

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ



CARRERA PROFESIONAL:

INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN:

EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO
JEQUETEPEQUE BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

NOMBRE DEL POSTULANTE:

OSCAR MATEUS CABEZAS NIVIN

NOMBRE DE LOS ASESORES ACADÉMICOS:

EUSEBIO MERCEDES INGOL BLANCO

RICHARD PAUL PEHOVAZ ALVAREZ

1. INTRODUCCIÓN

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

La erosión de suelos supone un serio problema ambiental en el Perú. Este fenómeno pone en peligro la seguridad hídrica y alimentaria nacional, puesto que ataca especialmente las zonas altoandinas en donde se desarrolla una importante actividad agrícola (Sabino-Rojas et al., 2017). Sin embargo, los estudios realizados respecto a la temática en el contexto nacional son recientes. Por ejemplo, en 1996, el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA, actual ONERN), realizó un mapa cualitativo de la pérdida de suelos a nivel nacional. Asimismo, diversos estudios apuntan que en el futuro los efectos del cambio climático van a acelerar el proceso erosivo a nivel global (IPCC, 2021). En el caso peruano, se espera un mayor efecto sobre las regiones de la costa y sierra (Correa et al., 2016). Son en estas dos regiones en donde se encuentran la mayoría de las centrales hidroeléctricas del país (Osinergmin, 2020), así como las principales zonas de producción agrícola de la nación. Por ello, el objetivo principal de este proyecto de investigación es evaluar la evolución de la erosión de los suelos en la cuenca del Jequetepeque bajo efectos del cambio climático, debido a que en dicha cuenca se desarrolla una importante actividad agrícola, y se ubica el reservorio y mini central hidroeléctrica de Gallito Ciego. Debido a las desastrosas consecuencias que supondría la excesiva pérdida de suelos para el sector agrícola, así como para la producción energética de la central, los resultados finales brindarán información crucial para la toma de decisiones que permitan implementar medidas de prevención y mitigación pertinentes.

1.2. MARCO TEÓRICO

La cuantificación de las pérdidas de suelo ha sido un fenómeno extensamente estudiado desde inicios del siglo XX. Uno de los avances más importantes dentro del campo ha sido la formulación de la Universal Soil Loss Equation (USLE) por Wischmeier & Smith en 1962 (González-DelTánago, 1991). La USLE ha permitido cuantificar las tasas de erosión en una amplia variedad de escalas alrededor del mundo. Sin embargo, debido a que este primer método ha demostrado tener límites, otras formulaciones derivadas de esta han ido surgiendo a lo largo de los años. Dentro de los métodos alternativos, destacan dos formulaciones ampliamente empleadas en la literatura especializada. La Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), publicado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos en 1992. La Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE), formulado por Williams & Berndt, en 1977 (Sadeghi et al., 2014). A pesar de que ambas formulaciones se derivan de la USLE, diversos estudios señalan que la erosión obtenida varía notablemente según el modelo empleado.

Dentro de la literatura científica especializada en la erosión bajo efectos del cambio climático, se ha empleado prolíficamente el software Soil & Water Assessment Tool (SWAT). SWAT permite calcular la erosión dentro de una cuenca para periodos largos

de tiempo, a partir de la MUSLE. Esto facilita la evaluación de la respuesta de la zona de estudio ante series de registros climáticos en los cuales haya influencia del cambio climático. Es a partir de diversas investigaciones en la materia que, durante las siguientes décadas, se espera cierta tendencia al incremento de la erosión en diversas zonas alrededor del mundo.

Por ejemplo, en la vertiente de Cannonsville, suministradora de agua a la ciudad de Nueva York, EE.UU., (Mukundan et al., 2013) proyectan un aumento promedio del 3.9% para el periodo 2081-2100, respecto al periodo base (1965-2008). Por otro lado, en la cuenca superior del río Cau, Vietnam, se espera un aumento promedio del 25.5% para el periodo 2080-2099, respecto a 1980-1999 (Thai et al., 2017). Por último, en la cuenca del río Swat, Pakistán, se espera un aumento de hasta un 55% para el periodo 2080-2089, respecto al periodo base de 1979-2005 (Shrestha et al., 2020).

1.3. CONTEXTO Y PROBLEMÁTICA LOCAL

En el caso particular del Perú, los estudios de la erosión de suelos bajo efectos del cambio climático no han sido desarrollados con la proliferación que el fenómeno demanda. Si bien se ha realizado un estudio de esta problemática en la cuenca del río Mantaro (Correa et al., 2016), aún existe un gran déficit de investigaciones en la rama. Esta falta de estudios podría traer consigo serias consecuencias al desarrollo de las actividades socio-económicas para gran parte de la población.

Por ejemplo, uno de los efectos directos de la erosión es la pérdida de la fertilidad en la capa superficial del suelo y una menor calidad del mismo. Rosas (2016) estima que, durante el 2010, dicho efecto ha tenido un costo ambiental de 1 288 USD/ha en la cuenca del Jequetepeque. Se espera que este costo por pérdidas de fertilizantes se incremente en las siguientes décadas, debido a la falta de medidas estandarizadas de control y prevención contra el fenómeno. Por otro lado, en el caso del reservorio de Gallito Ciego, ubicado también en la cuenca del Jequetepeque, Walter et al. (2012) señalaron que durante 1991 al 2007, el volumen de sedimentos acumulados en el reservorio había aumentado considerablemente. Estimando que, durante dicho periodo, el volumen total de sedimentos acumulados fue de 82 MMC, de los cuales 43.4% ocupaban el volumen utilizable por el reservorio. Ante aquel aumento de la acumulación de sedimentos, se prevé que la producción energética de la central se vea afectada negativamente, elevando los costos de mantenimiento y, en consecuencia, el costo de la electricidad.

Ambos casos señalados demuestran las devastadoras consecuencias sociales, ambientales y económicas que supondrían el aumento de la producción de sedimentos en la cuenca del Jequetepeque, más aún si este fenómeno es analizado desde la perspectiva del cambio climático. Por ello, se remarca la importancia de la investigación del fenómeno en zonas cruciales para el desarrollo socio-económico del país.

1.4. OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Evaluar la evolución de la degradación del suelo a partir de la tasa de erosión laminar en la cuenca del río Jequetepeque bajo escenarios del cambio climático para el periodo 2021 al 2060 relativo al periodo base de 1981 al 2016

Objetivos específicos:

1. Evaluar el desempeño del modelo hidrológico del software SWAT (Soil & Water Assessment Tool) para simular las mediciones del registro histórico de 1981-2016
2. Evaluar la tasa de erosión laminar en la cuenca del río Jequetepeque para el periodo histórico de 1981 al 2016
3. Estimar la tasa de erosión laminar en la cuenca del río Jequetepeque bajo los escenarios de cambio climático RCP4.5 y RCP8.5 (Representative Concentration Pathways), empleando salidas de 10 RCMs (Regional Circulation Model)
4. Comparar las proyecciones de la tasa de erosión laminar para el periodo 2021-2060 obtenido por el software SWAT (Soil & Water Assessment Tool) vs. las proyecciones de la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

2. METODOLOGÍA

2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del río Jequetepeque se localiza políticamente entre los departamentos de La Libertad y Cajamarca; encontrándose entre los 7°6' y 7°30' latitud sur, y 78°30' y 79°40' longitud oeste, abarcando un área total aproximada de 4 372.5 km² y comprendiendo altitudes de hasta 4 000 m.s.n.m. El río Jequetepeque tiene una longitud de 175 km, presenta una pendiente promedio de 1.7% y las descargas son continuas durante todo el año. Los principales tributarios al río provienen de las zonas montañosas de ambas márgenes, los cuales destacan los ríos Chilite y río Puclush (también conocido como río San Miguel). Por otro lado, el cultivo predominante en la cuenca son los transitorios (arroz en general), seguido por los permanentes (caña de azúcar y pastos), consumiendo en promedio unos 719.41 MMC de agua al año (SEDALIB S.A., 2018).

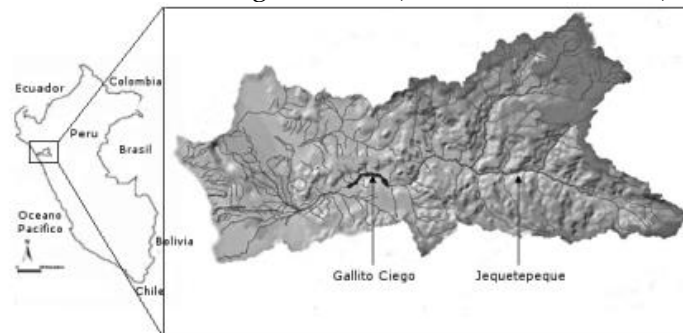


Imagen 1: Cuenca del río Jequetepeque - Fuente: Walter et al. (2012)

2.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se aplicará el software SWAT sobre la cuenca del Jequetepeque. Para ello, se seguirá la metodología detallada en el siguiente esquema:

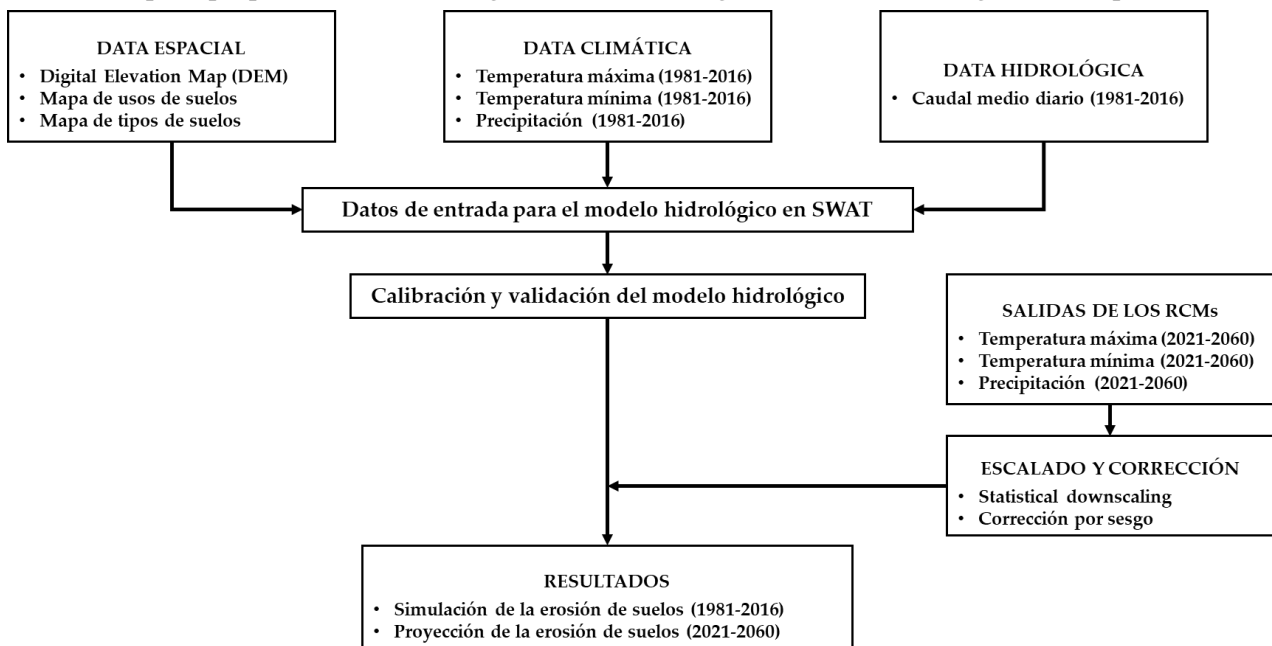


Imagen 2: Diagrama de flujos de la metodología a emplear en la investigación - Fuente: propia

Para la obtención de los datos de entrada necesarios para el modelo hidrológico en SWAT, se recurrirá a diversas bases de datos libres pertenecientes a organizaciones nacionales y extranjeras, tales como la NASA, FAO, MINAM, SENAMHI, entre otros. Con esta información ya tratada, se calibrará y validará el modelo hidrológico, de modo que los resultados de la simulación se asemejen lo mejor posible al registro histórico. En paralelo, se obtendrá las proyecciones climáticas bajo efectos del cambio climático a partir de las salidas de los RCMs considerados para la investigación. Con toda la información anteriormente descrita, se realizará la simulación de la erosión para los periodos de 1981-2016, así como del 2021-2060.

Asimismo, para obtener las simulaciones de la erosión según la RUSLE y realizar las comparaciones entre ambos modelos para el mismo periodo de análisis, se empleará el software ArcGIS empleando la misma información que se empleará en SWAT.

2.3. OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la obtención de la información, se recurrirá a bases de datos libres, según el tipo de data necesaria, se recurrirá a alguno de los siguientes enlaces:

- Software SWAT: [click aquí](#)
- Mapa de elevación digital (DEM) – NASA & USGS: [click aquí](#)
- Mapa de uso de suelos – MINAM: [click aquí](#)
- Mapa de tipos de suelo – FAO: [click aquí](#)
- Registro climático: Datos PISCO - SENAHMI: [click aquí](#)
- Registro de caudales – ANA: [click aquí](#)
- Proyecciones climáticas – NASA: [click aquí](#)

Es con esta información que se realizará el proyecto de investigación.

2.4. RECURSOS HUMANOS, MATERIALES Y EQUIPOS

Recursos humanos:

- Postulante: Oscar M. Cabezas N.
- Asesores académicos: Eusebio M. Ingol B. y Richard P. Pehovaz A.
- Consultores y expertos: Personal académico profesional ligado a la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la PUCP

Materiales y equipos:

- Computadora profesional para labores ingenieriles
- Softwares: ArcGIS, SWAT
- Lenguajes de programación: R, Python, Google Engine

2.5. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez recolectada la información de las fuentes mostradas en la sección 2.3. Obtención de la información, se procederá a analizar y corregir esta según sea necesaria para eliminar cualquier fuente de error que se pudiese generar. Se prestará una especial consideración al registro histórico con el cual se calibrará y validará el modelo hidrológico en SWAT, debido a que dicho registro puede tener alguna discordancia entre los datos registrados debido a la extensión de la serie (registro diario de 1981-2016).

Para dicho caso, se realizará una corrección por sesgo para las series climáticas de la precipitación, así como la serie de caudales medios diarios. A su vez, para el caso de las proyecciones climáticas, bajo efectos del cambio climático, obtenidas a partir de los RCMs, se realizará el statistical downscaling, de modo que dichas proyecciones se escalen a una magnitud adecuada para el tamaño de la cuenca de estudio.

Finalmente, tras analizar y procesar la información, se continuará con la metodología descrita en la Imagen 2, calibrando y validando el modelo hidrológico en SWAT, de modo que se obtengan las simulaciones de la erosión de suelos para los periodos 1981-2016 y 2021-2060. Asimismo, se calibra el modelo de cálculo de la erosión en ArcGIS según la RUSLE, para el mismo periodo de análisis, empleando la misma información tratada que se empleará en SWAT. Tras finalizar lo descrito, se compararán las erosiones de ambos modelos, llegándose a las conclusiones y recomendaciones pertinentes según los resultados obtenidos.

2.6. CRONOGRAMA

Se presenta el cronograma preliminar del proyecto de investigación:

Descripción de la actividad	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Semanas destinadas para la elaboración de la investigación
Desarrollo e implementación del proyecto de investigación	11/10/2021	11/07/2022	
Redacción de la Introducción	11/10/2021	01/11/2021	3
Redacción del Marco Teórico	01/11/2021	15/11/2021	2
Redacción de la Descripción de la zona de estudio	15/11/2021	22/11/2021	1
Redacción de la Metodología	22/11/2021	20/12/2021	4
Desarrollo y ejecución de la metodología	20/12/2021	28/03/2022	14
Redacción de los Resultados	28/03/2022	16/05/2022	7
Redacción de las Conclusiones y recomendaciones	16/05/2022	20/06/2022	5
Culminación de la investigación	20/06/2022	11/07/2022	3

Imagen 3: Cronograma para el desarrollo del proyecto de investigación - Fuente: propia

2.7. PRESUPUESTO

Dentro de los costos preliminares que se contemplan para el presente proyecto de investigación, detallan los siguientes:

- Suscripción anual a datacamp para aprender programación con Python y R: \$99.00, plan premium (<https://www.datacamp.com/pricing>)
- Compra de licencias de softwares necesarios, así como la capacitación en estas: \$700.00 (referencial)
- Publicación de un artículo científico en una revista indexada en inglés, de cuartiles o factor de impacto Q1 o Q2: \$2500 (referencial)
- Participación en un congreso nacional y/o internacional en español o inglés: \$1500 (referencial)

Sumando así un estimado preliminar de **\$4 799.00***

**Nota: monto referencial sujeto a cambios según las circunstancias que se presenten durante el desarrollo de la investigación*

2.8. APOYO INSTITUCIONAL

El presente proyecto de investigación cuenta con el apoyo de la Facultad de Ciencias e Ingeniería – Sección de Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Católica del Perú, el cual está siendo elaborado con el fin de ser la tesis que presente el postulante para optar por el Título de Ingeniero Civil dentro de su casa de estudios.

3. BIBLIOGRAFÍA

- Correa, S. W., Mello, C. R., Chou, S. C., Curi, N., & Norton, L. D. (2016). Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. *Catena*, 147, 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.07.003>
- González-DelTánago, M. (1991). LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO. PASADO, PRESENTE Y FUTURO. *Ecología*, 5, 13–50.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. (2021). *Climate Change 2021 Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers*. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- Mukundan, R., Pradhanang, S. M., Schneiderman, E. M., Pierson, D. C., Anandhi, A., Zion, M. S., Matonse, A. H., Lounsbury, D. G., & Steenhuis, T. S. (2013). Suspended sediment source areas and future climate impact on soil erosion and sediment yield in a New York City water supply watershed, USA. *Geomorphology*, 183, 110–119. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.021>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - Osinergmin. (2020). *SUPERVISIÓN DE CONTRATOS DE PROYECTOS DE GENERACIÓN Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN OPERACIÓN - ENERO 2020*. http://www.osinerg.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/Publicaciones/Compendio-Proyectos-GTE-Operacion-enero-2020.pdf
- Rosas, M. (2016). *Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6822>
- Sabino-Rojas, E., Felipe-Obando, O. G., & Lavado-Casimiro, W. S. (2017). *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. www.senamhi.gob.pe
- Sadeghi, S. H. R., Gholami, L., Khaledi Darvishan, A., & Saeidi, P. (2014). Revue de l'application du modèle MUSLE à travers monde. In *Hydrological Sciences Journal* (Vol. 59, Issue 2, pp. 365–375). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.866239>
- SEDALIB S.A. (2018). *DIAGNÓSTICO HÍDRICO RÁPIDO DE LA CUENCA DEL RÍO JEQUETEPEQUE COMO FUENTE DE AGUA Y SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS PARA LA EPS SEDALIB S.A.* <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5941539840.pdf>
- Shrestha, S., Sattar, H., Khattak, M. S., Wang, G., & Babur, M. (2020). Evaluation of adaptation options for reducing soil erosion due to climate change in the Swat River Basin of Pakistan. *Ecological Engineering*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106017>
- Thai, T. H., Thao, N. P., & Dieu, B. T. (2017). Assessment and Simulation of Impacts of Climate Change on Erosion and Water Flow by Using the Soil and Water Assessment Tool and GIS: Case Study in Upper Cau River basin in Vietnam. *VIETNAM JOURNAL OF EARTH SCIENCES*, 39(4). <https://doi.org/10.15625/0866-7187/39/4/10741>
- Walter, K., Gunkel, G., & Gamboa, N. (2012). An assessment of sediment reuse for sediment management of Gallito Ciego Reservoir, Peru. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*, 17(4), 301–314. <https://doi.org/10.1111/lre.12008>