
Estimación del factor de erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad Juliaca - Perú

Estimation of the erosivity factor of rainfall in the Juliaca-Peru locality

Wile Mamani Navarro
wmamani@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-7557-2025>

Lourdes Mamani Puma
l.mamanip@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-0177-3123>

Yoni Narvaez Ttito
y.narvaezt@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4366-3851>

Yanet Melissa Menacho Valeriano
yn.menachov@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-6730-4717>

Myriam Gyanela Quispe Cañapataña
mg.quispec@unaj.edu.pe - Universidad Nacional de Juliaca, Perú

Recibido el 10/07/21 | Aceptado el 02/08/21
DOI: <https://doi.org/10.47190/nric.v3i3.3>

Resumen

La erosión del suelo a causa de las precipitaciones pluviales se ha convertido en una de las mayores amenazas para el sistema humano-medioambiental, por lo tanto, la presente investigación busca estimar la erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad de Juliaca. Por lo tanto, la metodología utilizada consta de obtener información pluviográfica del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) para los años de 2013 a 2017 de la Estación Meteorológica Automática (EMA) Juliaca, Sin embargo, se ha utilizado la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE) para determinar el factor de la erosividad pluvial (R) en la zona de estudio, así mismo se ha analizado la tendencia temporal de la erosividad. El resultado del factor de la erosividad pluvial oscilo entre 100.78 y 6928.59 MJ.mm/ha.h.año durante el periodo estudiado para precipitaciones de 13.4 y 216.5 mm, respectivamente; además, el análisis de tendencia temporal de la erosividad pluvial reveló una tendencia significativa decreciente, con un valor "Zs" del test de Mann-Kendall de -1.76 menor al valor "Q" de 1.96. Finalmente, se concluye que la erosividad pluvial en la zona de estudio se encuentra en un rango muy alto y tiene una tendencia de disminución conforme transcurre el tiempo.

Palabras claves: *Erosividad, precipitación pluvial, USLE.*

Abstract

Soil erosion due to rainfall has become one of the greatest threats to the human-environmental system, therefore, this research seeks to estimate the erosivity of rainfall in the town of Juliaca. Therefore, the methodology used consists of obtaining pluviographic information from the National Meteorology and Hydrology Service (SENAMHI) for the years 2013 to 2017 from the Automatic Meteorological Station (EMA) Juliaca, However, the universal loss equation has been used of soils (USLE) to determine the factor of pluvial erosivity (R) in the study area, likewise the temporal trend of erosivity has been analyzed. The result of the pluvial erosivity factor ranged between 100.78 and 6928.59 MJ.mm/ha.h.year during the period studied for rainfall of 13.4 and 216.5 mm, respectively; Furthermore, the analysis of the temporal trend of the pluvial erosivity revealed a significant decreasing trend, with a "ZS" value of the Mann-Kendall test of -1.76 lower than the "Q" value of 1.96. Finally, it is concluded that the pluvial erosivity in the study area is in a very high range and has a decreasing trend as time passes.

Keywords: *Erosivity, rainfall, USLE.*

Como citar: Mamani-Navarro, W., Mamani-Puma, L., Narvaez-Ttito, Y., Menacho-Valeriano, Y.M. & Quispe-Cañapataña, M.G. (2021). Estimación del factor de erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad Juliaca- Perú. ÑAWPARISUN – Revista de Investigación Científica de Ingenierías, 3(3), 23-29.

Introducción

La pérdida del suelo por efectos de la erosión es un problema a nivel mundial que amenaza con el desarrollo de la agricultura sostenible, el agua y el suelo son recursos naturales importantes para el desarrollo agrícola (Zhang et al., 2021), más de 75 mil millones de toneladas de suelo fértil anualmente se han perdido, debido a la principal causa de la erosión hídrica del suelo, la contaminación del suelo, la salinización, la compactación del suelo, la acidificación y la desertificación (Phinzi, Abriha, Bertalan, Holb, & Szabó, 2020). La erosión del suelo se encadena por una serie de factores naturales y antropogénicos, como la precipitación, la topografía, el uso adecuado del suelo y la cobertura vegetal (Prado, Rivera, de León, Carrillo, & Martínez, 2017), el suelo es un recurso natural valioso que presta diversos servicios ecosistémicos o ambientales entre ellos está muy relacionado con la erosión y con la incidencia de la precipitación, que ha originado impactos ecológicos en la producción agrícola, en consecuencia la amenaza de la seguridad alimentaria y el desarrollo sustentable (Hu et al., 2019).

La erosividad en términos generales es el potencial de la lluvia en causar la erosión hídrica se define como el proceso de separación, transporte y disposición del suelo por agentes erosivos que afecta negativamente la conservación del agua y suelo (Zhu, Xiong, & Xiao, 2021). Los agentes erosivos dinámicos como el aire o el agua se denomina erosión del suelo el cual tiene efecto a través del impacto las gotas de lluvia y el efecto de flujo origina el desprendimiento de partículas más finas y reactivas del suelo; arcilla y materia orgánica y dejando las partículas más pesadas y menos reactivas (Condori, Alfaro, & Mamani, 2019), además, causa riesgo de inundaciones, que provocan el agotamiento de la fertilidad del suelo, la pérdida de nutrientes, que afecta directamente la producción agrícola y la cobertura vegetal (Zhao, Yang, & Govers, 2019), las consecuencias de la erosión se intensifican más por los impactos inducidos por el hombre, como la deforestación extensa, el pastoreo excesivo, la intensificación agrícola y el crecimiento de la población (Haregeweyn et al., 2017).

Hoy en día, se necesitan con urgencia herramientas no solo para mapear el estado real de la erosión del suelo, sino también para probar la influencia de las estrategias de mitigación, así como las prácticas de gestión o conservación de futuros escenarios de cambio climático (Tan, Leung, Li, & Tesfa, 2018), el monitoreo de la erosión del suelo es una herramienta esencial para cualquier tipo de planes de conservación de suelos, se han desarrollado y aplicado varios modelos para estimar e interpretar los mecanismos erosivos en todo el mundo (Wischmeier & Smith, 1978). Los investigadores y académicos han estado modelando la erosión del suelo durante décadas, con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), y su versión revisada, denominada (RUSLE) considera uno de los modelos empíricos más aplicados para estimar la erosión hídrica del suelo (Karydas & Panagos, 2018).

Es muy necesario implementar planes de gestión y conservación del suelo con el fin de mejorar, estas problemáticas generadas por la constante

degradación de los suelos que provoca la baja producción de los cultivos, el deterioro del medio ambiente, especialmente afluentes de agua y vegetación, además lleva a los pobladores a la pobreza, migración y deterioro social (Singh & Panda, 2017). Por tanto, ha sido necesario cumplir con el objetivo de estimar el factor de erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad Juliaca. La localidad de Juliaca, que se caracteriza por presentar precipitaciones agresivas en determinados meses del año creando así condiciones muy favorables para la degradación del suelo. Asimismo, esta información verídica será de gran ayuda para elaborar otras investigaciones futuras con el fin de mitigar e implementar medidas de control el cual permitirá revertir la tendencia de degradación y pérdida de los suelos.

Materiales y métodos

Ubicación y base de datos

Los datos se obtuvieron de la base de datos pluviográficos registradas entre julio del 2013 y junio del 2017 por la estación EMA Juliaca ubicada en el distrito de Juliaca, provincia de San Román del departamento de Puno, entre las coordenadas 15° 28' 15.8" de latitud 70° 10' 16.4" de longitud y 3826 m.s.n.m. de altura.

Tabla 1
Datos pluviográficos de la estación EMA Juliaca

Año	Meses	N° de datos por hora
2013	19 junio – 31 diciembre	3976
2014	1 enero – 31 diciembre	8761
2015	1 de enero – 31 de diciembre	8760
2016	1 de enero – 31 de diciembre	8790
2017	1 de enero – 17 de mayo	3273
N° total de datos		33560

Fuente: (SENAMHI, 2017)

Modelo para la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos fue propuesta para calcular la erosión laminar y en canalillos (Domingo & Portuguez, 2015; Panagos et al., 2017; Prado et al., 2017; Singh & Panda, 2017; Wischmeier & Smith, 1978) y está definida como:

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

Dónde: A: tasa de erosión anual por unidad de área (tn/ha.año), R: índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h), K: es el factor erodabilidad del suelo (tn.ha.h/ha.MJ.mm), L: es el factor de la longitud de pendiente, S: es la pendiente, C: es el factor de cultivo y P: es el factor prácticas de manejo.

El factor R no puede ser modificado, K depende de la textura de los suelos, sólo C, P y LS pueden ser cambiados (Domingo & Portuguez, 2015).

Cálculo del Factor R

El factor R representa la capacidad potencial que tienen las gotas de agua de lluvia para causar la erosión y se calculó; mediante el índice EI_{30} (Blanco Chávez, 2019; Prado et al., 2017; Singh & Panda, 2017; Wischmeier & Smith, 1978).

$$R = \sum(EI_{30}) \quad (2)$$

Dónde: E es la energía cinética de la lluvia (MJ/ ha. mm), I_{30} es la intensidad máxima de la lluvia en periodo de 30 min (mm/h).

Para el cálculo de R se descartó los datos de precipitaciones menores a 12.7 mm en un intervalo de 6 horas con excepción de aquellos que tuvieron una intensidad de 24 mm/h en 15 min (Bautista, 2015; Universidad de Almería, 2014; Wischmeier & Smith, 1978).

Para cada factor de precipitación la energía cinética se calculó con la siguiente ecuación:

$$E_i = 1.213 + 0.89 * \log(I) \quad (3)$$

Dónde:

E = Energía Cinética de la lluvia (kg m/m² mm)

I = Intensidad de la Precipitación (mm/hora)

El cálculo de la energía total para cada intervalo se calcula mediante la siguiente ecuación (Cisneros, 2018; Universidad de Almería, 2014; Wischmeier & Smith, 1978).

$$E_i = e * ppi \quad (4)$$

Dónde:

E_i = Energía total de cada intervalo.

Ppi = total de milímetros de lluvia caídos en el intervalo considerado.

$$E = \sum(E_i) \quad (5)$$

Mediante la suma de las energías calculadas para cada intervalo llegamos al cálculo de la energía total en MJ/ha (Cisneros, 2018; Wischmeier & Smith, 1978)

Resultados y discusión

Análisis de las precipitaciones acumuladas

Los datos registrados por la estación EMA Juliaca durante junio del 2013 a mayo del 2017 fueron de 33560 datos de precipitación, los cuales se sometieron a la determinación del umbral de lluvia erosiva, el cual es un requisito previo para la estimación de la erosividad; se consideró una precipitación de 12.7 mm en el lapso 6 horas como el punto de ruptura de la lluvia para la erosión del suelo, valores similares reporta Zhu, Xiong, & Xiao, (2021), que considera una precipitación diaria de 12.7 mm.

Luego de condicionar los datos de precipitación con el umbral de lluvia erosiva, se han obtenido 29 datos de precipitación acumulada mostrados en la tabla 2, que cumplen la condición del punto de ruptura de la lluvia para la erosión del suelo, sin embargo, para realizar un análisis descriptivo de las medidas de tendencia central para las precipitaciones acumuladas previamente se realizó un análisis de puntuación típica (Z_1 , Z_2) en la tabla 2, se puede evidenciar que las precipitaciones de 8636.90 mm y 235.30 mm son valores que se encuentran fuera del máximo y mínimo ya que en el análisis de puntuación típica obtuvieron resultados fuera del rango de -3 y 3, por tanto para evitar errores en el análisis de datos se procedieron a eliminar los valores atípicos.

Tabla 2
Análisis de puntuación típica de las precipitaciones acumuladas

Fecha (día/mes/año)	Precipitación acumulada (mm)	Z_1	Precipitación analizada (mm)	Z_2	Precipitación parcial (mm)
29/12/2013	13.40	-0.20	13.40	-0.30	13.40
15/01/2014	12.80	-0.20	12.80	-0.31	12.80
16/01/2014	18.70	-0.19	18.70	-0.17	18.70
22/01/2014	29.30	-0.19	29.30	0.09	29.30
29/01/2014	18.50	-0.19	18.50	-0.17	18.50
30/01/2014	30.60	-0.19	30.60	0.12	30.60
17/03/2014	18.20	-0.19	18.20	-0.18	18.20
26/03/2014	15.30	-0.20	15.30	-0.25	15.30
27/03/2014	17.80	-0.19	17.80	-0.19	17.80
28/09/2014	20.10	-0.19	20.10	-0.13	20.10
03/10/2014	21.40	-0.19	21.40	-0.10	21.40
18/12/2014	13.80	-0.20	13.80	-0.29	13.80
04/03/2015	13.90	-0.20	13.90	-0.29	13.90
07/03/2015	16.40	-0.19	16.40	-0.23	16.40
08/04/2015	19.30	-0.19	19.30	-0.15	19.30
20/04/2015	15.60	-0.20	15.60	-0.25	15.60
25/04/2015	14.80	-0.20	14.80	-0.26	14.80
26/04/2015	14.50	-0.20	14.50	-0.27	14.50
25/12/2015	18.50	-0.19	18.50	-0.17	18.50
07/01/2016	12.80	-0.20	12.80	-0.31	12.80
16/02/2016	16.20	-0.19	16.20	-0.23	16.20
24/02/2016	16.30	-0.19	16.30	-0.23	16.30
25/02/2016	13.00	-0.20	13.00	-0.31	13.00
14/06/2016	235.30	-0.06	235.30	5.16	Atípico
8/12/2016	15.50	-0.20	15.50	-0.25	15.50
24/01/2017	19.40	-0.19	19.40	-0.15	19.40
26/01/2017	13.10	-0.20	13.10	-0.31	13.10
15/03/2017	31.50	-0.19	31.50	0.15	31.50
18/03/2017	8636.90	5.29	Atípico	Atípico	Atípico

En la tabla 2, se evidenció 27 datos de precipitación acumulada válidos para el análisis de medidas de tendencia central, de los cuales se tiene que la desviación de las precipitaciones en la ciudad de Juliaca respecto a la media de 17.804 mm es de 5.18 este valor demostró su amplia variabilidad en los datos, con una mediana de 16.30 mm y se obtuvo 2 datos de moda de 12.80 mm y 18.50 mm según los mismos se muestran en la tabla 3. Así mismo, la precipitación media anual varió de 13.40 a 216.50 mm, este valor es inferior a lo estudiado por Zhang et al., (2021), donde evidenció que la precipitación media anual regional varían de 315.00 a 807.30 mm, lo que muestra precipitaciones bajas en la ciudad de Juliaca en comparación con la cuenca del río Wei de China.

Tabla 3
Análisis de medidas de tendencia central

Variable	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Mediana	Máximo	Moda	N para moda
Precipitación parcial	17.804	5.180	12.800	16.300	31.500	12.8; 18.5	2

En la figura 1, se muestra el histograma de frecuencias con curva normal para las precipitaciones acumuladas, los datos presentan sesgo positivo donde las precipitaciones con mayor frecuencia son menores a la media, indicando así la alta variabilidad de los datos ya que las frecuencias mayores no se encuentran centradas.

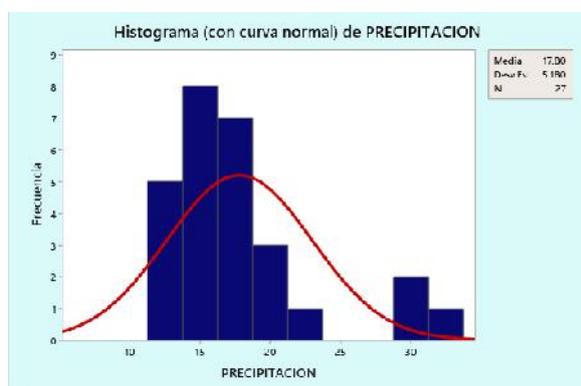


Figura 1. Histograma de precipitaciones acumuladas con curva normal

Determinación de la erosividad pluvial

La erosividad pluvial fue determinado mediante la ecuación 2, a partir de las precipitaciones parciales, donde se tiene que la erosividad para el año 2013, 2014, 2015, 2016 y 2017 fueron de 100.78, 6928.59, 1945.78, 1504.90 y 1396.67 MJ.mm/ha.h.año respectivamente (Tabla 4). Sin embargo, para el año 2013 se consideraron los datos de precipitación a partir del mes de junio y para el año 2017 se consideraron datos hasta el mes de mayo.

Tabla 4
Determinación de la erosividad pluvial anual

Fecha (d/m/a)	Precipitación parcial (mm)	Intensidad (mm/hora)	Energía cinética (J/m ² .mm)	Energía total (MJ/ha)	Energía total/año (MJ/ha.h)	Precipitación Max/hora (mm)	Erosividad (MJ.mm/ha.h.año)
29/12/2013	13.40	2.23	1.93	25.84	25.84	3.90	100.78
15/01/2014	12.80	2.13	1.89	24.16			
16/01/2014	18.70	3.12	2.22	41.60			
22/01/2014	29.30	4.88	2.62	76.89			
29/01/2014	18.50	3.08	2.22	40.98			
30/01/2014	30.60	5.10	2.66	81.49			
17/03/2014	18.20	3.03	2.20	40.05	498.46	13.90	6928.59
26/03/2014	15.30	2.55	2.05	31.31			
27/03/2014	17.80	2.97	2.18	38.82			
28/09/2014	20.10	3.35	2.29	46.01			
03/10/2014	21.40	3.57	2.34	50.18			
18/12/2014	13.80	2.30	1.95	26.97			
04/03/2015	13.90	2.32	1.96	27.25			
07/03/2015	16.40	2.73	2.11	34.57			
08/04/2015	19.30	3.22	2.25	43.48			
20/04/2015	15.60	2.60	2.06	32.19	237.29	8.20	1945.78
25/04/2015	14.80	2.47	2.02	29.84			
26/04/2015	14.50	2.42	2.00	28.98			
25/12/2015	18.50	3.08	2.22	40.98			
07/01/2016	12.80	2.13	1.89	24.16			
16/02/2016	16.20	2.70	2.10	33.97			
24/02/2016	16.30	2.72	2.10	34.27	149	10.10	1504.90
25/02/2016	13.00	2.17	1.90	24.71			
08/12/2016	15.50	2.58	2.06	31.89			
24/01/2017	19.40	3.23	2.26	43.79			
26/01/2017	13.10	2.18	1.91	24.99	153.48	9.10	1396.67
15/03/2017	31.50	5.25	2.69	84.70			

La erosividad de las precipitaciones anuales promedio a largo plazo en la ciudad de Juliaca durante el período de 2013 a 2017 fue de 2375.34 MJ.mm/ha.h.año con un alto nivel de desviación estándar de 2358.21, a causa de la variabilidad climática en la zona de estudio. El mínimo de erosividad de lluvia fue de 100.78 MJ.mm/ha.h.año y se evidenció en el año 2013, mientras que la erosividad máxima de lluvia fue de 6928.59 MJ.mm/ha.h.año asimismo se verificó en el año 2014 el cual se reporta en la tabla 5.

Tabla 5
Análisis de medidas de tendencia central de la erosividad pluvial anual

Variable	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Erosividad	2375.34	2358.21	100.78	6928.59

En algunos estudios de la erosividad pluvial se obtienen valores diferentes del factor R, según estudios realizados por Zhu, Xiong, & Xiao, (2021) reporta que la erosividad pluvial anual promedio es de 5130.00 MJ.mm/ha.h.año en el sur de China durante los años de 1960 a 2017, además Talchabhadel, Prajapati, Aryal, & Maharjan, (2020) muestra que el factor R anual promedio durante los años de 1986 a 2015 en todo Nepal es de 9434.80 MJ.mm/ha.h.año con una desviación estándar de 5579.40, lo que se debe a las diferencias climatológicas de cada lugar.

El estudio de da Silva, Santos, da Costa Silva, Silva, & Brasil Neto, (2020) determina la erosividad para el período de 1963 a 1991 en la cuenca del embalse Epitácio Pessoa, Brasil, donde los resultados se encuentran dentro del rango de 93-1200 MJ.mm/ha.h.año, siendo el dato mínimo y máximo menor en un 8 y 82% respectivamente a lo obtenido en el presente estudio, evidenciando así la alta erosividad en la ciudad de Juliaca en comparación con Paraíba, Brasil. Así mismo Zhang et al., (2021) durante los años de 1969 a 2018 en la cuenca del río Wei de China obtienen que la erosividad media anual de las precipitaciones en los rangos de 751.40-2600.00 MJ.mm/ha.h.año donde la erosividad mínima es mayor en un 87% al nuestro, además el dato máximo es menor en un 62%, lo que nos indica variabilidad en las precipitaciones y climatología de ambos lugares.

En estudios del ámbito regional, Condori, Alfaro, & Mamani, (2019) indican que el factor de la erosividad de la precipitación en la microcuenca del río Chañajari en la provincia de Moho durante el periodo de 2008 a 2017, se encuentra en el rango de 146.80 a 170.30 MJ.mm/ha.h.año, datos que difieren con lo hallado para la ciudad de Juliaca y tienden a aproximarse a la erosividad mínima superándola en un 31 y 41%

respectivamente; por consiguiente se evidencia la alta erosividad del suelo que producen las precipitaciones pluviales en la ciudad Juliaca y su variabilidad climática con otros lugares pertenecientes a la misma región.

Análisis de tendencia temporal de la erosividad pluvial

La figura 2, muestra la distribución temporal de la erosividad pluvial promedio para cada año evaluado, los resultados manifiestan que los valores de erosividad fueron diferentes en cada año, por ejemplo en el año 2014 el factor R estuvo sobre el 58% de la erosividad producida en los cinco años de estudio debido a las altas precipitaciones registradas en el mismo, empero, en el año 2013 la erosividad es baja con menos del 1% debido a que solo un dato de precipitación pluvial cumplió con la condición de umbral de lluvia erosiva y las precipitaciones fueron relativamente bajas. Los resultados de este estudio revelaron que la erosividad en la ciudad de Juliaca fue alta debido a la intensidad y cantidad de lluvia; sin embargo, muchos eventos extremos ocurren en la zona que causan graves impactos al medio ambiente como la degradación de la tierra.



Figura 2. Variabilidad anual de la erosividad pluvial en la ciudad de Juliaca

Se realizó la estimación de la tendencia temporal para la erosividad presentado en la tabla 6, donde se muestra un valor "Zs" del test de Mann-Kendall de -1.76, resultado que es menor al valor de "valor Q" de 1.96; esto revela una tendencia significativa decreciente, demostrando que las precipitaciones pluviales en la ciudad de Juliaca en el transcurrir de los años reducirá su impacto en la erosividad del suelo, esto se debe a la reducción de la precipitaciones.

Tabla 6
Estimación de la tendencia temporal de la erosividad pluvial anual

Variable	Mann-Kendall (S)	Mann-Kendall (Zs)	Valor P	Valor Q	H ₀	Tendencia
Erosividad	-2.00	-1.76	0.05	1.96	Acepta	Significativa decreciente

En China, Zhang et al., (2021) obtienen una tendencia insignificante decreciente en la cuenca y llanura de Guanzhong, además en la meseta de Loess y las montañas Qinling en la cuenca sur muestran una tendencia significativa creciente, además, Chen, Xu, Wang, Chen, & Lai, (2020) reportan que la erosividad de la lluvia anual tiene una tendencia creciente significativa en la zona continental de china durante el periodo de 1960 a 2018. Para Nepal, Talchabhadel et al., (2020) reporta que las tendencias del factor R en la región occidental del país presentan significancia creciente. Así mismo, cabe resaltar que en la mayoría de los estudios se tiene tendencias significativas crecientes en comparación con nuestro estudio se presentan resultados contrarios.

Conclusiones

Los resultados de estudio de índice de erosividad en la ciudad de Juliaca fue de 2375.34 MJ.mm/ha.h.año considerando una precipitación media de 17.804 mm registrado en la estación EMA Juliaca. La estimación de la tendencia temporal para la erosividad mediante el test de Mann-Kendall mostraron una tendencia significativa decreciente, evidenciando que con el transcurrir de los años se reducirá el impacto de las precipitaciones en la erosión del suelo. Sin embargo, se recomienda aplicar prácticas de conservación de suelos que mitiguen los efectos de la erosión hídrica en la ciudad de Juliaca.

Referencias bibliográficas

- Bautista, C. (2015). Simulación de la Pérdida de Suelo de la parte alta y media de la microcuenca Quebrada Cune utilizando el modelo USLE, 164.
- Blanco Chávez, M. E. (2019). Factor erosividad de la lluvia en la subcuenca sur del lago Xolotlán, Managua. *Nexo Revista Científica*, 32(01), 41–51. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i01.7986>
- Chen, Y., Xu, M., Wang, Z., Chen, W., & Lai, C. (2020). Reexamination of the Xie model and spatiotemporal variability in rainfall erosivity in mainland China from 1960 to 2018. *Catena*, 195(March), 104837. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104837>
- Cisneros, J. (2018). *Erosión Hídrica. Biomass Chem Eng* (Vol. 3). Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Condori, V., Alfaro, R., & Mamani, J. (2019). Estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica en la microcuenca Chañajari, Moho – Puno. *Researchgate*, (September), 0–4. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/337144787_Estimación_de_la_pérdida_del_suelo_por_erosion_hidrica_en_la_microcuenca_Chanajari_Moho_-_Puno
- da Silva, R. M., Santos, C. A. G., da Costa Silva, J. F. C. B., Silva, A. M., & Brasil Neto, R. M. (2020). Spatial distribution and estimation of rainfall trends and erosivity in the Epitácio Pessoa reservoir catchment, Paraíba, Brazil. *Natural Hazards*, 102(3), 829–849. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03926-9>
- Domingo, M., & Portuquez, M. (2015). Estimación De La Pérdida De Suelos Por Erosión Hídrica En La Cuenca Del Río Sigwas Utilizando Geoinformática. *Anales Científicos*, 76(2), 324. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Poesen, J., Tsubo, M., Meshesha, D. T., Fenta, A. A., ... Adgo, E. (2017). Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: Case study of the Upper Blue Nile River. *Science of the Total Environment*, 574, 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.019>
- Hu, S., Li, L., Chen, L., Cheng, L., Yuan, L., Huang, X., & Zhang, T. (2019). Estimation of soil erosion in the Chaohu Lake Basin through modified soil erodibility combined with gravel content in the RUSLE model. *Water (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/w11091806>
- Karydas, C. G., & Panagos, P. (2018). The G2 erosion model: An algorithm for month-time step assessments. *Environmental Research*, 161(November 2017), 256–267. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.010>
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K. J., ... Ballabio, C. (2017). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>
- Phinzi, K., Abriha, D., Bertalan, L., Holb, I., & Szabó, S. (2020). Machine learning for gully feature extraction based on a pan-sharpened multispectral image: Multiclass vs. Binary approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), 5–8. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040252>
- Prado, J. V., Rivera, P., de León, B., Carrillo, M., & Martínez, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo usle y musle en una cuenca forestal de México: Caso el malacate. *Agrociencia*, 51(3), 265–284.
- Singh, G., & Panda, R. K. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kaggari watershed, India. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(3), 202–211. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006>
- Talchabhadel, R., Prajapati, R., Aryal, A., & Maharjan, M. (2020). Assessment of rainfall erosivity (R-factor) during 1986–2015 across Nepal: a step towards soil loss estimation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8239-9>
- Tan, Z., Leung, L. R., Li, H. Y., & Tesfa, T. (2018). Modeling Sediment Yield in Land Surface and Earth System Models: Model Comparison,

Development, and Evaluation. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 10(9), 2192–2213.
<https://doi.org/10.1029/2017MS001270>

Universidad de Almería. (2014). Estimación de la erosión potencial en la cuenca vertiente del río Moulouya aguas arriba de la presa Mohamed V. *Proyecto COOPTRUST*.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. Agriculture Handbook*. United States: Department of Agriculture. Retrieved from <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

Zhang, Y., Chao, Y., Fan, R., Ren, F., Qi, B., Ji, K., & Xu, B. (2021). Spatial-temporal trends of rainfall erosivity and its implication for sustainable agriculture in the Wei River Basin of China. *Agricultural Water Management*, 245(126), 106557.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106557>

Zhao, J., Yang, Z., & Govers, G. (2019). Soil and water conservation measures reduce soil and water losses in China but not down to background levels: Evidence from erosion plot data. *Geoderma*, 337(October 2018), 729–741.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.10.023>

Zhu, D., Xiong, K., & Xiao, H. (2021). Multi-time scale variability of rainfall erosivity and erosivity density in the karst region of southern China, 1960–2017. *Catena*, 197(September 2020), 104977.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104977>

