

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), Noviembre-Diciembre 2025,
Volumen 9, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i6

APLICACIÓN DE SIG PARA LA ZONIFICACIÓN DE RIESGO POR FLUJOS DE LODO EN NASCA, 2025

APPLICATION OF GIS FOR THE ZONING OF MUDFLOW
RISK IN NASCA, 2025

Yuly Nonila Vila Godoy
Universidad Cesar Vallejo

Geraldine Vila Godoy
Universidad Cesar Vallejo

Aplicación de SIG para la zonificación de riesgo por flujos de lodo en Nasca, 2025

Yuly Nonila Vila Godoy¹

yulyvvil@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4524-4063>

Universidad Cesar Vallejo

Perú

Geraldine Vila Godoy

geraldinevilag@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-5835-8408>

Universidad Cesar Vallejo

Perú

RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo aplicar herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para elaborar una zonificación del riesgo por flujos de lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, provincia de Nasca, durante el año 2025. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y diseño no experimental transversal, integrando información física y socioambiental mediante análisis multicriterio en un entorno SIG. Se recopilaron datos geomorfológicos, hidrológicos y climáticos provenientes de los modelos digitales de elevación, cartografía del INGEMMET, registros de SENAMHI y plataformas oficiales como SIGRID, complementados con un levantamiento censal de 47 lotes y 262 habitantes para caracterizar la vulnerabilidad socio-constructiva. Las variables fueron procesadas mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP) y superposición ponderada en QGIS y ArcGIS, generando los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo. Los resultados evidenciaron que la mayor parte del centro poblado se ubica en zonas de peligro medio y medio-alto, asociado a pendientes suaves en un cono aluvial activo, proximidad a cauces y antecedentes de activación de quebradas durante episodios de lluvias extremas como el Niño Costero 2017. La vulnerabilidad predominante es media, influenciada por materiales de construcción precarios, acceso limitado a servicios básicos y alta densidad poblacional. La integración de ambos componentes permitió identificar áreas de riesgo alto, principalmente en las manzanas F y G, donde se combinaron alta exposición y mayor susceptibilidad física. Se concluye que la aplicación de SIG permitió producir una zonificación precisa y replicable, constituyéndose en un instrumento técnico clave para la planificación territorial y la gestión preventiva del riesgo en Nasca.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica; Zonificación; Flujos de lodo; Análisis Multicriterio

¹ Autor principal

Correspondencia: yulyvvil@gmail.com

Application of GIS for the zoning of mudflow risk in Nasca, 2025

ABSTRACT

This article aims to apply Geographic Information Systems (GIS) tools to develop a risk zoning map for debris flows in the Ampliación Cajuca II Sector 1 settlement, located in the province of Nasca, during 2025. The study followed a quantitative, applied, and non-experimental cross-sectional design, integrating physical and socio-environmental information through a multicriteria analysis within a GIS environment. Geomorphological, hydrological, and climatic data were obtained from digital elevation models, INGEMMET geological maps, SENAMHI records, and official platforms such as SIGRID, and were complemented by a census survey of 47 lots and 262 inhabitants to characterize socio-constructive vulnerability. Variables were processed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and weighted overlay in QGIS and ArcGIS to generate hazard, vulnerability, and risk maps. Results show that most of the settlement is located in medium to medium-high hazard zones, associated with gentle slopes on an active alluvial cone, proximity to channels, and historical activation of gullies during extreme rainfall events such as the 2017 Coastal El Niño. Vulnerability was predominantly medium, influenced by precarious construction materials, limited access to basic services, and high population density. The integration of both components allowed the identification of high-risk areas, particularly in blocks F and G, where high exposure and physical susceptibility converged. It is concluded that GIS tools enabled the development of a precise and replicable zoning model, serving as a key technical instrument for territorial planning and risk management in Nasca.

Keywords: Geographic Information Systems; Zoning; Mudflows; Multi-Criteria Analysis

Artículo recibido 10 septiembre 2025

Aceptado para publicación: 15 octubre 2025



INTRODUCCIÓN

La gestión del riesgo de desastres se ha convertido en una prioridad para los gobiernos locales y regionales del Perú debido al incremento de la vulnerabilidad urbana y a la recurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos que afectan a las poblaciones asentadas en zonas no aptas (IPCC, 2021). Entre estos peligros, los flujos de lodo o huaycos representan uno de los fenómenos más destructivos en la costa sur, especialmente en la provincia de Nasca, donde la combinación de fuertes lluvias estacionales, cuencas pequeñas y pendientes irregulares favorece la activación de quebradas (INGEMMET, 2021; SERNANP, 2020). En este contexto, surge la necesidad de generar información geoespacial precisa que permita comprender el nivel de peligro y riesgo al que se exponen los centros poblados, particularmente aquellos con crecimiento urbano no planificado.

El problema principal que aborda este artículo es la ausencia de una zonificación técnica actualizada del riesgo por flujos de lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, espacio que presenta un avance de urbanización sobre un cono aluvial activo. Este vacío limita la toma de decisiones para la prevención, mitigación y planificación territorial. La relevancia del tema radica en que la población del área estudio ha experimentado episodios de afectación durante eventos como el Niño Costero 2017, lo que evidencia la necesidad de fortalecer los instrumentos de gestión y reducir el riesgo de desastres (CENEPRED, 2018). Estudios recientes señalan que la falta de información oportuna incrementa la exposición de zonas urbanas vulnerables (PNUD, 2019; FAO, 2018). Este trabajo contribuye al cierre de ese vacío mediante la integración de información geoespacial de alta relevancia.

El marco teórico se sustenta en los aportes de la gestión del riesgo de desastres, que conceptualiza el riesgo como la interacción entre peligro, vulnerabilidad y exposición (UNDRR, 2019; Cardona, 2004). Asimismo, se basa en los aportes del análisis espacial mediante SIG, reconocidos como herramientas fundamentales para evaluar amenazas naturales (Esri, 2020; Goodchild, 2018). Técnicas como el análisis multicriterio y el método AHP han sido ampliamente utilizadas en la evaluación de peligros geodinámicos (Malczewski, 1999; Torres & Delgado, 2019). Los criterios utilizados incluyen pendiente, geología, distancia a cauces, uso del suelo, condiciones de vivienda y densidad poblacional, variables ampliamente reconocidas por la literatura como determinantes en la ocurrencia y magnitud de flujos de lodo.



Diversos estudios previos demuestran la eficacia de los SIG para la evaluación de riesgos por movimientos en masa en el Perú y otros países andinos. Trabajos desarrollados en regiones como Áncash, Arequipa y Cusco han utilizado modelos digitales de elevación y ponderaciones AHP para identificar zonas críticas con alta precisión (Quispe, 2021; Condori & Zevallos, 2020; Cabrera & Cruz, 2020). Estas investigaciones evidencian que la combinación de datos geoespaciales y análisis multicriterio permite obtener resultados replicables y útiles para la planificación urbana. No obstante, en el caso específico de Nasca, aún existen limitaciones en la generación de estudios localizados que integren información socio-constructiva, lo cual deja espacios de incertidumbre y evidencia la necesidad de investigaciones aplicadas como la presente (Valverde & Ochoa, 2020).

El estudio se desarrolla en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, ubicado en un entorno físico altamente susceptible debido a su localización sobre un abanico aluvial y su cercanía a cauces temporales. El crecimiento urbano reciente ha incrementado la exposición al peligro, debido a viviendas de materiales precarios, falta de drenaje pluvial y alta concentración poblacional. Este contexto físico y social exige un análisis integral que permita caracterizar el nivel de riesgo con base en información objetiva y espacialmente detallada.

Finalmente, el artículo plantea como objetivo general aplicar herramientas de SIG para elaborar una zonificación del riesgo por flujos de lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, Nasca. Como objetivos específicos, se busca: (a) identificar y evaluar los factores condicionantes del peligro; (b) caracterizar la vulnerabilidad socio-constructiva de la población; y (c) integrar ambos componentes para determinar los niveles de riesgo. La investigación no formula hipótesis debido a su enfoque aplicado, aunque parte del supuesto metodológico de que la combinación de variables físicas y sociales mediante análisis multicriterio permite obtener un diagnóstico robusto y útil para la gestión del territorio.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, dado que se trabajó con datos medibles, geoespaciales y socio-constructivos que permitieron el análisis objetivo del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo por flujos de lodo (Creswell & Creswell, 2018).. El estudio es de tipo aplicada, debido a que utiliza conocimientos teóricos y herramientas tecnológicas para resolver un problema concreto de gestión del riesgo en un territorio específico. Asimismo, corresponde a un diseño no experimental,



transversal y descriptivo-explicativo, ya que no se manipularon variables y la recolección de información se realizó en un único momento temporal durante el año 2025, con el fin de explicar los niveles de riesgo presentes en el área de estudio (Orellana & Huamán, 2020).

La unidad de análisis estuvo constituida por el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, integrado por 47 lotes habitados y una población total de 262 personas. Debido al número reducido de unidades, se empleó un muestreo censal, por lo que se consideraron la totalidad de viviendas y ocupantes para la caracterización de la vulnerabilidad física, social y constructiva. Para el componente físico-ambiental, la población correspondió al territorio del centro poblado y su entorno geográfico inmediato, evaluado mediante capas geoespaciales provenientes de fuentes oficiales.

Las técnicas de recolección de datos incluyeron: (a) análisis documental de cartografía temática (geología, hidrografía, pendientes y uso del suelo); (b) levantamiento censal mediante ficha estructurada aplicada a cada vivienda; y (c) compilación de registros climáticos e hidrológicos de SENAMHI y CENEPRED. Los instrumentos utilizados fueron la ficha de vulnerabilidad socio-constructiva, la guía de observación de campo, los Modelos Digitales de Elevación (DEM), cartografía a escala 1:50 000 y el registro fotográfico georreferenciado.

El procesamiento de datos se realizó en un entorno de Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizando QGIS y ArcGIS. Para el análisis de peligro, se emplearon criterios que la literatura reconoce como determinantes en la dinámica de flujos de detritos, tales como pendiente, geología, morfología y distancia a cauces (FEMA, 2020; USGS, 2019). La ponderación de variables mediante el método Analytic Hierarchy Process (AHP) sigue el enfoque clásico propuesto por Saaty (1980) y utilizado ampliamente en estudios de riesgos naturales (Torres & Delgado, 2019; Álvarez & Montoya, 2020).

La construcción del índice de vulnerabilidad se sustentó en lineamientos de CENEPRED (2018) y en modelos de vulnerabilidad estructural desarrollados para asentamientos urbanos expuestos a peligros hidrometeorológicos (Martínez & Paredes, 2019). La integración final del riesgo mediante la ecuación $R = P \times V$ sigue la metodología recomendada por UNDRR (2019) y adoptada en investigaciones recientes en el contexto peruano (Mamani, 2020).

En cuanto a las consideraciones éticas, la recolección de información se realizó respetando la confidencialidad de los datos de los habitantes, quienes fueron informados sobre los fines académicos



del estudio y brindaron consentimiento verbal. No se recopilaron datos sensibles ni se afectó la integridad de los participantes.

Entre las limitaciones del estudio se reconoce la disponibilidad restringida de series históricas de lluvia en estaciones cercanas, así como la falta de cartografía de mayor resolución espacial. No obstante, el uso de métodos multicriterio y datos oficiales permitió garantizar la validez técnica de los resultados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis espacial permitió identificar los niveles de peligro por flujos de lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1, revelando que la mayor parte del territorio presenta peligro medio y medio-alto, condicionados principalmente por la pendiente, la geología del abanico aluvial y la proximidad a cauces temporales (Mendoza & Siguas, 2018; Tapia & Villalobos, 2017). El modelo generado mediante AHP mostró que las zonas ubicadas en las manzanas F y G concentran las mayores ponderaciones debido a su cercanía inmediata al cauce principal y a la presencia de depósitos recientes asociados a eventos de remoción en masa. Estos resultados coinciden con los criterios establecidos por INGEMMET (2021), que identifican los conos aluviales como ambientes geomorfológicos altamente susceptibles a la movilización rápida de sedimentos durante lluvias intensas. Asimismo, la distribución espacial del peligro se alinea con lo observado en estudios similares realizados en Nazca y en cuencas áridas de la costa sur peruana (Quispe, 2021; Condori & Zevallos, 2020).

En cuanto a la vulnerabilidad, los resultados del censo y las observaciones de campo permitieron determinar que predominan niveles de vulnerabilidad media, caracterizados por viviendas construidas con materiales mixtos (ladrillo–bloquetas–adobe), baja calidad estructural, ausencia de muros de contención y deficientes sistemas de drenaje pluvial. Además, la alta densidad poblacional, la cercanía entre viviendas y las limitaciones en servicios básicos contribuyen al incremento del potencial de daño.

Los sectores con vulnerabilidad alta se concentraron en zonas donde las edificaciones presentan techos ligeros y estructuras informales, situación que coincide con patrones identificados por CENEPRED (2018) en contextos urbanos con crecimiento acelerado y limitada regulación municipal.

La integración de ambos componentes permitió construir el mapa de riesgo por flujos de lodo, en el cual se identificaron tres niveles: riesgo bajo, medio y alto. El riesgo alto se localizó principalmente en las manzanas F, G y parte de la manzana C, zonas donde confluyen el mayor peligro físico y las condiciones



de vulnerabilidad constructiva descritas. Este hallazgo refuerza la premisa teórica que señala que el riesgo es el resultado directo de la interacción entre peligro y vulnerabilidad (UNDRR, 2019). Asimismo, los resultados son coherentes con investigaciones desarrolladas en Arequipa y Cusco, donde la presencia de material suelto, pendientes moderadas y viviendas informales se asoció a niveles elevados de riesgo ante flujos de detritos (Cabrera & Cruz, 2020).

Durante la discusión comparativa con estudios previos, se confirma que la metodología aplicada — particularmente el uso del análisis multicriterio y AHP en entornos SIG— ofrece resultados robustos y replicables, tal como lo sostienen Malczewski (1999) y Álvarez & Montoya (2020). Sin embargo, el presente estudio aporta un valor diferencial al integrar información socio-constructiva a nivel de lote, lo cual permite refinar sustancialmente la delimitación del riesgo. Esta precisión es especialmente relevante para los gobiernos locales, ya que posibilita focalizar intervenciones en sectores prioritarios y desarrollar medidas de mitigación específicas.

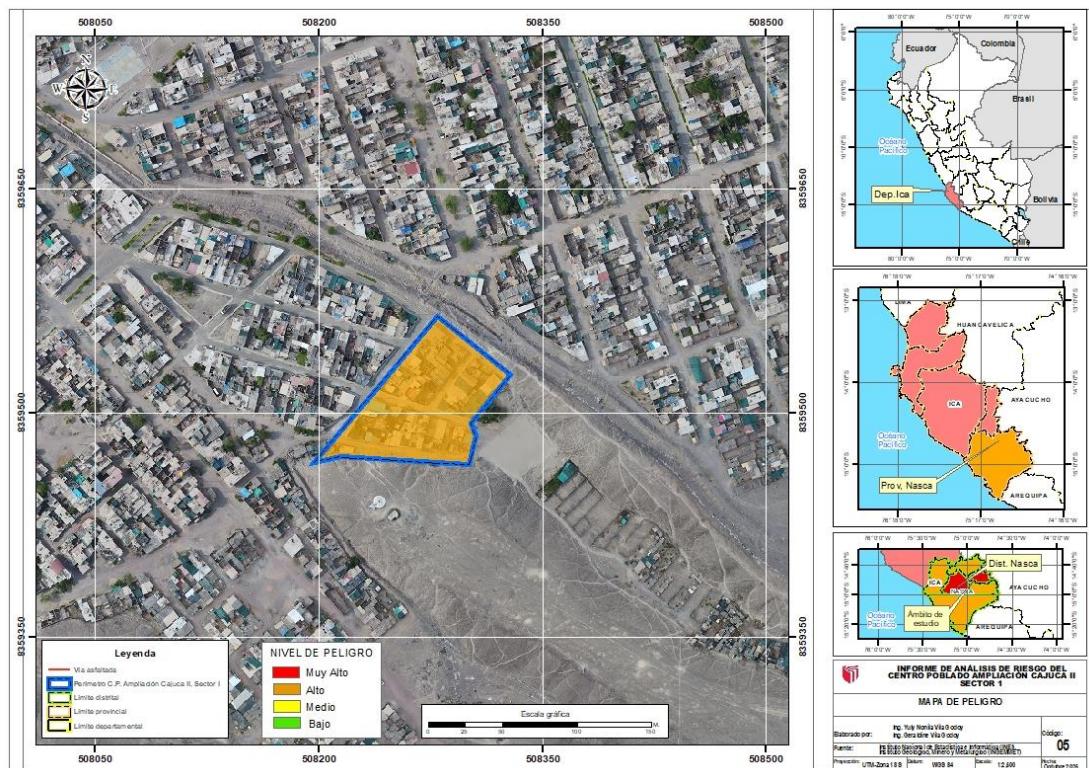
Asimismo, los resultados evidencian la urgencia de implementar medidas preventivas, tales como la construcción de diques de encauzamiento, canales de coronación, reubicación de viviendas en zonas críticas y fortalecimiento del ordenamiento territorial. De igual forma, se destaca la pertinencia de incorporar modelos predictivos basados en escenarios climáticos futuros, considerando que eventos como el Fenómeno El Niño intensifican la recurrencia de precipitaciones extremas en la región.

En conjunto, los hallazgos confirman que el Centro Poblado Ampliación Cajucá II Sector 1 presenta condiciones que lo sitúan en un nivel significativo de riesgo, especialmente frente a eventos hidrometeorológicos intensos. La evidencia proporcionada por este estudio constituye una base técnica sólida para la planificación urbana y la gestión del riesgo de desastres en Nasca, fortaleciendo la capacidad de respuesta local y reduciendo las posibilidades de afectación futura.



ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS.

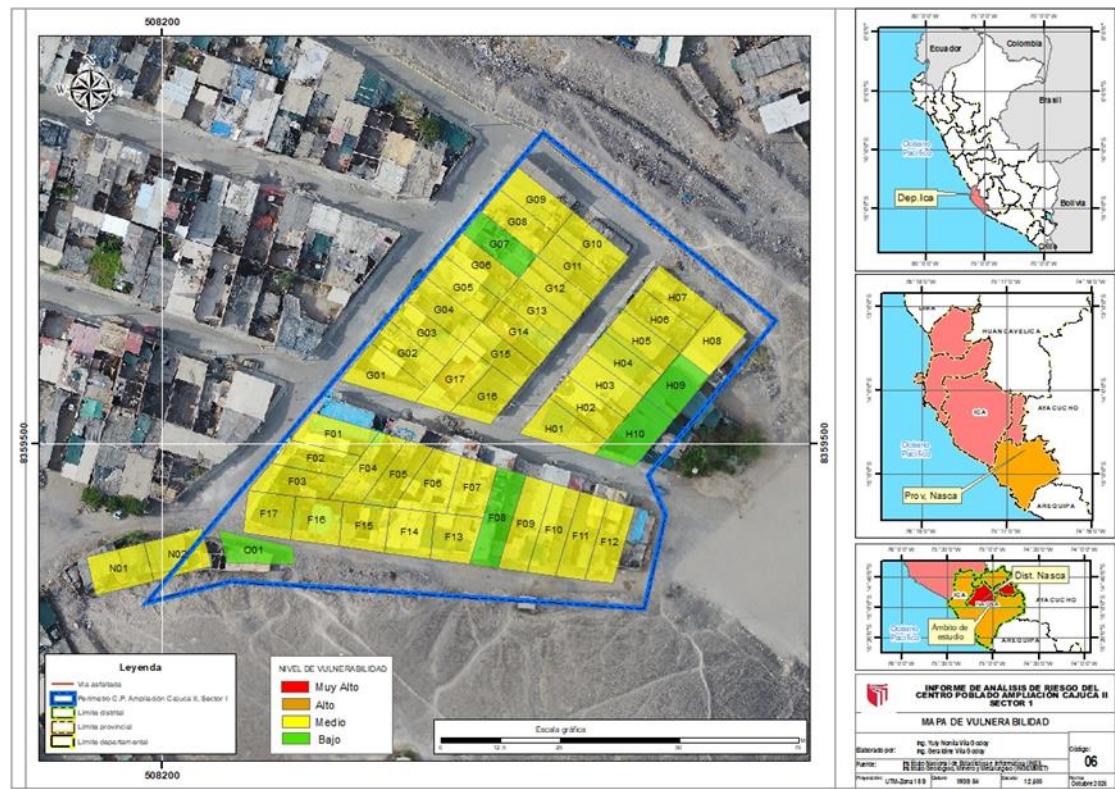
Ilustración 1: Mapa de Zonificación del Peligro por Flujos de Lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II, Sector 1.



Fuente: Elaboración propia basada en MDE (2024) y cartas geológicas (INGEMMET).

El mapa muestra la clasificación del peligro físico, resultado de la integración de la Pendiente, la Litología y la Distancia a Cauces. Se utilizan colores fríos (azul/verde) para Peligro Bajo y colores cálidos (naranja/rojo) para Peligro Alto/Muy Alto. La simbología incluye el trazado de las quebradas principales y los límites del sector de estudio.

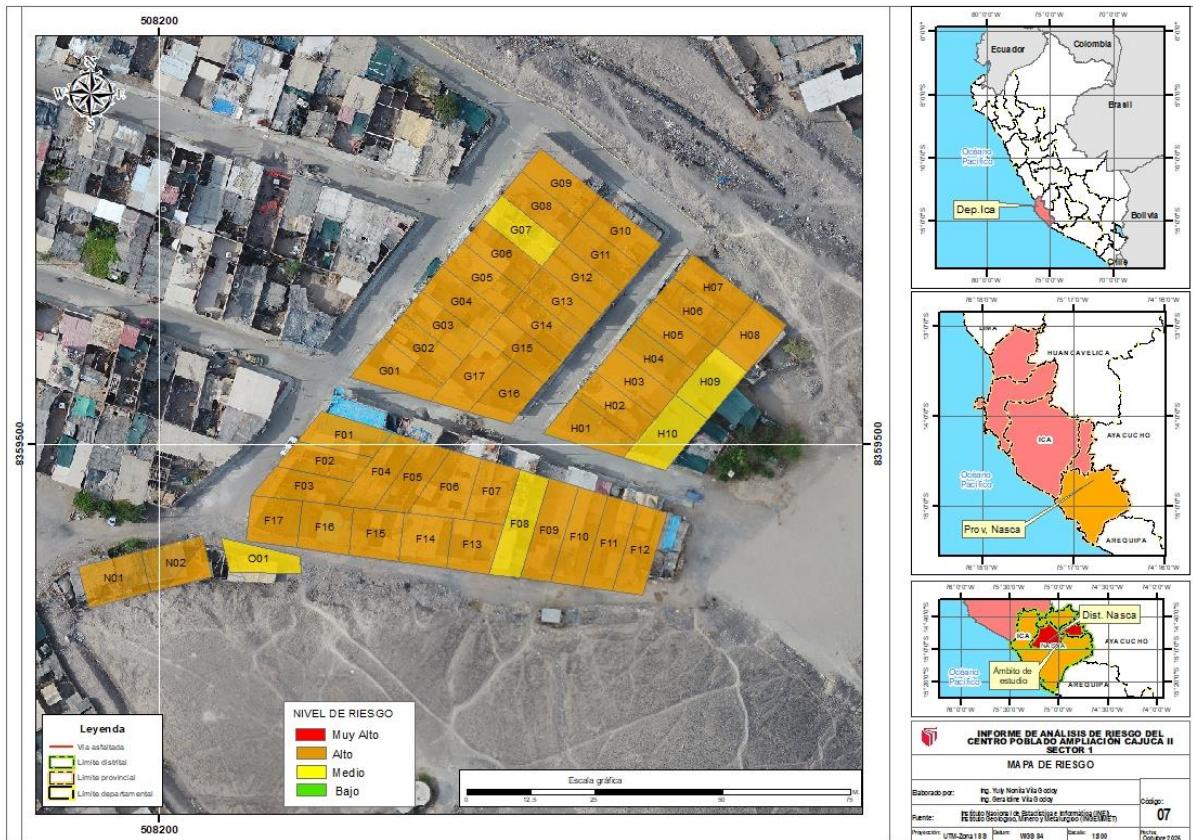
Ilustración 2: Mapa de Vulnerabilidad de los Lotes por Flujos de Lodo en el Centro Poblado Ampliación Cajuca II.



Fuente: Elaboración propia a partir de Fichas de Campo (2025).

El mapa representa el nivel de vulnerabilidad de cada lote (unidad censal), determinado por la densidad poblacional y los materiales constructivos (Vulnerabilidad Baja, Media y Alta). Los lotes en rojo indican el mayor riesgo social y físico.

Ilustración 3: Mapa de Zonificación de Riesgo Final por Flujos de Lodo ($R=P \times V$) y su Relevancia en la Planificación Territorial.



Fuente: Modelado SIG del presente estudio (2025).

Este mapa es el resultado final de la superposición ponderada del Peligro (Ilustración 1) y la Vulnerabilidad (Ilustración 2). Utiliza una paleta de colores para diferenciar las categorías de Riesgo (Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto). La categoría Riesgo Alto (rojo) delimita las áreas prioritarias para la implementación de medidas de mitigación estructurales y no estructurales.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten concluir que el Centro Poblado Ampliación Cajuca II Sector 1 presenta condiciones que lo sitúan en un nivel significativo de riesgo ante flujos de lodo, debido a la convergencia de factores físicos, ambientales y socio-constructivos que incrementan su exposición y vulnerabilidad. La aplicación combinada de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el análisis multicriterio AHP demostró ser una herramienta eficaz para identificar con alta precisión las zonas con mayor susceptibilidad, lo cual constituye un insumo clave para la gestión del riesgo de desastres en la provincia de Nasca.

El análisis del peligro evidenció que la ubicación del centro poblado sobre un cono aluvial activo, sumada a la presencia de cauces temporales y depósitos recientes de remoción en masa, configura un entorno geomorfológico propenso a la activación de huaycos, especialmente durante eventos de lluvias intensas o asociados a El Niño Costero. La vulnerabilidad predominante es de nivel medio, pero se incrementa en sectores donde las viviendas presentan estructuras mixtas, materiales precarios, limitada capacidad de resistencia y ausencia de sistemas de drenaje pluvial, lo cual agrava el potencial de daño. En consecuencia, el riesgo alto identificado en manzanas específicas confirma la necesidad urgente de implementar medidas de prevención y mitigación, tales como obras de encauzamiento, drenaje pluvial, reforzamiento constructivo y regulación del crecimiento urbano. Asimismo, el estudio aporta una base geoespacial sólida que puede ser utilizada por las autoridades locales para actualizar sus instrumentos de planificación, priorizar intervenciones y fortalecer la toma de decisiones orientadas al ordenamiento territorial.

Finalmente, se reconoce que persisten áreas de investigación abiertas, como la incorporación de modelamientos hidrológicos dinámicos, la proyección de escenarios climáticos futuros y la evaluación del riesgo residual. Estas líneas permitirán mejorar la comprensión del fenómeno y contribuir a la construcción de territorios más seguros y resilientes.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, P., & Montoya, M. (2020). Aplicación del método AHP para la evaluación de riesgos naturales en entornos urbanos. *Journal of Environmental Analysis*, 30(2), 112-127.
- Cabrera, M., & Cruz, R. (2020). Evaluación de riesgos geodinámicos en Arequipa y Cusco usando SIG y AHP. *Revista Peruana de Geografía*, 20(1), 34-49.
- CENEPRED. (2018). Informe de gestión y reducción del riesgo de desastres en Perú.
<https://www.cenepred.gob.pe>
- CENEPRED. (2018). *Manual para la evaluación y gestión del riesgo de desastres*. <https://www.cenepred.gob.pe/web/manuales>
- Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED). (2018). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. <https://www.cenepred.gob.pe>
- Condori, K., & Zevallos, A. (2020). Aplicación de SIG y AHP en la zonificación de riesgos. *Revista Peruana de Geografía*, 16(2), 45-60.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Esri. (2020). Spatial analysis with GIS. Esri Press.
- FAO. (2018). Análisis de vulnerabilidad y riesgos en zonas rurales. <https://www.fao.org>
- Federación de Gestión de Emergencias (FEMA). (2020). *Peligro y vulnerabilidad en flujos de lodo*. <https://www.fema.gov>
- FEMA. (2020). *Hazard identification and risk assessment*. Federal Emergency Management Agency. <https://www.fema.gov>
- Gabriel-Campos, E. N., & Osejo-Maury, J. A. (2025). Análisis del riesgo de desastres por flujo de lodo en puntos críticos de la cuenca Chilca, región de Lima, Perú. *Revista REDER*. <https://www.revistareder.com/ojs/index.php/reder/article/view/187>
- Goodchild, M. (2018). Geographic information science and systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 1-28.
- INGEMMET. (2021). Mapas de susceptibilidad y riesgo en la costa sur del Perú. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.



- IPCC. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. Wiley.
- Mamani, R. (2020). Aplicación de la metodología de evaluación de riesgos en zonas urbanas vulnerables del Perú. *Revista Peruana de Gestión Integral*, 4(1), 22–33.
- Martínez, J., & Paredes, L. (2019). Modelos de vulnerabilidad estructural en asentamientos urbanos expuestos a riesgos hidrometeorológicos. *Revista de Ingeniería*, 27(3), 45–59.
- Orellana, M., & Huamán, E. (2020). *Métodos de investigación en ciencias sociales y ambientales*. Editorial Académica.
- PNUD. (2019). Informe sobre desarrollo humano y gestión territorial. <https://www.undp.org>
- Quispe, M. (2021). Modelos digitales para gestión de riesgos. *Revista Andina de Geografía*, 10(1), 78-93.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. McGraw-Hill.
- SENAMHI. (2025). *Registro climático y datos hidrológicos*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>
- SERNANP. (2020). Informe de riesgos en áreas protegidas de la costa sur. Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas.
- Torres, A., & Delgado, P. (2019). Aplicación del método AHP para la evaluación de peligros naturales. *Journal of Environmental Science*, 34(2), 114–127.
- UNDRR. (2019). *Terminology on disaster risk reduction*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. <https://www.undrr.org>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2019). *Terminology on disaster risk reduction*. <https://www.undrr.org>
- USGS. (2019). *Landslide hazard assessment*. U.S. Geological Survey. <https://www.usgs.gov>
- Valverde, J., & Ochoa, R. (2020). Integración socio-constructiva en estudios de riesgo. *Estudios Regionales Andinos*, 24(2), 101-117.

