

Evaluación del riesgo de erosión mediante la integración del Proceso Analítico Jerárquico y Sistemas de Información Geográfica

Erosion Risk Assessment Through the Integration of the Hierarchical Analysis Process and Geographic Information Systems

VERA – Daniela¹

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido diciembre, 02, 2024; Aceptado mayo, 28, 2025

Resumen

Este estudio presenta la integración del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) y la matriz de Saaty con la aplicación de los sistemas de información geográfica (SIG), orientada a optimizar la toma de decisiones espaciales en escenarios complejos. El objetivo principal fue diseñar una metodología robusta para la evaluación multicriterio de factores geográficos, incrementando la precisión y objetividad en la selección de ubicaciones y la priorización de áreas. El PAJ se aplicó para estructurar los criterios de decisión y determinar su importancia relativa mediante matrices de comparación pareada de Saaty, fundamentadas en juicios lógicos. Los pesos obtenidos se integraron en ArcGIS, donde se realizaron análisis de superposición ponderada para generar un mapa de riesgos de erosión de suelos. La aplicación de esta metodología en la comunidad de Cachimayu, Yotala, evidenció que más de la mitad de su territorio (6,19 km²) presenta alto riesgo de erosión. Este hallazgo no solo cuantifica la magnitud del problema, sino que también permite delimitar con precisión zonas de riesgo alto, moderado y bajo, lo cual resulta esencial para la planificación de intervenciones diferenciadas y efectivas.

Los resultados demuestran que la combinación del PAJ y SIG constituye una herramienta sistemática y transparente para evaluar escenarios ambientales complejos, facilitando la identificación de áreas prioritarias según criterios definidos. En consecuencia, la metodología propuesta ofrece una solución eficaz para la gestión sostenible de recursos naturales, la planificación territorial y la evaluación de riesgos, aportando una base sólida para la toma de decisiones informadas sustentadas en datos espaciales.

Palabras Clave

Evaluación multicriterio, conservación de suelos, superposición ponderada.

Abstract

This study presents the integration of the Analytic Hierarchy Process (AHP) and Saaty's priority matrix with Geographic Information Systems (GIS), aimed at optimizing spatial decision-making in complex scenarios. The primary objective was to design a robust methodology for multi-criteria evaluation (MCE) of geographic factors, thereby enhancing precision and objectivity in site selection and land prioritization. The AHP was employed to structure decision criteria and determine their relative importance through Saaty's pairwise comparison matrices, based on logical judgments. The resulting weights were integrated into ArcGIS to perform weighted overlay analyses, generating a comprehensive soil erosion risk map. The application of this methodology in the community of Cachimayu, Yotala, revealed that more than half of its territory (6.19 km²) is under high erosion risk. This finding not only quantifies the magnitude of the environmental challenge but also enables the precise delimitation of high, moderate, and low-risk zones, which is essential for planning differentiated and effective interventions.

The results demonstrate that the synergy between AHP and GIS constitutes a systematic and transparent framework for assessing complex environmental scenarios, facilitating the identification of priority areas based on predefined criteria. Consequently, the proposed methodology offers an efficient solution for sustainable natural resource management, land-use planning, and risk assessment, providing a rigorous foundation for informed, data-driven spatial decision-making.

Keywords

Multicriteria assessment, soil conservation, weighted overlay

Citación: Vera D. (2025). Evaluación del riesgo de erosión mediante la integración del Proceso Analítico Jerárquico y Sistemas de Información Geográfica, *Revista Ingeniería Sostenible Ambiental*, 2(4), 121-128

Introducción

La erosión del suelo representa una amenaza global creciente, con consecuencias devastadoras para la productividad agrícola y la sostenibilidad ambiental. Un estudio reciente de (Bezak et al., 2024) revela que América del Sur ostenta la segunda tasa de erosión bruta más alta a nivel mundial, alcanzando un promedio de 7,8 t/ha.año, solo superada por Australia y Oceanía. Esta cifra subraya la urgencia de abordar la degradación del suelo en la región. En Bolivia, los registros de degradación se remontan a antes de 1999, cuando se celebró el Congreso de Suelos (Orsag C., 1999) con el fin de proponer medidas de conservación; sin embargo, su implementación ha sido limitada.

Este estudio surge de la necesidad de identificar medidas de conservación del suelo adaptadas a regiones específicas. Para lograrlo, aplicamos un enfoque innovador de evaluación multicriterio utilizando la matriz de Saaty. A diferencia de los métodos tradicionales (Rengifo-Rengifo et al., 2022), como la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), nuestra metodología incorpora un criterio de expertos para ponderar la importancia de variables esenciales en la determinación de la erosión del suelo en una región dada.

El Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ), central en la matriz de Saaty, permite comparar variables entre sí y consigo mismas (Romero, 2016). Esto facilita la inclusión de un rango flexible de variables (de dos a 'n') y la asignación de pesos lógicos que resultan en una jerarquía robusta y bien fundamentada. Estos pesos se integrarán posteriormente en un Sistema de Información Geográfica (ArcGIS 10.5), utilizando su herramienta Weighted Overlay, que trabaja con capas ráster de las variables. Según ESRI (2025), la herramienta permite aplicar los valores derivados de la matriz de Saaty a cada capa ráster, generando como resultado un mapa cualitativo del nivel de erosión del suelo. Este estudio se focaliza en la comunidad de Cachimayu, municipio de Yotala, Chuquisaca (Bolivia), aportando una solución localizada a un problema de alcance global, como es la degradación de suelos.

Materiales y métodos

Materiales

Los materiales clave requeridos para este estudio son:

Información geográfica y satelital

Se emplearon mapas temáticos de precipitación, pendientes, uso de suelos y zonificación del área de estudio como insumos fundamentales para el análisis. Además, se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) con resolución espacial de 5 m, orientado específicamente al cálculo de pendientes y a la derivación de variables topográficas. De manera complementaria, se integraron datos georreferenciados que permitieron delimitar con alta precisión la zona de estudio, asegurando la coherencia espacial de los análisis y fortaleciendo la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Herramientas de análisis:

La implementación del Proceso de Análisis Jerárquico (PAJ) se llevó a cabo mediante una matriz de Saaty automatizada en Microsoft Excel, lo que permitió calcular de manera sistemática los pesos ponderados de las variables consideradas en el estudio. Estos valores fueron posteriormente integrados en el software ArcGIS, plataforma de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la cual se aplicó la técnica de superposición ponderada (Weighted Overlay) para la generación de mapas de riesgo de erosión. Este procedimiento aseguró un análisis espacial robusto, coherente y reproducible.

Métodos

Recopilación y análisis de información previa

Se realizó una indagación documental exhaustiva para comprender la historia de la comunidad de Cachimayu, incluyendo su contexto ambiental, social y las medidas de conservación de suelos aplicadas anteriormente.

Trabajo de campo y percepción local

Se llevó a cabo visitas directas a la comunidad de Cachimayu para observar y registrar las condiciones actuales de los suelos, verificar el uso del suelo y la cobertura vegetal, e identificar indicios de erosión.

Se realizaron entrevistas con pobladores clave de la comunidad. Estas entrevistas, basadas en un cuestionario estructurado, buscarán comprender la percepción local sobre la realidad de la degradación de los suelos, las prácticas agrícolas, y el conocimiento empírico sobre la erosión y su manejo. Esta información cualitativa fue crucial para complementar los datos espaciales y contextualizar los hallazgos.

Preparación y ponderación de variables para la evaluación multicriterio

Con base en la revisión bibliográfica especializada en procesos de erosión de suelos y considerando la disponibilidad de información específica para la comunidad de Cachimayu, se identificaron las variables críticas que determinan la susceptibilidad a la erosión. Entre ellas destacan la pendiente del terreno, el uso del suelo y la precipitación. La toma de decisiones contó con el respaldo del proyecto Jalda (Arteaga & Prefectura del Departamento de Chuquisaca, 2002), a partir del cual se establecieron criterios técnicos fundamentados en juicio experto. Dichos juicios se plasmaron en la matriz de Saaty, automatizada en Excel, lo que permitió calcular los pesos de ponderación de cada variable y verificar la consistencia de los datos ingresados. Estos pesos reflejaron la importancia relativa de cada factor en la determinación del riesgo de erosión en la región, constituyendo la base metodológica para el análisis multicriterio.

Modelado geoespacial de la erosión

El procesamiento de datos se realizó en el software ArcGIS. Todas las capas de información sobre precipitación, pendientes y uso de suelos fueron transformadas a formato

ráster, homogeneizando su resolución espacial y sistema de coordenadas para garantizar la compatibilidad en el análisis.

Posteriormente, cada capa ráster fue reclasificada de acuerdo con su contribución relativa a la erosión, asignando valores más altos a las categorías con mayor susceptibilidad. La integración de estas capas se efectuó mediante la herramienta *weighted overlay* de ArcGIS, aplicando los pesos derivados de la matriz de Saaty. Este procedimiento permitió generar un mapa de riesgo de erosión que describe cualitativamente los niveles de susceptibilidad presentes en la comunidad de Cachimayu, diferenciando áreas de riesgo alto, moderado y bajo.

Análisis y determinación de áreas de conservación

El mapa ráster de riesgo de erosión fue convertido a formato vectorial (*shapefile*, SHP), lo que permitió realizar un análisis más detallado y preciso de las áreas afectadas. A partir de esta conversión se identificaron las zonas prioritarias con mayor susceptibilidad a la erosión, cuantificando su extensión y delimitando espacialmente los sectores críticos. Con base en los niveles de riesgo obtenidos, así como en la información recopilada mediante trabajo de campo y revisión documental, se formularon propuestas de conservación de suelos específicas para cada zona. Estas medidas fueron diseñadas considerando las particularidades biofísicas y socioeconómicas de la comunidad de Cachimayu, con el fin de garantizar intervenciones diferenciadas y efectivas orientadas a la mitigación del riesgo de erosión.

Resultados

Los resultados de esta investigación se derivan de un proceso geoespacial y de análisis multicriterio que permitió caracterizar los niveles de erosión del suelo en la comunidad de Cachimayu.

Elaboración de mapas base y unidades de terreno

Inicialmente, y dado que solo se disponía de los límites geográficos de la comunidad, se procedió a generar los mapas temáticos esenciales utilizando ArcGIS. Esto incluyó la creación de mapas de precipitación, uso de suelo, pendientes y unidades de terreno. Estos mapas constituyen la base espacial para el estudio (Szemerédi & Remsei, 2024).

Figura 1 Mapa de pendientes

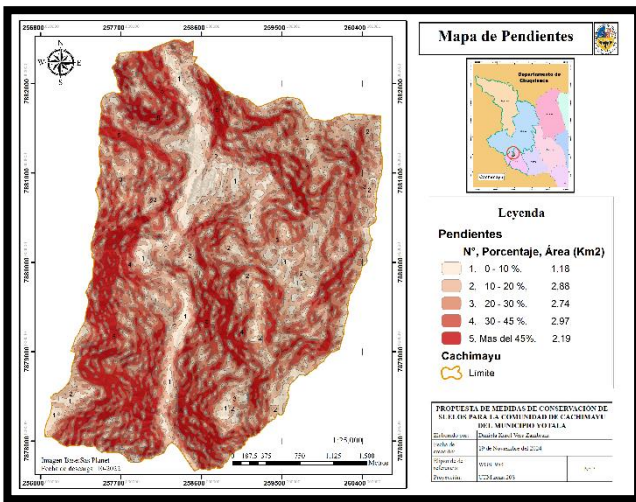


Figura 2 Mapa de precipitaciones

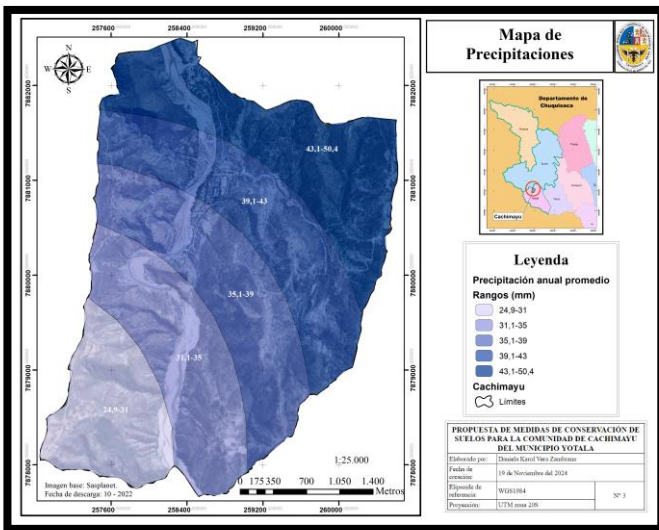
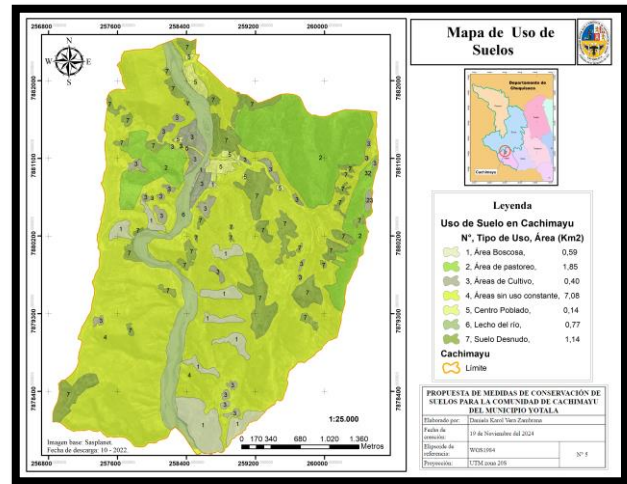


Figura 3 Mapa de uso de suelos



Se aplicó un análisis multicriterio a cada unidad de terreno definida en el mapa de zonificación de la comunidad, con el fin de precisar las medidas de conservación de suelos. Para consolidar la información, los resultados de las variables se integraron en una tabla única, en la que se calcularon los valores promedio de cada variable por unidad de terreno.

Tabla 1. Valores finales de la matriz de Saaty, por unidad de terreno en la comunidad de Cachimayu.

Nota. Las unidades de terreno pertenecen a la zonificación de la comunidad de Cachimayu donde: Z1= Zona 1= Serranía baja Moderada; Z2= Zona 2=

Importancia de las variables respecto a la influencia de estas según la matriz de "Saaty"				
Unidades de terreno Variables	Pen-diente	Preci-pitación	Uso de suelos	Consistencia
Z1	0,43	0,47	0,10	0,004
Z2	0,43	0,43	0,14	0,000
Z3	0,55	0,24	0,21	0,014
Z4	0,07	0,35	0,58	0,024
Z5	0,43	0,43	0,14	0,000
Z6	0,41	0,48	0,11	0,022
Importancia Total de variables	0,4	0,4	0,2	

Serranía Media fuerte; Z3=Zona 3=Serranía baja moderada con pocas áreas planas; Z4= Zona 4= Terrazas Aluviales; Z5=Zona 5= Serranía baja moderada con áreas planas; Z 6=Zona 6= Lecho del Río

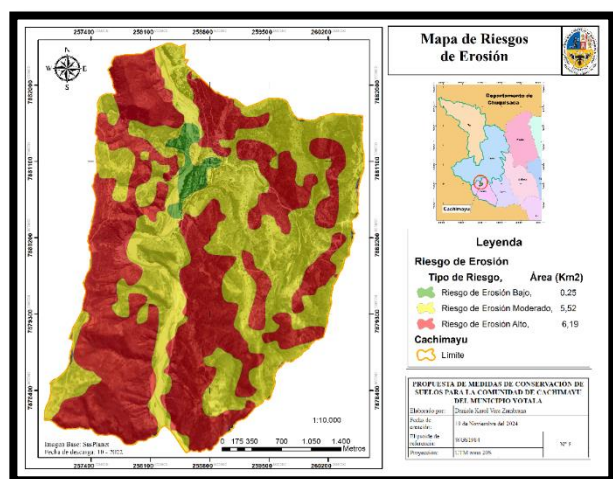
Mapa de riesgo de erosión y cuantificación de áreas

Empleando las herramientas de ArcGIS y los datos ponderados de las variables, se generó el mapa de erosión de suelos de la comunidad de Cachimayu. Este mapa se obtuvo inicialmente en formato ráster y fue posteriormente convertido a formato vectorial (shapefile), lo que facilitó la cuantificación de las áreas con diferentes niveles de riesgo.

El análisis reveló la presencia de tres niveles de riesgo de erosión:

- Riesgo de erosión alto: Abarca 6.19 km², lo que representa más del 50% de los 11.97 km² totales de la comunidad de Cachimayu.
- Riesgo de erosión moderado: Cubre 5.52 km².
- Riesgo de erosión bajo: Se limita a 0.25 km².

Figura 4 Mapa de riesgos de erosión



Los resultados evidencian una situación crítica, más de la mitad del territorio presenta un riesgo alto de erosión, lo que subraya la gravedad del problema en la comunidad de Cachimayu.

Implicaciones de los niveles de riesgo para la conservación

La distribución de los niveles de riesgo de erosión permite delinear estrategias de conservación específicas para cada zona:

- Las áreas con alto riesgo de erosión serán priorizadas para la protección y restauración de la vegetación nativa, mediante la implementación de medidas que reduzcan la alteración del suelo y favorezcan la recuperación de la cobertura vegetal.
- En las zonas con riesgo de erosión moderado, se enfocarán en la aplicación de estrategias de protección de suelos que sean compatibles con las actividades económicas de los pobladores, buscando un equilibrio entre la producción y la conservación.
- Para las áreas con riesgo de erosión bajo, el énfasis recaerá en la protección de los cultivos agrícolas existentes, mediante prácticas de manejo sostenible que prevengan el inicio o la intensificación de la erosión.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para la planificación y la implementación de acciones de manejo del suelo dirigidas y efectivas en la comunidad de Cachimayu.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio revelan que más del 50% de la comunidad de Cachimayu presenta un riesgo alto de erosión (6,19 km² de un total de 11,97 km²). Este hallazgo no solo valida la pertinencia de la investigación, sino que también proporciona una base sólida para la implementación de estrategias de conservación focalizadas. Aunque la matriz de Saaty permitió integrar la experiencia técnica en la ponderación de variables, es necesario reconocer que los resultados están sujetos a la subjetividad del experto consultado. Sin embargo, al contrastar los resultados con la realidad de Cachimayu, el modelo logra identificar zonas críticas que coinciden con las pendientes más pronunciadas, lo que sugiere una alta fidelidad para la planificación territorial inmediata.

El escenario identificado es crítico: el 51,7% del territorio (6,19 km²) se encuentra en riesgo alto de erosión, concentrado principalmente en áreas con pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal.

El aporte fundamental de este trabajo no radica únicamente en la identificación del riesgo, sino en la incorporación del criterio experto. A diferencia de los métodos puramente matemáticos, la integración de la matriz de Saaty permitió priorizar la pendiente y la precipitación (40% de peso cada una) como factores determinantes de la degradación, generando un producto cartográfico (archivo SHP) que constituye una herramienta directa para la toma de decisiones en planificación territorial.

Al comparar estos hallazgos con estudios regionales en los valles de Chuquisaca, como los realizados por Orsag (2010) sobre la degradación de suelos en Bolivia, se confirma una correlación directa entre la topografía accidentada y la vulnerabilidad hídrica. Mientras que muchos estudios locales se limitan a descripciones cualitativas, esta investigación cuantitativa mediante Evaluación Multicriterio (EMC) se alinea con la tendencia global de emplear el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) para reducir la incertidumbre en territorios áridos y semiáridos (Arabameri et al., 2019). La prevalencia de riesgo alto en más de la mitad del área de estudio es consistente con la clasificación de “tierras de protección” observada en cuencas similares de la región andina, donde la presión antrópica acelera procesos naturales (Herbas Baeny & Linera Canedo, 2023).

Asimismo, se identificaron áreas de pendiente moderada que, aunque presentan menor inclinación, exhiben signos evidentes de erosión superficial. Esta discrepancia sugiere que el peso asignado al factor “Uso de Suelos” (20 %) podría estar subestimando el impacto de prácticas agrícolas inadecuadas en ciertas zonas específicas. El modelo muestra alta sensibilidad a la topografía; sin embargo, la evidencia de campo indica que la pérdida de cobertura vegetal por sobrepastoreo puede transformar rápidamente zonas clasificadas como de “Riesgo Moderado” en áreas de degradación activa, superando así las predicciones del modelo.

Es importante reconocer dos limitaciones de esta investigación:

Subjetividad del modelo: La construcción de la matriz de comparación pareada se basó en el juicio técnico de un único evaluador. Aunque el índice de consistencia fue aceptable, los pesos de Saaty reflejan una percepción que podría variar si se incluyera un panel multidisciplinario de expertos (Herbas Baeny & Linera Canedo, 2023).

Temporalidad de los datos: Los registros de precipitación utilizados corresponden a datos históricos desde 2013. Ante la creciente variabilidad climática y el incremento de eventos de lluvia extrema en la región (Seiler et al., 2013), existe el riesgo de que el modelo no capture la intensidad real de la erosión hídrica contemporánea.

Para fortalecer la robustez del modelo propuesto, se plantean las siguientes líneas de investigación:

Validación con parcelas de escorrentía: Realizar mediciones experimentales directas en la comunidad para cuantificar la pérdida de suelo por hectárea (Wang et al., 2023) y contrastarlas con las categorías de riesgo del mapa.

Actualización climática: Incorporar datos satelitales recientes para evaluar la evolución del factor de agresividad de la lluvia en la última década, siguiendo experiencias internacionales en estudios de erosión (Lin et al., 2025).

Participación comunitaria: Integrar la percepción de riesgo de los comunarios en la matriz de Saaty, con el fin de construir un modelo de gestión territorial más participativo y socialmente aceptado.

Conclusión

Este estudio demuestra que la evaluación multicriterio mediante la matriz de Saaty, combinada con las capacidades geoespaciales de ArcGIS, constituye una metodología sólida y eficaz para abordar la compleja problemática de la erosión del suelo.

La incorporación del criterio experto en la ponderación de factores clave como la pendiente, el uso del suelo y la precipitación permite superar las limitaciones de los enfoques tradicionales y aporta una interpretación más profunda y contextualizada de la susceptibilidad a la erosión.

La aplicación de esta metodología en la comunidad de Cachimayu, Yotala, reveló que más de la mitad de su territorio (6,19 km² de un total de 11,97 km²) se encuentra en alto riesgo de erosión. Este hallazgo crítico no solo muestra la magnitud del problema, sino que también posibilita la delimitación precisa de zonas con diferentes niveles de riesgo (alto, moderado y bajo). Tal precisión resulta esencial para la toma de decisiones, ya que facilita la planificación de intervenciones espacialmente diferenciadas y altamente efectivas.

En particular, la capacidad de identificar y mapear estas áreas permitió proponer estrategias de uso sostenible del suelo adaptadas a las condiciones específicas de la comunidad:

Zonas de alto riesgo: Priorizar la protección y restauración de la vegetación nativa, reconociendo su papel insustituible en la estabilización del suelo

Zonas de riesgo moderado: Implementar un enfoque integrado que combine prácticas de apicultura para fomentar la polinización y la cobertura vegetal, junto con la creación de zonas de camping seguras que promuevan un turismo sostenible, generando beneficios económicos locales sin comprometer la integridad del suelo.

Zonas de riesgo bajo: Proteger terrazas aluviales y cultivos agrícolas mediante la instalación estratégica de barreras vivas, asegurando la productividad a largo plazo y la seguridad alimentaria.

En definitiva, la combinación del rigor analítico de la matriz de Saaty y la potencia cartográfica de ArcGIS no solo constituye una herramienta robusta para el diagnóstico de la susceptibilidad a la erosión, sino que también se erige como un pilar fundamental para el manejo sostenible del territorio. Esta metodología capacita a comunidades como Cachimayu para abordar los desafíos de la degradación del suelo de manera informada y proactiva, contribuyendo así a consolidar un futuro territorial más resiliente.

Referencias

- Arabameri, A., Cerda, A., Rodrigo-Comino, J., Pradhan, B., Sohrabi, M., Blaschke, T., & Tien Bui, D. (2019). Proposing a Novel Predictive Technique for Gully Erosion Susceptibility Mapping in Arid and Semi-arid Regions (Iran). *Remote Sensing*, *11*(21), 2577. <https://doi.org/10.3390/rs11212577>
- Arteaga, E., & Prefectura del Departamento de Chuquisaca. (2002). *Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas Validadas por el Proyecto Jalda*. <https://1library.co/document/zlvvj72y-practicas-de-conservacion-de-suelos-y-aguas-validadas-por-el-proyecto-jalda.html>
- Bezák, N., Borrelli, P., Mikoš, M., Jemec Auflič, M., & Panagos, P. (2024). Towards multi-model soil erosion modelling: An evaluation of the erosion potential method (EPM) for global soil erosion assessments. *CATENA*, *234*, 107596. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107596>
- ESRI. (2025). *Superposición ponderada (Spatial Analyst)—ArcMap | Documentación*. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/weighted-overlay.htm>
- Fan, C.-C., & Chen, Y.-W. (2010). The effect of root architecture on the shearing resistance of root-permeated soils. *Ecological Engineering*, *36*(6), 813-826. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.03.003>

- Herbas Baeny, E., & Linera Canedo, C. del R. (2023). Análisis multicriterio para la evaluación integrada de impactos sociales y ambientales en proyectos hidroeléctricos en Bolivia: Bases conceptuales y metodológicas. *Acta Nova*, 11(2), 209-226.
- Lin, S., Zou, Y., He, Y., Xue, S., Zhu, L., & Ye, C. (2025). A Spatiotemporal Dynamic Evaluation of Soil Erosion at a Monthly Scale and the Identification of Driving Factors in Hainan Island Based on the Chinese Soil Loss Equation Model. *Sustainability*, 17(6), 2361. <https://doi.org/10.3390/su17062361>
- Orsag C., V. (1999). *Memorias del primer congreso boliviano de la ciencia del suelo*. 28 - 31 de junio 1999.
- Rengifo-Rengifo, I.-Y., Muñoz-Gomez, F.-A., Toro-Trochez, O.-A., Rengifo-Rengifo, I.-Y., Muñoz-Gomez, F.-A., & Toro-Trochez, O.-A. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 29-44. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1738>
- Romero, D. (2016, mayo). (PDF) *Aplicación de los métodos de toma de decisiones LP-GW-AHP y lógica difusa para la selección de una electiva académica en la Universidad del Atlántico, Colombia*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/311762234_Aplicacion_de_los_metodos_de_toma_de_decisiones_LP-GW-AHP_y_logica_difusa_para_la_seleccion_de_una_electiva_academica_en_la_Universidad_del_Atlantico_Colombia
- Saikia, A., & Goswami, C. (2018). *Estimating Peoples' Willingness To Pay For Ecotourism Resources Using Contingent Valuation Method: A Review Of Existing Literature*. 11, 235-251.
- Seiler, C., Hutjes, R. W. A., & Kabat, P. (2013). *Climate Variability and Trends in Bolivia*. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-12-0105.1>
- Senamhi. (2024, septiembre 22). *Datos de estación Yotala, Cachimayu*. Senamhi-Bolivia. <https://senamhi.gob.bo/index.php/sysparametros>
- Szemerédi, E., & Remsei, S. (2024). Disproportionate exposure to urban heat island intensity – The case study of Győr, Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin*, 73(1), 17-33. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.1.2>
- Wang, W., Yin, S., Yu, J., He, Z., & Xie, Y. (2023). Long-term trends of precipitation and erosivity over Northeast China during 1961–2020. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(4), 743-754. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.04.002>