

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA DEL RIO DE RONTOCOCHA

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF SEDIMENT PRODUCTION IN THE RONTOCOCHA RIVER BASIN

Danny Saavedra Ore^{1,2}  Aderlee Gómez Achulli¹ 

¹Universidad Tecnológica de los Andes, Abancay - Perú

²Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú

Correspondencia:

Mg. Danny Saavedra Ore
dsaavedrao@utea.edu.pe

Como citar este artículo:

Saavedra, D., & Gómez, A. (2024). Evaluación de la producción de sedimentos en la cuenca del río de Rontoccocha. *Hatun Yachay Wasi*, 3 (1), 35 - 46. <https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.55>

RESUMEN

En los últimos años, el cambio climático se ha convertido en la principal causa que viene afectando en gran medida la calidad de vida y la economía de muchas familias a nivel mundial. A fin de contrarrestar estos efectos en el Perú, se han implementado los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos-MERESE, herramientas para invertir recursos económicos en la recuperación y conservación de ecosistemas en las zonas de recarga hídrica de las fuentes que administra las Empresas Prestadoras de Servicio. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar los impactos de la producción de sedimentos, producto de la implementación del MERESE liderado por la EPS EMUSAP ABANCAY S.A. Se consideró como área de estudio la unidad hidrográfica del río de Rontoccocha y metodología RUSLE. Se calculó la producción de sedimentos y se identificaron las zonas con alta producción de sedimentos. Se encontró que el valor más elevado de producción de sedimentos se da en las áreas con alta pendiente y poca vegetación.

Palabra clave: sedimento, metodología RUSLE, servicios ecosistémicos.

ABSTRACT

In recent years, climate change has become the main cause that has greatly affected the quality of life and the economy of many families worldwide. In order to counteract these effects in Peru, the Retribution Mechanisms for Ecosystem Services-MERESE have been implemented, tools to invest economic resources in the recovery and conservation of ecosystems in the water recharge areas of the sources managed by Service Provider Companies. The aim of this research was to evaluate the impacts of sediment production, product of the implementation of the MERESE led by the EPS EMUSAP ABANCAY S.A. The hydrographic unit of the Rontoccocha river and the RUSLE methodology were considered as the study area. Sediment production was calculated and areas with high sediment production were identified. It was found that the highest value of sediment production



occurs in areas with high slopes and little vegetation.

Keywords: sediment, RUSLE methodology, ecosystem services

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, en los últimos años se ha convertido en la principal causa que viene afectando en gran medida la calidad de vida de muchas familias en el mundo. A fin de contrarrestar estos efectos, en varios países del mundo se están implementando el pago por Servicios Ecosistémicos – PSE (Grima et al., 2016; Immerzeel et al., 2008; Lopes et al., 2020; Perevochtchikova et al., 2021; Scullion et al., 2011), llevándolo a convertirse uno de los instrumentos de políticas públicas más promovidas y populares (Derissen & Latacz, 2013; Perevochtchikova et al., 2021). En el Perú alineado a este mismo objetivo, se ha implementado los Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos – MERESE (D.S. N°009-2016-MINAM, 2016), que ha sido definido como esquemas y herramientas para invertir en la recuperación y conservación de ecosistemas en las fuentes de agua de las empresas prestadoras de servicio - EPS.

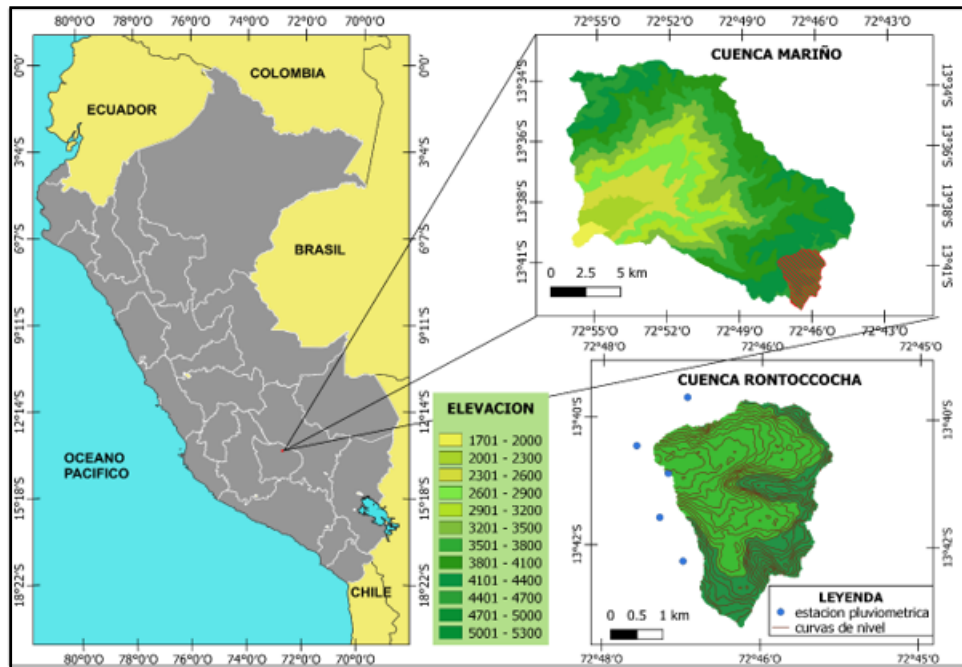
Actualmente, mediante el D.S. N°019-2017-VIVIENDA (2019), el MERESE es implementado de manera obligatoria por las Empresas Prestadoras de Servicios (EPS). En ese sentido, la EPS EMUSAP ABANCAY S.A. con asesoramiento de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) lo implementó en el sector de Rontoccocha, lo cual mediante acuerdos firmados con las Comunidades Campesinas de Atumpata y Micaela Bastidas viene realizando diversas intervenciones desde el 2019, siendo las actividades principales: (1) forestación con árboles nativos, (2) siembra de ichu, (3) protección de área forestación con cercos perimétricos, (4) construcción de diques naturales, y (5) otros. Es importante destacar que estas intervenciones no han sido las únicas realizadas en el sector de Rontoccocha, ya que, años atrás diferentes entidades han realizado intervenciones similares en este mismo sector.

Con la intención de identificar áreas a forestar por el MERESE, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto de la producción de sedimentos en la unidad hidrográfica de Rontoccocha e identificar áreas con mayor producción de sedimentos para priorizar la forestación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

La unidad hidrográfica del río de Rontoccocha se encuentra ubicado en la cabecera de la cuenca del río Mariño, que tributa a la vertiente del Atlántico. Políticamente, se encuentra ubicado en el sureste del Perú, en la provincia de Abancay, departamento de Apurímac, La unidad hidrográfica tiene un área de 8,9 km² y un rango de elevaciones de 4200 a 4660 m s.n.m., tiene como principales usos de suelos: Pajonales (593,76 ha, el 80,03 % de unidad hidrográfica), los Bofedales (139,33 ha; 17,55 % de la unidad hidrográfica) y los bosques de *Polylepis* (22,29 ha; 2,42 % de la unidad hidrográfica) según Cervantes, (2022) (Fig. 1).

FIGURA 1*Área de estudio*

Nota: QGIS

Obtención de datos

La precipitación diaria es obtenida del Sistema de Monitoreo EcoHidrológico - SMEH del sector de Rontoccocha, donde se tienen cinco pluviómetros instalados, con un periodo de registro de datos desde abril del 2016 hasta la actualidad, para esta investigación se utilizan datos desde septiembre del 2017 hasta agosto del 2019 (dos años hidrológicos, es decir, desde 01 septiembre hasta el 31 agosto).

El uso del suelo es determinado mediante la imagen satelital Landsat 08 OLI/TIRS (*Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor*, por sus siglas en inglés) de resolución espacial de 30 m, descargados del mes de agosto 2018, disponible del sitio web de la Asf Data Search del Servicio Geológico de Estados Unidos, (2021).

Los datos topográficos fueron obtenidos del Modelo Digital de Elevación (DEM, por sus siglas en inglés) de la Misión de Radar del Transbordador (*SRTM*, por sus siglas en inglés) de la NASA en el año

2000, datos disponibles del sitio web del Servicio Geológico de Estados Unidos, (2021).

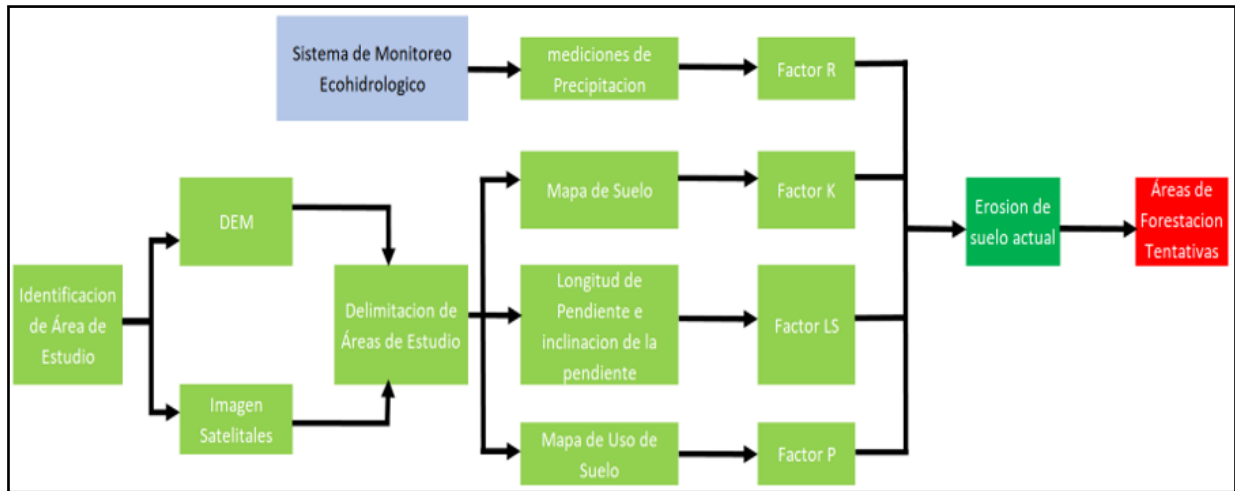
El tipo de suelo se obtuvo del mapa digital de los suelos del mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO/ UNESCO], 1981), clasificando el tipo de suelos como tipo I (Lithosuelos), el cual contiene arena (58 %), limo (16,2 %), arcilla (24 %) y carbón orgánico (0,97 %).

Metodología empleada

La producción de sedimento se calculó utilizando el modelo RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*, por sus siglas en inglés) (Ghosal & Das, 2020) (Fig.2).

FIGURA 2

Variables ambientales para modelar probabilidad de ocurrencia de incendios forestales.



Nota: Sabino et al. (2021)

El modelo RUSLE es un modelo empírico que se desarrolla en base a cinco factores (Ghosal & Das, 2020; Phinzi & Ngetar, 2019; Sabino et al., 2017; Sabino et al., 2021): (i) factor de la erosividad de la lluvia (R), (ii) factor de erodabilidad del suelo (K), (iii) factor topográfico o de longitud y pendiente (LS), (iv) factor de gestión de la cobertura (C), y (v) factor de prácticas de conservación (P). Cada uno de estos factores varían con respecto a la zona climática, propiedades del suelo, pendiente, cobertura del suelo y fase del cultivo. El modelo RUSLE es descrito mediante la siguiente fórmula:

$$A = R.K.LS.C.P$$

Donde:

R: Factor de erosividad de la lluvia.

K: Factor de erodabilidad del suelo.

LS: Factor de longitud de pendiente e inclinación de la pendiente.

C: Factor de gestión de la cubierta.

P: Factor de prácticas de conservación.

Cada uno de los factores son descritos a continuación según (Sabino et al., 2021):

Factor de erosividad (R)

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo. En la forma original de RUSLE el factor R se calcula como la suma promedio anual de la erosividad de las tormentas individuales, que se calcula como el producto de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima" en 30 min (Wischmeier & Smith, 1978).

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{1.5 \log_{10} \left(\frac{P_i^2}{p} \right) - 0.08188}$$

Donde, R es el factor de erosividad de lluvia su unidad de medida ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$); p: precipitación anual en mm y P_i precipitación mensual que está en mm.

Factor topográfico

Tanto la longitud de la ladera como su pendiente influyen considerablemente en las tasas de erosión de suelo, siendo el relieve uno de los principales factores que determinan la producción de sedimentos de las cuencas hidrográficas (Sabino et al., 2021).

Según Desmet & Govers, (1996), se tiene la siguiente ecuación:

$$L_{i,j} = \frac{(A_{i,j-in} + D^2)^{m+1} - A_{i,j-in}^{m+1}}{D^{m+2x} x_{i,j}^m * 22.13^m}$$

Dónde $A_{i,j-in}$ es el área de contribución en la entrada de la celda de la cuadrícula (i,j) medido en m^2 . D es el tamaño de celda de la cuadrícula (m), $m_{i,j} = \text{sen } a_{i,j} + \cos a_{i,j}$, la $a_{i,j}$ es la dirección de aspecto de la celda de la cuadrícula (i,j), m está relacionado con la relación β de surco a la erosión entre surcos:

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad \beta = \frac{\frac{\text{sen } \theta}{0.0896}}{\left[0.56 + 3 * (\text{sen } \theta)^{0.8}\right]}$$

Dónde θ es el ángulo de la pendiente en grados. El valor de m varía entre 0 y 1. Cuando la relación entre la erosión de la colina es cercana a 0, el valor de m se aproxima a 0.

Factor de cobertura vegetal

El factor de cobertura vegetal (C) se utiliza para expresar el nivel de protección de las plantas sobre el suelo (Rejani et al., 2016). Se han desarrollado diversos métodos para la estimación del factor C aplicando específicamente el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) (Wang et al., 2012), aquí se calculó utilizando las siguientes ecuaciones.

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

$$C = \exp\left[-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right]$$

Donde $\alpha = 2$ y $\beta = 1$

β y α son parámetros que determinan la forma de la curva relacionada con el NDVI y el factor C

Factor de erodabilidad

Para el factor de erodabilidad se siguió con la siguiente metodología (Nyesheja et al., 2019):

$$K = 0.1317 * \left[0.2 + 0.3 \exp\left(1 - \frac{SIL}{100}\right)\right] * \left[\frac{SIL}{CLA + SIL}\right]^{0.3}$$

$$* \left[1 - \frac{0.025C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}\right] * \left[1 - \frac{0.7SN1}{SN1 + \exp(-5.51 + 22.9SN1)}\right]$$

Donde SAN: porcentaje de contenido de arena con un diámetro de 0,05-2,00 mm.

SIL: contenido de limo, con granos que miden un diámetro de 0,002 a 0,05.

CLA: porcentaje de contenido de carbono orgánico en la capa superficial

$SN1 = 1 - (SAN/100)$.

El factor K se califica en una escala de 0 a 1, donde 0 indica suelos con menor susceptibilidad a la erosión y 1 indica suelos que son altamente susceptibles a la erosión por el agua. su unidad de medida del factor de erodabilidad" es: $\text{ton x ha x h x ha}^{-1} \text{ x MJ}^{-1} \text{ x mm}^{-1}$.

Factor de prácticas de conservación

Para facilitar el análisis y la descripción de las características de la erosión de suelo en el área de estudio e identificar las áreas que necesitan mayor prioridad para las prácticas de gestión de la conservación, las celdas de las cuadrículas se clasificaron en cinco tipos (Nyesheja et al., 2019), como se puede observar en la Tabla 1.

TABLA 1*Estimación del factor P, según la pendiente y las tres prácticas de control de erosión*

Pendiente (%)	Factor P		
	Terrazas	Cultivo en franjas	Contorno
0.0 - 7.0	0.1	0.27	0.55
7.0 - 11.3	0.12	0.3	0.6
11.6 - 17.6	0.16	0.4	0.8
17.6 - 26.8	0.18	0.45	0.9
>26.8	0.2	0.5	1

La influencia de las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión, se da efecto cuando se realiza trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo las curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía. La influencia de la práctica de conservación consiste en disminuir la longitud del declive efectivo para la escorrentía. El factor P es adimensional.

Análisis de datos

Se utilizó el programa de Sistema de Información Geográfica Quantum GIS (QGIS) versión 3.32.

RESULTADOS

Producción de sedimentos

Los factores empíricos utilizados para el cálculo de la producción de sedimento en la unidad hidrográfica del río Rontoccocha, son mostrados en la Figura 3. Se evidencia que el factor R (Fig. 3A), se incrementa a medida que incrementa las elevaciones en la cuenca, siendo coherente con el comportamiento normal de las precipitaciones.

El factor C (Fig. 3B) presenta una gran variabilidad de sus valores en la cuenca, donde se observan valores bajos en las áreas de bosque de queuña, plantación con ichu y bofedales, y valores altos en zonas con poca vegetación y poca presencia de humedad del suelo. Finalmente, el factor LS presenta valores coherentes, ya que, los más elevados son

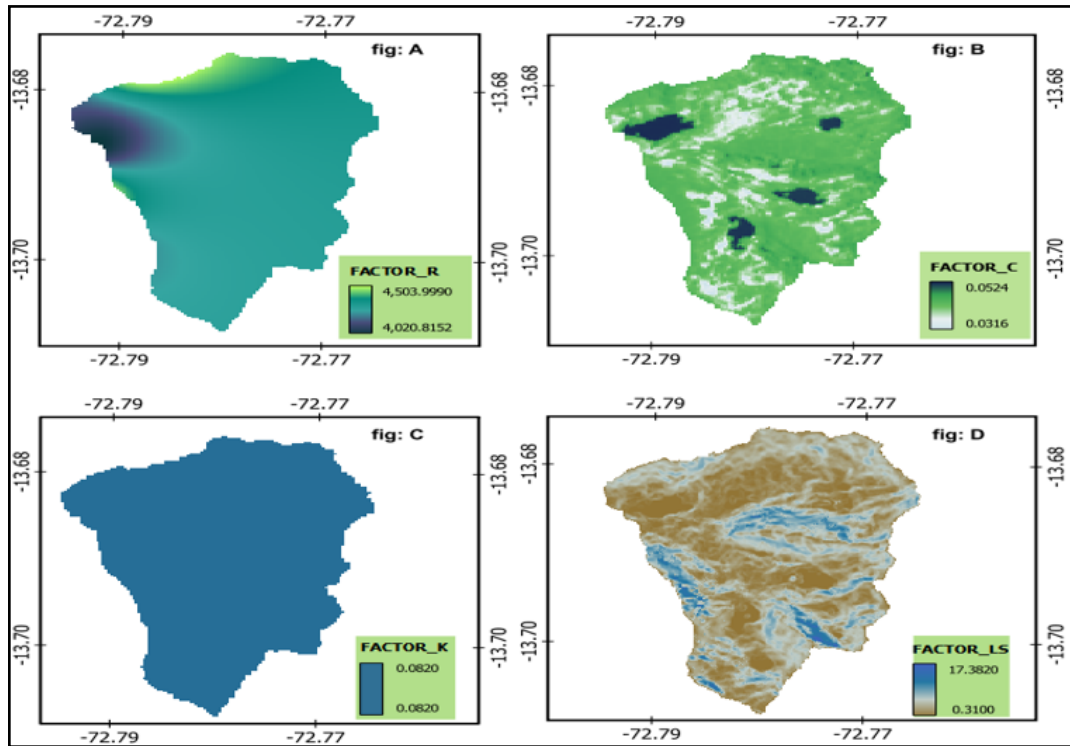
observados en las zonas con alta pendiente. donde se muestra gran dispersión en los valores obtenidos de los factores R, C y LS, y un valor uniforme del factor K (Fig. 3C). El comportamiento de este último factor es debido a la resolución del tipo de suelo y al tamaño de la cuenca, provocando que el tipo de suelo sea identificado como único.

En base a los factores descritos en los dos párrafos anteriores, se determinó la producción de sedimentos en la cuenca (Fig. 4), donde se reportan que los valores más altos de producción de sedimentos se ubican en las áreas con altas pendientes y poca vegetación. Asimismo, se evidencia que las áreas con bajos valores de producción de sedimentos, se concentran en las áreas con baja pendiente y con presencia de bofedales o vegetación (por ejemplo, bosque de queuña y ichu).

Los niveles de erosión se pueden clasificar según la Tabla 2, donde se identifica que la cuenca presenta altos índices de erosión; así mismo, se muestra que en las zonas con presencia de bosques de queuña se presentan erosiones inferiores a 50 tn/ha/año.

FIGURA 3

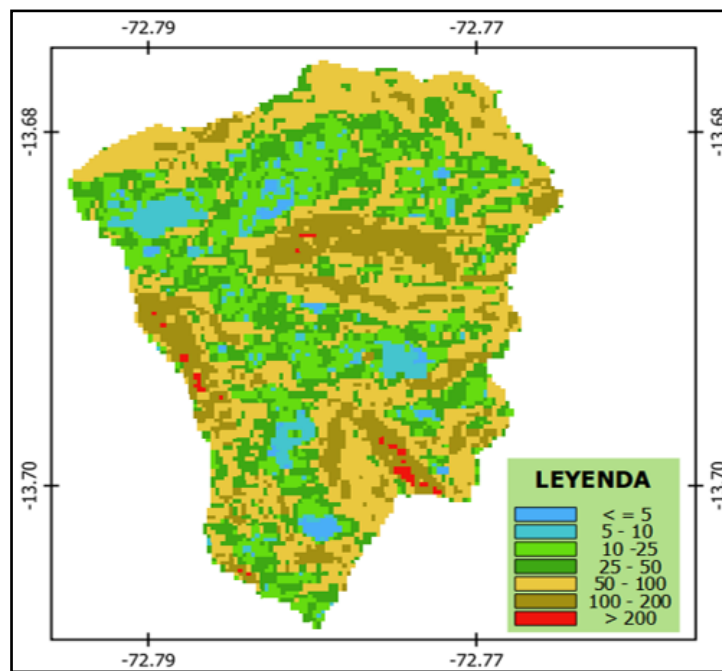
Factores empíricos para el cálculo de la sedimentación



Nota: QGIS

FIGURA 4

Producción de erosión en la cuenca Rontoccocha (tn/ha/año)



Nota: QGIS

TABLA 2*Niveles de pérdida de suelo por erosión*

PÉRDIDAS DE SUELO	INTERPRETACIÓN
0 (tn/ha/año)	Zonas no susceptibles al proceso erosivo, como pueden ser espacios urbanos, carreteras, embalses, etc.
0 a 5 (tn/ha/año)	Zonas con niveles de erosión muy bajos y pérdidas de suelo tolerables. No hay erosión neta.
5 a 10 (tn/ha/año)	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que puedan ser tolerantes. Probablemente no hay erosión neta.
10 a 25 (tn/ha/año)	Zonas con procesos erosivos leves. Existe erosión, aunque no es apreciable a simple vista.
25 a 50 (tn/ha/año)	Zonas con procesos erosivos moderados. Existe erosión, aunque puede no ser apreciable a simple vista.
50 a 100 (tn/ha/año)	Zonas con procesos erosivos graves. Existe erosión y es apreciable y a simple vista.
100 a 200 (tn/ha/año)	Zonas con procesos erosivos muy graves. Existe erosión y es manifestada a simple vista.
Más de 200 (tn/ha/año)	Zonas con procesos erosivos extremos. Existe erosión y es evidente a simple vista.

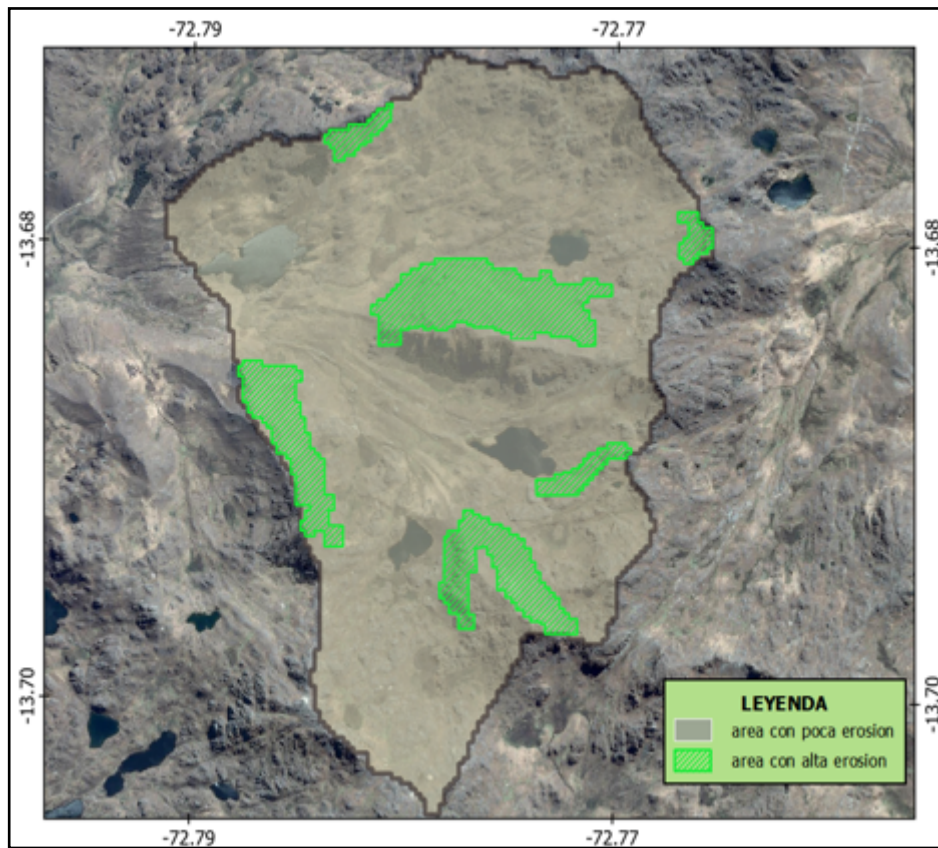
Nota: Gobierno Vasco, (2005)

Propuesta de Áreas para Forestar

Teniendo en consideración que la queuña cumple un papel importante en las cuencas alto andinas o cabeceras de cuenca, ya que tiene como función principal la de: (i) aportar a la recarga hídrica mediante el incremento de la infiltración en la cuenca, y (ii) disminuir la producción de sedimentos en la cuenca. Por esta razón, existen muchas iniciativas de instituciones públicas y privadas que tienen como propósito principal el de reforestar diferentes áreas en la cuenca. Pero lamentablemente estas iniciativas son realizadas considerando criterios pobres con casi nulo conocimiento científico, provocando que no se logren los resultados esperados. Asimismo, dentro de las actividades del Plan de Intervenciones del MERESE, se tiene considerado la forestación con queuña, el cual, debido a la escasa información científica

desarrollada en la cuenca del río Rontoccocha, es realizada considerando conocimiento empírico y de experiencia.

En base a los resultados encontrados de producción de sedimentos en la cuenca de Rontoccocha (Fig.4) y considerando la Tabla 2, que la reforestación se debe realizar en áreas con erosión iguales o superiores a 100 tn/ha/año (es decir, zonas con procesos erosivos muy graves o extremos), se logró identificar las áreas de forestación tentativas (Fig. 5). Esta área de forestación tentativa es 2,55 km² identificadas mayormente en las zonas con alta pendiente y poca vegetación (borde color verde).

FIGURA 5*Áreas de reforestación tentativas*

Nota:QGIS

DISCUSIÓN

Realizando una comparación de estos resultados de erosión con el estudio que realizó Senamhi para la zona de Apurímac, se reporta que este fue entre el rango de 20 tn/ha/año a 500 tn/ha/año, debido a que ellos trabajan con grillas de 10 km x 10 km, mientras que en la presente investigación se obtuvo el resultado de erosión entre el rango de 0 tn/ha/año a 250 tn/ha/año lo cual se trabajó con grillas más finas y los resultados de la presente investigación son más evidentes. Como también se puede mencionar que los resultados obtenidos, el 85 % se encuentra dentro del rango que obtuvo Senamhi en su estudio.

Por otra parte, Ramos & Orozco (2020) también utilizaron el método Rusle y obtuvieron el resultado de la erosión entre el rango de 0 tn/ha/año a 1950 tn/ha/año; los resultados son bastantes mayores, lo que se puede inferir que esos valores fueron influenciados por el factor LS (factor topográfico) que tiene un valor de 0.03 – 38.74 adimensional. Mientras que en la presente investigación se obtuvo el resultado de erosión entre el rango de 0 tn/ha/año – 250 tn/ha/año y el factor LS (factor topográfico) de 0.31 – 17.3820 adimensional.

CONCLUSIONES

El valor más alto de producción de sedimentos se da en las áreas con alta pendiente y poca vegetación.

Los valores bajos son encontrados en las áreas de zona bajas en presencia de bosques de queuña, ichu y bofedales o vegetación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bhatta, L., van Oort, B., Rucevska, I., & Baral, H. (2014). Payment for ecosystem services: possible instrument for managing ecosystem services in Nepal. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 10(4), 289-299. <https://doi.org/10.1080/21513732.2014.973908>
- Cervantes, R. (2022). Costo efectividad del manejo de ecosistemas altoandinos en la regulación hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha, Abancay Apurímac. [Tesis Doctoral, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5180>
- Clérici, C., & García, F. (2001). Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del Río de la Plata. *Agrociencia-Sitio en Reparación*, 5(1), 92-103. <http://164.73.52.4/agrociencia/index.php/directorio/article/view/574>
- Chuenchum, P., Xu, M., & Tang, W. (2020). Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(3), 213-227. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.06.006>
- Derissen, S., & Latacz-Lohmann, U. (2013). What are PES? A review of definitions and an extension. *Ecosystem Services*, 6, 12-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.02.002>
- Desmet, P., & Govers, G. (1996). A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of soil and water conservation*, 51(5), 427-433.
- D.S. N°009-2016-MINAM (20 de julio del 2016). Aprueban Reglamento de la Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos. Diario Oficial el Peruano. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/DS_009-2016-MINAM.pdf
- D.S. N°019-2017-VIVIENDA (23 de junio del 2017). Decreto Supremo que aprueba el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1280, Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. Diario Oficial El Peruano. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/07/DS-019-2017-VIVIENDA-1.pdf>
- FAO/UNESCO (1981). *Mapa Mundial de Suelos de la FAO/UNESCO*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/mapas-historicos-de-suelos-y-bases-de-datos/mapa-mundial-de-suelos-de-faounesco/es/>
- Fiorini, A., Mullally, C., Swisher, M., & Putz, F. (2020). Forest cover effects of payments for ecosystem services: Evidence from an impact evaluation in Brazil. *Ecological Economics*, 169, 106522. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106522>
- Ghosal, K., & Das, S. (2020). A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(4), 689-707. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0>
- Gobierno Vasco (2005). Mapa de erosión de suelos de la comunidad autónoma de Euskadi. <https://>

- www.geasig.com/erosion-con-arcgis/
- Grima, N., Singh, S. J., Smetschka, B., & Ringhofer, L. (2016). Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America: Analyzing the performance of 40 case studies. *Ecosystem services*, 17, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.010>.
- Immerzeel, W., Stoorvogel, J., & Antle, J. (2008). Can payments for ecosystem services secure the water tower of Tibet? *Agricultural Systems*, 96(1-3), 52-63. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.05.005>
- Lopes, M., Pissarra, T., Mello, A., Lopes, M., Araújo, R., Zanata, M., Leal, F., & Sanches, L. (2020). The assessment of hydrological availability and the payment for ecosystem services: A pilot study in a Brazilian headwater catchment. *Water*, 12(10), 2726. <https://doi.org/10.3390/w12102726>
- Lu, D., Li, G., Valladares, G., & Batistella, M. (2004). Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing, and GIS. *Land degradation & development*, 15(5), 499-512. <https://doi.org/10.1002/ldr.634>
- Nyesheja, E., Chen, X., El-Tantawi, A., Karamage, F., Mupenzi, C., & Nsengiyumva, J. (2019). Soil erosion assessment using RUSLE model in the Congo Nile Ridge region of Rwanda. *Physical Geography*, 40(4), 339-360. <https://doi.org/10.1080/02723646.2018.1541706>
- Perevochtchikova, M., Castro, R., Langle, A., & Ugalde, J. (2021). A systematic review of scientific publications on the effects of payments for ecosystem services in Latin America, 2000–2020. *Ecosystem Services*, 49, 101270. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101270>
- Phinzi, K., & Ngetar, N. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 27-46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- Rejani, R., Rao, K., Osman, M., Rao, S., Reddy, K., Chary, G., & Samuel, J. (2016). Spatial and temporal estimation of soil loss for the sustainable management of a wet semi-arid watershed cluster. *Environmental monitoring and assessment*, 188(3), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5143-4>
- Sabino, E., Lavado, W., & Asencios, H. (2021). *Atlas de producción de sedimentos del Perú: Una evaluación histórica y futura*. Lima: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1609>
- Sabino, E., Felipe, O. & Lavado, W. (2017), *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú*, Vol. 2. https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf
- Scullion, J., Thomas, C., Vogt, K., Pérez, O., & Logsdon, M. (2011). Evaluating the environmental impact of payments for ecosystem services in Coatepec (México) using remote sensing and on-site interviews. *Environmental Conservation*, 38(4), 426-434. <https://doi.org/10.1017/S037689291100052X>
- Servicio Geológico de Estados Unidos. (2021). Earth Data. <https://www.earthdata.nasa.gov/eosdis/daacs/asf>
- Wang, D., Morton, D., Masek, J., Wu, A., Nagol, J., Xiong, X., Levy, R., Vermote, E., & Wolfe, R. (2012). Impact of sensor degradation on the MODIS NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, 119, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.05.011>

org/10.1016/j.rse.2011.12.001

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning* (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.