	0,038
Franco arcillolimoso	0,049	0,042	0,034
Franco arcilloso	0,037	0,033	0,028
Franco arcillosoarenoso	0,036	0,033	0,028
Franco arenoso	0,036	0,032	0,025
Franco arenoso fino	0,046	0,040	0,035
Franco arenoso muy fino	0,062	0,054	0,043
Limo	0,079	0,068	0,055
Limo Franco	0,063	0,055	0,043

Fuente: Kirkby and Morgan (1980)

Integración de Factores USLE en QGIS

Con herramientas y complementos del software QGIS 3.18.3 (QGIS Development Team, 2018) se realizó la integración de los factores de la ecuación USLE, destacándose procesos de interpolación e intercepción de mapas. Partiendo del mde, ortofotos y ficheros vectoriales con extensión *.shp se generan los mapas de los factores K, LS, R, CP y A, que son los componentes de la ecuación USLE, donde A es el resultado de la multiplicación ráster de los factores K, LS, R y CP.

Análisis de Resultados y Discusión

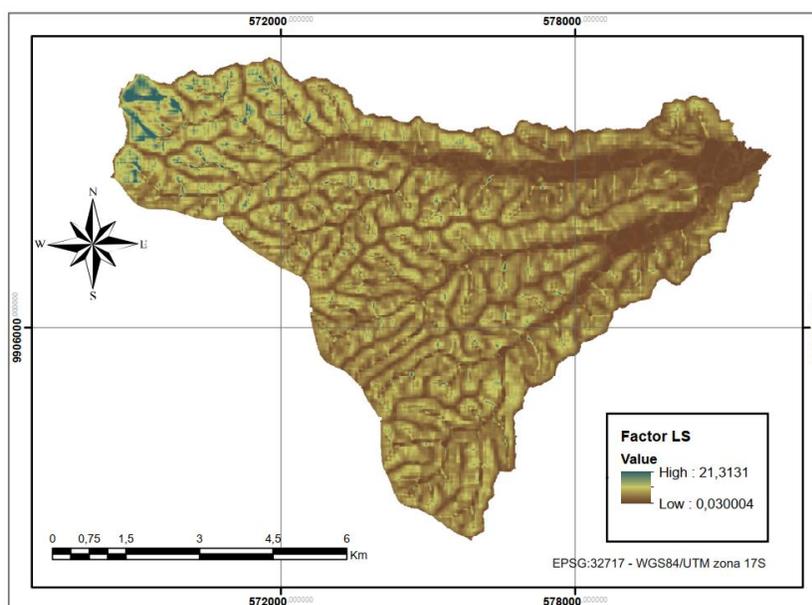
Resultados

Los resultados de este estudio son producto del procesamiento de los datos recolectados en el software QGIS, presentados a manera de mapas que muestran los diferentes factores que intervienen en la Ecuación universal de la pérdida de suelo.

Mapa de Factor LS

El mapa con valores de factor LS véase en Figura 2, que representa el potencial de erosión del agua topográfica laminar, tiene valores entre 0.030 y 21.3131, con predominio del valor 0.030 en las zonas de menor pendiente en su mayoría llanura de la cuenca. Encontrándose en un rango moderado según la Tabla 1.

Figura 2. Mapa del Factor LS



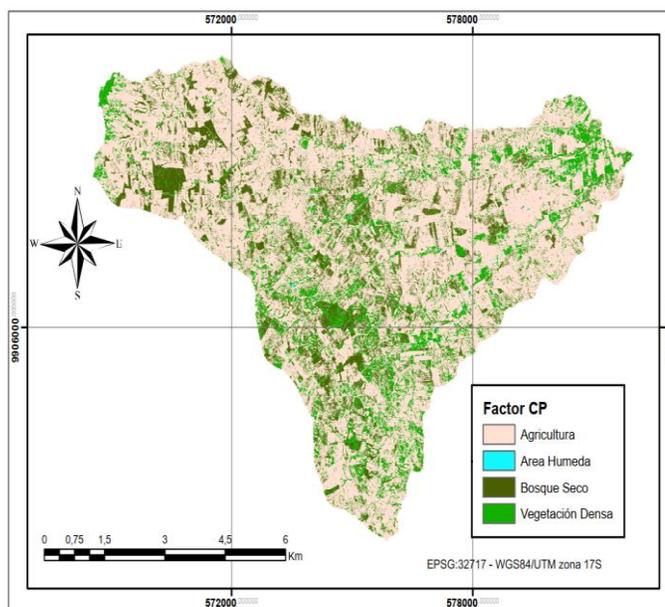
Fuente: Elaboración propia

Mapa Factor CP

La Figura 3 muestra el mapa de uso de suelo, cobertura vegetal y práctica de conservación, en la que se presentan 4 clases de cobertura para la cuenca del área de estudio. La Tabla 2 muestra los valores en área y en porcentaje de cada clase. Se presenta un mayor porcentaje de cobertura en el área destinada para la agricultura siendo esta de un 70% del área total de la cuenca.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Figura 3. Mapa del Factor CP



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Área y porcentaje de cobertura

Descripción	Área (Ha)	%
Área Húmeda	7,09	0,1%
Bosque Seco	925,51	15,3%
Vegetación Densa	885,92	14,6%
Agricultura	4240,30	70,0%
Total	6058,82	100,0%

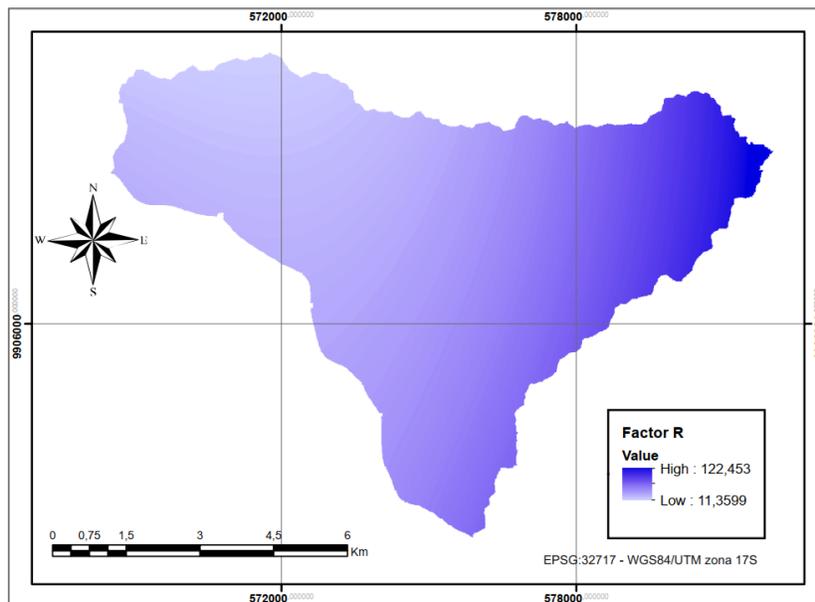
Fuente: Elaboración propia

Mapa Factor R

Analizando la erosividad pluvial de la cuenca estudiada, los valores máximos y mínimos para el área de estudio son 122,453 y 11.3599 MJ.mm/ha.h.año (Figura 4), respectivamente. De acuerdo a la clasificación resultado de la tabla del factor R de Antonio et al. (2017), se puede concluir en base a la Tabla 4, que gran parte del área de estudio se encuentra en un estado de erosividad bajo, con valores de R menores a 50, siendo los valores más altos presentados a lo largo de toda el área de estudio.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Figura 4. Mapa del Factor R

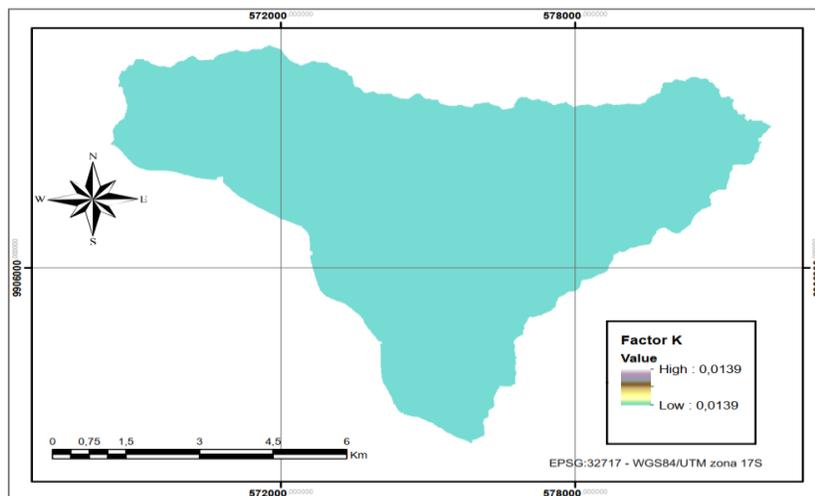


Fuente: Elaboración propia

Mapa Factor K

Los valores del factor K resultan del recorte del ráster generado por el mapa digital de los suelos del mundo desarrollado por la FAO (2007), el que bajo la escala presentada caracteriza el área de estudio de manera homogénea con un valor de 0.0139 ton.h/MJ.mm conociendo que el suelo predominante en la zona tiene alta influencia de arcilla en su composición.

Figura 5. Mapa del Factor K



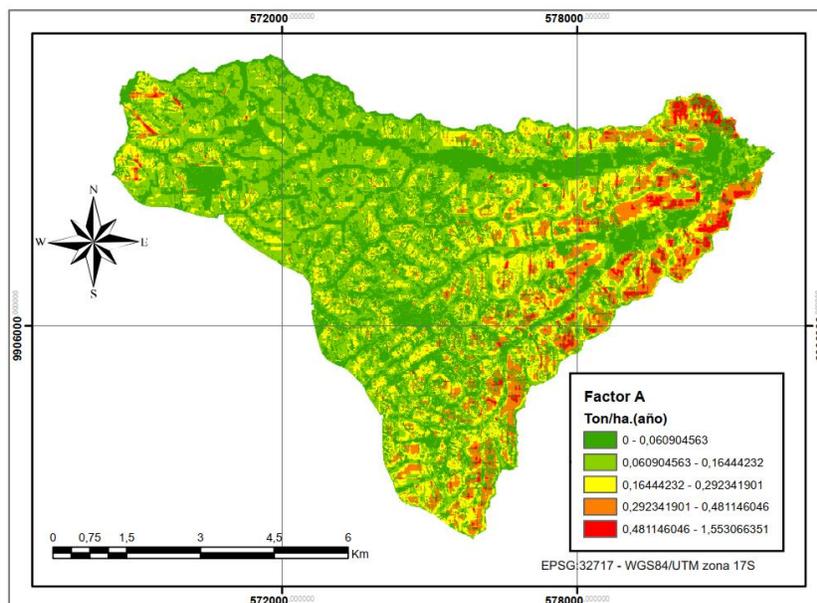
Fuente: Elaboración propia

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

Mapa de Erosión o Factor A

El resultado final obtenido del cálculo de la aplicación USLE se puede visualizar con en el mapa de pérdida de suelo - factor A, en Ton/ha.año (Figura 6). Donde se aprecian erosiones máximas que rondan las 1.5 Ton/ha.año, que en base a la Tabla se encuentra en una categoría entre nula o moderada.

Figura 6. Mapa del Factor A



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Categorías de pérdidas de suelos

Perdida de suelo	Categoría
< 15	Nula o
15 – 50	Media
50 – 120	Media Fuerte
120 – 200	Fuerte
> 200	Muy Fuerte

Fuente: Barbosa et al. (2015)

Discusión

Las cárcavas son productos de los procesos erosivos, a estos procesos se los considera un efecto adverso para el desarrollo de las regiones, ya que de su proliferación se incide directamente en la calidad del suelo, si bien es cierto que los valores que se muestran como resultados presentan una tasa de erosividad que se encuentra entre rangos nulos o moderados con pérdidas de suelo anuales por

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

hectárea que rondan las 1.5 Toneladas, es importante mencionar que las áreas de mayor afectación mostradas en el mapa de erosión coinciden con las de mayor afectación por cárcavas.

La necesidad de formular propuestas que coadyuven en la minimización del riesgo en las zonas rurales, impacta directamente en el desarrollo endógeno de determinada localidad. Por ello se delinearán una serie de aspectos a abordar para el control y manejo de cárcavas, en búsqueda de establecer un plan de acción ante estos agentes en función a criterios de Carrasco and Riquelme (2013):

- **Alisar físicamente la cárcava**, la primera medida que se debe realizar para la recuperación de una cárcava menor, tiene por objeto evitar el acceso al área tratada, de animales ovinos y bovinos cuya presencia pudiera resultar contraproducente para los fines perseguidos, en particular para el material vegetal que se introduzca.
- **Trazado de un surco o canal de desviación de aguas lluvia**, la segunda medida que se debe realizar para la recuperación de una cárcava menor, es el trazado de un surco de desviación de aguas lluvias, el que se sitúa en la parte superior de una cárcava, para desviar el curso del agua causante de la erosión hacia otros desagües estabilizados, como quebradas o esteros. Debe quedar a una distancia de la cabecera de la cárcava, de al menos, tres veces superior a su profundidad.
- **Peinado de los bordes de la cárcava**, consiste en eliminar el suelo ubicado en el borde o taludes de la cárcava. Cuando ya presentan un efecto erosivo, tanto en el interior como en el borde de ella, la estabilidad estructural del suelo se presenta muy baja y sin cohesión, por lo cual, cualquier especie vegetal que se pretenda establecer será arrastrada junto con el suelo al continuar los procesos erosivos.
- **Replamamiento de las laderas de la cárcava**, consiste en sembrar alguna forrajera perenne, plantar arbustos y árboles que desarrollen un sistema denso de raíces, favoreciendo el crecimiento de la vegetación herbácea y arbustiva propia del lugar, es una medida importante para evitar que las cárcavas sigan desarrollándose en sus bordes. Esto debe hacerse partiendo con especies herbáceas, seguido de arbustos, para finalmente terminar con especies arbóreas, El replamamiento con vegetación, se hace tanto en los bordes como en los terrenos aguas arriba de la cárcava.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

- **Repoblamiento del interior de la cárcava**, el repoblamiento del interior de la cárcava se debe hacer con especies arbustivas y arbóreas. Para ello, lo recomendable es utilizar especies de crecimiento rápido, con sistemas radiculares fasciculados, y no de crecimiento pivotante.
- **Construcción de barreras físicas al interior de la cárcava**, la estabilización de la cárcava puede lograrse, además, con la construcción de barreras físicas, sean estos diques de piedra, o bien de madera, tipo lampazos de pino, en sentido transversal o perpendicular a la misma. El uso de piedras dentro de la cárcava, es favorable en suelos muy pedregosos.

Con la intención de calibrar el modelo y obtener mejores resultados, se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

- Se requiere la comprobación de las variables del método USLE., para realizar simulaciones en sistemas de información geográfica, que incrementen la confiabilidad de los resultados, para una correcta toma de decisiones en cuanto a las medidas a implementar para el control de las cárcavas.
- Se puede mejorar la precisión en la estimación de formación de cárcavas realizando un sondeo en el área de estudio, permitiendo conocer las características no solo de la cobertura superficial del suelo, sino también de información a diferentes niveles de profundidad, esto permitiría la aplicación de la Ecuación universal de la pérdida de suelo en los diferentes estratos que se presenten en el área de estudio proporcionando así una información más acertada.
- Cerca del área de estudio existe pocas estaciones meteorológicas, lo que repercute en el cálculo del factor R, el área de estudio cuenta con un área 60.58 km² la cual es bastante pequeña considerando la escala del factor R y la proximidad de las estaciones pluviométricas con mayor aportación de datos, por tanto, los resultados indican riesgos de amenazas por precipitación media anual moderados, teniéndose que hacer seguimiento a los niveles de precipitaciones.
- El control y manejo de las cárcavas, supone incrementar los niveles de precisión en los datos relacionados a erosividad y erodabilidad para establecer acciones efectivas en pro de la búsqueda de soluciones, las cárcavas que se presentan en la cuenca de estudio aún se encuentran en un estado tratable siendo estas de escalas pequeñas en consideración a las que si representa un problema a nivel mundial.

Conclusión

Por medio de geoprocesos en QGIS e información espacial y de atributos de carácter climática, topográfica y de suelo se obtienen mapas categorizados de las variables R, K, LS, CP presentes en la ecuación USLE para la cuenca objeto del estudio, pudiéndose concluir que para la erosividad de lluvia (R) predomina la categoría baja, para la erodabilidad del suelo (K) predomina la textura arcillosa, para el factor topográfico (LS) predomina la categoría baja y para el factor de cobertura vegetal (CP) predomina el área de la agricultura, con un 70% de cobertura.

Partiendo de los mapas categorizados de las variables R, K, LS, CP, se obtiene el mapa del factor A que corresponde con la pérdida de suelo anual por hectáreas, expresada en ton/ha.año, por cuanto se obtienen las zonas más proclives a la formación de cárcavas y esto es muy útil por cuanto también se brindan medidas para atenuar o frenar su desarrollo y permite implementar buenas prácticas agrícolas, garantizando el manejo sustentable de los suelos.

El resultado de la aplicación del modelo USLE indica que en la cuenca de estudio existe erosión por acción hídrica, pudiéndose categorizar en valores de nula o moderada, llegando a obtenerse valores máximos de 1,55 Ton/ha.año, valor que puede considerarse bajo pero que sin embargo requiere de atención, más aun en casos de terrenos en los que es muy frecuente la práctica agrícola y además que presentan fuertes pendientes, por lo tanto es vital tener identificadas de forma espacial las zonas más vulnerables de la cuenca ante este problema de erosión.

El principio de restauración de las cárcavas presente en el área de estudio, debe basarse en el uso de la vegetación nativa e introducida, y con el involucramiento de usuarios de las tierras e instituciones gubernamentales. La manera más acertada de tratar las cárcavas dentro del área de estudio es la revegetación, tomando en consideración las propuestas del presente trabajo, que a su vez son sistemas que permiten la recuperación y saneamiento de cárcavas menores con una inversión menor que puede darse incluso de manera informal por parte de la comunidad o propietarios de terrenos afectados.

Referencias

1. Andrade Quintuña, I. M. (2019). Análisis de vulnerabilidades y riesgos, tres casos de estudio de viviendas patrimoniales, aplicando el estudio de Impactos Ambientales en el Austro del Ecuador.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

2. Antonio, F. C. C., Sinichenko, E. K., & Gritsuk, I. I. (2017). Evaluación de la posible erosión hídrica de la demarcación hidrográfica de Manabí (Ecuador). 18(2).
3. Barbosa, A. F., de Oliveira, E. F., Mito, C. L., & Paranhos Filho, A. C. J. A. d. I. d. G. (2015). The Application of the Universal Soil Loss Equation by Using Free and Available Softwares. 38(1), 170-179.
4. Bocero, S. L. (2002). Cultivos protegidos y problemas ambientales: un estudio de la horticultura marplatense en la década del noventa. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales; Universidad Nacional de Mar ...,
5. Carrasco, J. (2019). Conservación de suelos y agua: control y manejo de cárcavas menores.
6. Carrasco, J., & Riquelme, J. J. I. I. R. (2013). Técnicas de conservación de suelos y agua: control y manejo de cárcavas menores.
7. Cueva Alanguía, P. E. (2018). Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la pérdida de suelo por Erosion Hidrica en Carcava en la Microcuenca Sonocco Juli–Puno.
8. Da Costa Ribeiro, A. (2018). Análisis de erosión hídrica de suelos: avance de cárcavas en olivares.
9. Domínguez Carmona, A. (2021). Prevención y restauración de cárcavas asociadas a infraestructuras viarias en la provincia de Jaén mediante actuaciones de soft-engineering.
10. Fajardo Zaruma, J. M. (2010). Impacto causado en la fertilidad del suelo por aplicación de prácticas agrícolas en los terrenos de la cooperativa Jesús Obrero en el cantón Cañar. Año 2010. Quevedo: UTEQ,
11. FAO. (2007). Mapa digital de los suelos del mundo. Retrieved from <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search?id=14116>
12. Flores, T. J. (2019). Tierra y sociedad: La apropiación del suelo en la región de Chalco durante los siglos XV-XII: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
13. Gómez, C. L., Rodríguez, G., Ávila, M. M., Carmen, M., Calvo, S., & Marina, A. (2012). Clima Ecuatorial.
14. INAHMI. (2021). Escala de categorización Factor R
15. Karasiak, N. (2016). Dzetsaka Qgis Classification plugin. Retrieved from <https://github.com/nkarasiak/dzetsaka>
16. Kirkby, M. J., & Morgan, R. P. C. (1980). Soil erosion.

Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí

17. Nuñez Ravelo, F. A. J. I. g. (2017). Geomorfología y sedimentología del sistema de cárcavas en el borde costero al suroeste del Castillo de Araya, Estado Sucre, Venezuela. (92), 0-0.
18. Padilla Jiménez, L. C. (2020). Evaluación de los procesos que controlan la progradación de la barrera costera de las playas del Parque Nacional Natural Tayrona. Corporación Universidad de la Costa,
19. Peñafiel, N. T., López, P. E. F., & Alemán, A. A. J. E. y. D. (2017). Balance de la economía popular y solidaria en Ecuador. 158(1), 180-196.
- QGIS Development Team. (2018). QuantumGIS 3.18.3. Recuperado de: <https://qgis.org/es/site/forusers/download.html>.
20. Ramírez, R. G., Wilson, M. G., Marizza, M. S., & Gabioud, E. (2017). Utilización de SIG para la aplicación del modelo MUSLE en la estimación de la producción de sedimentos en Aldea Santa María, Entre Ríos. Paper presented at the IX Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2017)-JAIIO 46-CLEI 43 (Córdoba, 2017).
21. Segredo Díaz, M. d. I. C. (2018). Impactos del manejo integrado del suelo en condiciones de un polígono demostrativo. Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ciencias.
22. Silenzi, J. C., Echeverría, N. E., Bouza, M. E., & De Lucía, M. P. (2011). Degradación de suelos del SO Bonaerense y su recuperación. Paper presented at the Jornada sobre "Evolución y Futuro del Desarrollo de Producciones Agrícola-Ganaderas en el SO Bonaerense"(24 de noviembre de 2011, Bahía Blanca, Argentina).
23. Thapa, P. (2020). Spatial estimation of soil erosion using RUSLE modeling: a case study of Dolakha district, Nepal. 9(1), 1-10.
24. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning: Department of Agriculture, Science and Education Administration.
25. Yang, H., Zhang, B., Liu, H., Deng, Q., & Fang, H. J. P. G. (2019). Morphology and controlling factors of step-pools in rills based on field investigation in the Yuanmou Dry-hot Valley, China. 40(3), 252-274.

©2021 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).