

RIESGO Y VULNERABILIDAD FRENTE A PELIGROS HIDROGEOLÓGICOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA QUEBRADA DEL DIABLO, TACNA, PERÚ

Raul Cartagena Cutipa^{1*}, Zoraira del Pilar Choque Chambilla¹, Pablo Alejandro Guillermo Medina¹, Angie Mercedes Martínez Tesillo¹, Humberto Jacinto Santana Soto¹ y Martha Sofia Ventura Aco¹

1. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.

*Autor de correspondencia:
raucartagenac@upt.pe

DOI:
<https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.147>

RECIBIDO
8 de julio de 2023

ACEPTADO
24 de agosto de 2023

PUBLICADO
1 de enero de 2024

Formato cita Recomendada (APA):
Cartagena Cutipa, R., Choque Chambilla, Z. del P., Guillermo Medina, P.A., Martínez Tesillo, A.M., Santana Soto, H.J., & Ventura Aco, M.S. (2024). Riesgo y vulnerabilidad frente a peligros hidrogeológicos de movimientos en masa en La Quebrada del Diablo, Tacna, Perú. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 8(1), 193-207. <https://doi.org/10.55467/reder.v8i1.147>



Todos los artículos publicados en REDER siguen una política de Acceso Abierto y se respaldan en una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres (REDER)

RESUMEN

El estudio realizado en La Quebrada del Diablo, ubicada en la región Tacna, Perú, revela niveles elevados de vulnerabilidad en los asentamientos humanos de esta zona. Se identificaron vulnerabilidades en los aspectos ambientales, físicos, económicos, sociales, educativos, políticos e institucionales, utilizando la metodología propuesta por el Instituto Nacional de Defensa Civil. Además, se evaluaron los niveles de amenaza sedimentaria, morfodinámica y geodinámica mediante mapas temáticos. Los factores que contribuyen a la vulnerabilidad, incluyen la contaminación por residuos sólidos, la construcción de viviendas antitécnicas, la falta de preparación en prevención de riesgos y la escasa conciencia sobre los peligros presentes en el área. En particular, el Asentamiento Humano El Mirador mostró una vulnerabilidad muy alta, mientras que la Asociación La Florida, una vulnerabilidad alta. Estos resultados coinciden con las amenazas geológicas identificados en el área, como flujos, caídas y derrumbes. Por lo tanto, es importante tener en cuenta las características sedimentarias, geodinámicas y morfodinámicas para determinar la vulnerabilidad. El estudio enfatiza la necesidad de implementar medidas de prevención y reducción de riesgos, así como una planificación adecuada y la participación de la comunidad para hacer frente a los desafíos presentes en esta zona de alto riesgo.

PALABRAS CLAVES

Movimientos en masa; Quebrada; Riesgos; Vulnerabilidades; Perú

RISK AND VULNERABILITY FACING HYDROGEOLOGICAL HAZARDS OF MASS MOVEMENTS IN THE 'QUEBRADA DEL DIABLO' RAVINE, TACNA, PERU

ABSTRACT

The study conducted in 'Quebrada del Diablo' ravine, located in the Tacna region, Peru, reveals high levels of vulnerability in the human settlements of this area. Vulnerabilities were identified in environmental, physical, economic, social, educational, and cultural aspects using the methodology proposed by the National Institute of Civil Defense. Additionally, sedimentary, morphodynamic, and geodynamic hazards levels were evaluated through thematic maps. Factors contributing to vulnerability include solid waste pollution, the construction of substandard housing, lack of preparedness in risk prevention, and limited awareness of the dangers present in the area. Particularly, El Mirador Human Settlement showed a very high vulnerability, while La Florida Association exhibited a high vulnerability. These results align with the geological threats identified in the area, such as flows, falls, and collapses. Therefore, it is important to take into account the sedimentary, geodynamic and morphodynamic characteristics in determining vulnerability and exposure. The study emphasizes the need to implement prevention and risk reduction measures, as well as proper planning and community participation to address the challenges in this high-risk area.

KEYWORDS

Mass movements; Creek; Risks; Vulnerabilities; Peru

INTRODUCCIÓN

Los procesos de remoción en masa o movimientos en masa generalmente ocurren debido a acciones o mecanismos antrópicos, siendo la precipitación y las condiciones hidrogeomorfológicas de la cuenca los factores desencadenantes. Se considera que el gradiente topográfico, la sismicidad, la meteorización de la roca y las lluvias intensas, son factores relevantes en la presencia de este tipo de eventos extremos, que ocurren generalmente durante los períodos de precipitaciones (Ordoñez, 2019).

Cada evento relacionado con la precipitación genera impactos significativos tanto a nivel espacial como temporal. Es necesario comprender su dinámica y procesos de interacción, ya que están asociados con los procesos de remoción en masa o movimiento en masa, como deslizamiento, huaicos, inundaciones y lluvias intensas. Estos se activan de manera inmediata con precipitaciones fuertes, en conjunto con las características adversas de los ecosistemas en cada una de las cuencas hidrográficas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2019). Históricamente las ciudades se han establecido dentro de cuencas, subcuencas y microcuencas naturales que han experimentado una transformación drástica y acelerada debido al rápido crecimiento urbano, lo que ha provocado cambios significativos en el uso del suelo (Mora et al., 2023), aumentando el riesgo para la población.

Gran cantidad de ciudades y áreas urbanas se han construido en terrenos planos que, en muchos casos, son antiguos deslizamientos que han sido nivelados en las partes bajas de las cuencas. En consecuencia, las quebradas que son consideradas secas, pueden reactivarse y causar daños en momentos de lluvia extrema (Tavera, 2021). En el mismo sentido, ha habido varios eventos catastróficos debido a la activación de quebradas que ha devastado ciudades enteras. El problema se agrava por la falta de planificación urbana y crecimiento de la población, en muchos casos debido a migraciones, colonizaciones e invasiones de grupos humanos.

Desde la década de los 80, la población de Tacna ha experimentado un crecimiento triplicado, lo cual ha incrementado la necesidad de vivienda. Esta realidad ha dado lugar a un crecimiento desordenado que ha llevado a la urbanización de zonas consideradas muy peligrosas, según afirman Jara y Ramos (2021). Estas acciones territoriales inestables, sin control y sin apoyo técnico, han provocado desastres que han resultado en pérdida de vidas y propiedades.

La zona conocida como Quebrada del Diablo, ubicada al norte de la ciudad, debido a sus características, está sujeta a caída de rocas, derrumbes y huaicos. Aquí es importante hacer la definición de este último término, que ha sido usado indistintamente como huayco o huaico, y proviene del vocablo quechua *wayq'u*, que se refiere a una inundación repentina causada por la crecida de un río debido a lluvias intensas. En la actualidad, este término se emplea para describir el flujo de suelo o detritos (Oliveros et al., 2017; Pareja et al., 2022). En este estudio se emplea el término huaico por ajustarse mejor a las pautas ortográficas del idioma y haber sido aceptado por la Real Academia Española (RAE, 2023).

La Quebrada del Diablo ha sido calificada como una zona crítica por peligro geológico, sin embargo, se han establecido diversas asociaciones de vivienda sobre antiguos depósitos de flujo. Después de una lluvia excepcional de 23 mm, en febrero del 2020, se generó un flujo de lodo que movilizó material arenoso a lo largo de su recorrido y se depositó en el área. Debido a la ocupación antrópica, no había un cauce definido, lo que afectó las asociaciones de vivienda El Mirador, La Florida y San Pedro, así como al mercado principal y la terminal terrestre de Tacna, que se encuentran en la zona baja (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMET], 2020). Según afirma Thouret et al. (2022), el evento repentino se produjo debido al entorno árido o semiárido, donde la lluvia se acumuló en un corto lapso y el suelo tenía poca capacidad para absorberla, lo que resultó en un rápido escurrimiento en las pendientes pronunciadas poco después de que comenzó la lluvia.

Según Renda (2017), para asegurar la efectividad del mapa de riesgo como herramienta de planificación, es fundamental actualizarlo debido a la variabilidad espacio-temporal de las amenazas y los factores de vulnerabilidad. En este sentido, el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) resulta altamente eficaz, ya que permite incorporar nueva información a medida que se genera y actualiza.

Renda (2017) también señala que los mapas de riesgo se generan mediante la combinación de mapas de amenaza y mapas de vulnerabilidad, los cuales son el resultado de índices e indicadores específicos. Un mapa de riesgo es una herramienta de análisis esencial que tiene múltiples usos, como la identificación de zonas con mayor o menor riesgo ante diferentes peligros. Esto es crucial para determinar las áreas que requieren intervención y se convierte en un recurso fundamental para prevenir situaciones futuras de riesgo y adaptar la gestión del territorio a las condiciones restrictivas para su ocupación.

En este contexto, el objetivo de la investigación fue evaluar el riesgo y vulnerabilidad que afectan a la población del Asentamiento Humano El Mirador (AHM) y la Asociación La Florida (ALF) mediante mapas temáticos que representan peligros hidrogeológicos de movimientos en masa en el sector de La Quebrada del Diablo. Antes de continuar, consideramos importante aclarar nuestro enfoque de vulnerabilidad. De acuerdo a Sandoval (2017, p.47), la vulnerabilidad ante desastres “consiste en las circunstancias y características de un elemento de interés —por ejemplo, comunidad, sistema o activo— que influyen en la capacidad de dicha comunidad para anticipar, enfrentar, resistir y recuperarse de los impactos negativos de un evento natural extremo o causado por el ser humano, y de igual manera hacen a la comunidad susceptible a impactos extremos”.

METODOLOGÍA

Para determinar las amenazas que afectan a la zona de estudio, se realizó una exhaustiva revisión de las principales fuentes documentales que incluyen registros históricos, documentos técnicos y estudios llevados a cabo por instituciones como el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMET], 2016) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDEC). Además, se consideraron los registros históricos de eventos significativos, como el huaico del 2020, el cual generó consecuencias catastróficas en viviendas y calles (Figura 1). Esta revisión permitió obtener información precisa sobre las amenazas existentes en la zona de estudio, brindando un marco de referencia para el desarrollo de la investigación.



Figura 1. Nivel de daños en la parte baja de La Quebrada del Diablo durante el huaico del año 2020
Fuente: Izquierda, Jhon Surco, 2020. Derecha, Luz Venegas, 2020.

En La Quebrada del Diablo se encuentra situada en la Asociación de Vivienda La Florida y el Asentamiento Humano el Mirador, ubicado en el distrito Alto de la Alianza en Tacna. Sus coordenadas UTM (WGS-84) son: 365995, 8009632, y tiene una altitud de 626 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), como se muestra en la Figura 2.

En el AHM se han establecido 36 viviendas donde viven 180 habitantes, mientras que, en la ALF, conformada por 218 viviendas, habitan un total de 1 090 habitantes.

En cuanto al tipo de material predominante en las viviendas del AHM, se encuentra que el 29,2 % de las viviendas son de material noble como concreto armado, albañilería y techo aligerado. El 43,1 % son de material noble ligero con concreto armado, albañilería, techo de cobertura liviana como calamina u otros similares. Además, el 27,8 % de las viviendas están construidas de material prefabricado como *drywall* u otros similares.

Por otro lado, en la ALF: el 51,1 % de las viviendas son de material noble, mientras que el 29,3 % son de material noble ligero que incluye concreto armado, albañilería, techo de cobertura liviana como calamina y otros similares. Por último, el 19,6 % de las viviendas están construidas de material prefabricado.

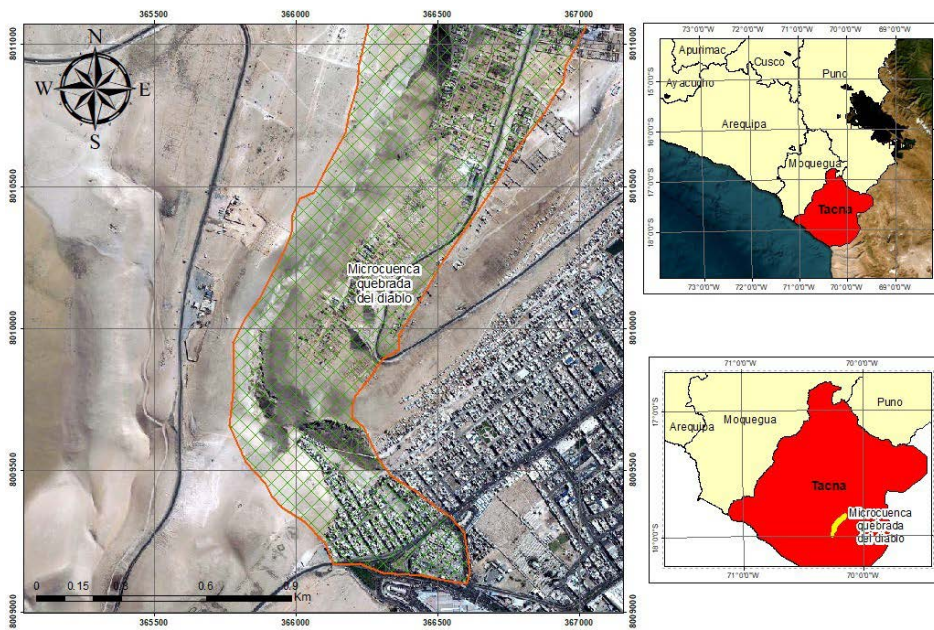


Figura 2. Mapa de ubicación de La Quebrada del Diablo

Fuente: Autores, 2024.

Medición de la vulnerabilidad

Al evaluar la vulnerabilidad, es importante considerar que la percepción del riesgo puede variar dependiendo de cómo se recopilen, seleccionen e interpreten las señales con los impactos de los eventos. Existen diferencias significativas en la percepción del riesgo tanto dentro de la población no experta como entre expertos y población no experta (Faye & Sadio, 2023). Por lo tanto, se utilizó un enfoque dual para la evaluación que incluyó la estimación de las vulnerabilidades y el análisis de los indicadores geomorfológicos, los cuales fueron representados en mapas de riesgo utilizando el sistema de información geográfica ArcGIS.

Para medir la percepción del riesgo de los habitantes de la zona, se formuló un cuestionario compuesto de 12 preguntas. Este cuestionario se administró a una muestra de 72 habitantes en AHM y 225 habitantes en la zona de la ALF, con el fin de recopilar información y determinar el porcentaje de vulnerabilidades, siguiendo el manual de estimación de vulnerabilidades establecido por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2011), el cual se detalla en la Tabla 1.

El instrumento utilizado para la recopilación de información abarcó diversos aspectos, como la determinación de las características del material de construcción de las viviendas, las características socioeconómicas en términos del nivel de ingresos y las amenazas, considerando los impactos sufridos por huaicos, inundaciones, acumulación de residuos sólidos. Además, el instrumento también recopiló información sobre la organización de la población frente a las amenazas, incluyendo el reconocimiento de las zonas seguras en caso de huaicos y la identificación de la zona como una de alto riesgo.

Por último, también se recopiló información acerca de la preparación de la población ante las amenazas, incluyendo las capacitaciones recibidas sobre prevención de riesgos y las medidas a tomar en caso de eventos.

| Factores | Vulnerabilidad | | | |
|--------------------------|--|--|---|--|
| | Baja <25 % | Media 26 a 50% | Alta 51 a 75 % | Muy Alta 76 a 100% |
| Ambiental y ecológico | El área de estudio no presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, por lo que la población no se ve afectada. | El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a sectores focalizados de la población (< 20%). | El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más de la quinta de la población (entre el 20% y 50% de la población). | El área de estudio presenta equipamientos o establecimientos que emiten sustancias o materiales contaminantes y/o tóxicos, afectando a más del 50% de la población |
| Físico | Estructura sismo resistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero) | Estructura de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva | Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales | Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario |
| Económico | El acceso a servicios existe en óptimas condiciones. | El acceso a servicios básicos existe en condiciones buenas. | El acceso a servicios básicos existe pero en condiciones regulares. | El acceso a servicios básicos es restringido y en malas condiciones. |
| Educativo | La población se capacita constantemente en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura total. | La población se capacita con regular frecuencia en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura mayoritaria. | La población está escasamente capacitada en temas concernientes a Defensa Civil, siendo su difusión y cobertura escasa. | La totalidad de la población no cuenta ni desarrollan ningún tipo de programa de capacitación en temas concernientes a Defensa Civil. |
| Social | Fuerte relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales. | Existe una parcial relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales | Débil relación e integración entre las Instituciones y organizaciones | No existe relación e integración entre las Instituciones y organizaciones locales. |
| Político e Institucional | Acciones de prevención y/o mitigación de desastres están consideradas dentro de los planes estratégicos de desarrollo (o se viene implementando). | Algunas acciones de prevención y/o mitigación de desastres están considerados dentro de los planes estratégicos de desarrollo pero nunca se implementaron. | El soporte legal del territorio que ayude a la reducción de riesgos del territorio en el que se encuentra el área en estudio, no se hacen cumplir. | No existen instrumentos legales locales que apoyen la reducción del riesgo. |

Tabla 1. Estimación de la vulnerabilidad en función de sus factores

Fuente: Adaptado de INDECI (2011). Guía para la elaboración del Plan de Contingencia ante Emergencias (PCE) en instituciones del estado.

Indicadores geomorfológicos para el análisis de vulnerabilidad

Los conceptos de la geomorfología son considerados fundamentales, ya que sus alcances se aplican en la planificación de los territorios para un mejor aprovechamiento de los recursos, así como para la determinación del riesgo ante la presencia de amenazas naturales (Granado, 2020), por tanto el conocimiento de la geomorfología de la zona es fundamental para cuantificar la vulnerabilidad.

Los indicadores geomorfológicos considerados incluyeron las características sedimentarias, las morfodinámicas y las geodinámicas, clasificándose como amenaza baja, moderada y alta. Para su análisis se emplearon los métodos propuestos por Ross (1994), Crepani et al. (1996, 2001), Tagliani (2003) y Grigio (2003), adaptando sus técnicas a la realidad geoambiental del área de estudio y a su escala de análisis. El objetivo principal fue mantener el paisaje como una unidad cohesiva utilizando la teoría ecodinámica de Crepani et al. (1996; 2001), complementada con la publicación de Tricart (1977).

La teoría de la ecodinámica se fundamenta en los conceptos de estabilidad del paisaje desarrollados por Tricart (1977). Las operacionalizaciones de Crepani et al. (1996; 2001) utilizan estos conceptos para establecer una unidad funcional del paisaje.

El análisis morfodinámico permite identificar diferentes categorías de paisaje derivadas de procesos de morfogénesis y pedogénesis. Este análisis se basa en los principios de la ecodinámica para examinar los paisajes de forma natural. Si la morfogénesis es más prevalente, el paisaje muestra condiciones fuertemente inestables (valor 3.0). En cambio, si la pedogénesis es más

frecuente, predominan los procesos de formación del suelo (valor 1,0). Cuando se produce un equilibrio entre morfogénesis y pedogénesis, prevalece el morfotipo integrado (valor 2,0).

Se definieron diversos temas primarios basados en mapeos realizados a una escala de 1:10000. Los principales temas utilizados en la elaboración de los indicadores fueron; geología, pedología, geomorfología, declive, Intensidad de lluvia, cobertura y uso de suelo/vegetación.

El modelado se llevó a cabo mediante una parametrización paralela y secuencial de tres pasos de álgebra de mapas. El primer paso consistió en cruzar los temas de geología y pedología, lo cual dio lugar al mapa de cobertura sedimentaria. La segunda etapa implicó cruzar los temas de geomorfología y pendiente, resultando en el mapa básico de morfodinámica. Por último, en el tercer paso se superpusieron estos dos mapas con el tema de intensidad de lluvia, generándose un tercer mapa referido a la geodinámica de la zona.

Aspectos geológicos

Las unidades litoestratigráficas que se aprecian en La Quebrada del Diablo son relativamente nuevas, desde el neógeno hasta la actualidad, se presentan como conglomerados ígneos y andesíticos de gravas y arenas del neógeno. Además, se encuentran depósitos de cenizas de la erupción del Huaynaputina sobre rocas ígneas y conglomerados (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico [INGEMET], 2020).

Elaboración de mapas

Para la construcción de los mapas, se utilizó la base de datos de satélite SIG proporcionada por la agencia USGS (United States Geological Survey) a través de su explorador terrestre EarthExplorer. Se establecieron los siguientes criterios de búsqueda para el área de la región de Tacna: Geocoding Method, limitando con los siguientes códigos: Path/Row; Type, WRS2; Path; 002; Row, 072. Se emplearon los siguientes conjuntos de datos para el Data Set(s): Landsat, Landsat collection 1, Landsat collection 1 Level 1 y Landsat 7 EMT + C1 Level – 1.

Para obtener los resultados deseados, se buscaron imágenes de satélite que cumplieran con los criterios del área, fecha y porcentaje de cobertura de las nubes. Se seleccionaron las siguientes características: fecha de adquisición, 4 de marzo del 2020; opciones de descarga completa, imagen en color natural LandsatLook, imagen térmica LandsatLook, imagen de calidad LandsatLook, imágenes LandsatLook con referencia geográfica y producto de datos GeoTIFF de nivel 1. Estas imágenes se descargaron para su posterior uso en el software ArcGIS, el cual se utiliza para gestionar y obtener información a partir de imágenes y datos obtenidos por teledetección.

RESULTADOS

Percepción poblacional

La mayoría de población es consciente de que habita en una zona de alto riesgo. En el AHM, el 78,8 %, conocía la realidad de la zona, mientras que en la ALF este porcentaje fue mayor alcanzando el 82,7 %. En función de este argumento, se consultó si habían percibido preparación frente a los riesgos de habitar la zona, evidenciándose que solo la mitad de la población había recibido alguna capacitación por parte de las autoridades.

En cuanto al conocimiento de zonas seguras en caso de peligros hidrogeológicos, solo el 34,7 % de los habitantes del AHM tenía conocimiento, mientras que el resto no lo tenía; en cambio, en la ALF el conocimiento aumentaba al 49,8 %.

Asimismo, al indagar sobre los efectos ocasionados por el huaico ocurrido en el 2020, se estableció que el 66,7 % de la población del AHM fue afectada, mientras que en la ALF este porcentaje fue mayor (74,7 %).

En relación a las afectaciones socioeconómicas manifestadas por los pobladores del AHM, el 15 % reportó pérdidas económicas, el 18,13% experimentó derrumbes de viviendas, el 18,13 % sufrió inundaciones, el 30 % experimentó efectos de humedad en pisos y paredes, el 18,75 % sufrió acumulación de lodo y desechos. Por otro lado, en la ALF, el 18,24 % reportó pérdidas económicas, el 13,90 % experimentó derrumbes de viviendas, el 22,12 % sufrió inundaciones, el 23,62 % experimentó efectos de humedad en pisos y paredes, el 22,12 % sufrió acumulación de lodo y desechos.

Mapa de amenaza sedimentaria

Se utilizaron los datos de geología y pedología para evaluar las amenazas según las características sedimentarias en la zona de La Quebrada del Diablo. Se clasificaron en dos categorías: primero, Tobas riolitas y riolitas, y segundo, gravas y arenas mal seleccionados en matriz limo arenosa. Además, se identificó la existencia de formaciones de Huayllillas superiores y el tipo de roca volcánica sedimentaria, lo que presenta una amenaza moderada y alta en ambas zonas habitacionales, como se observa en la Figura 3.

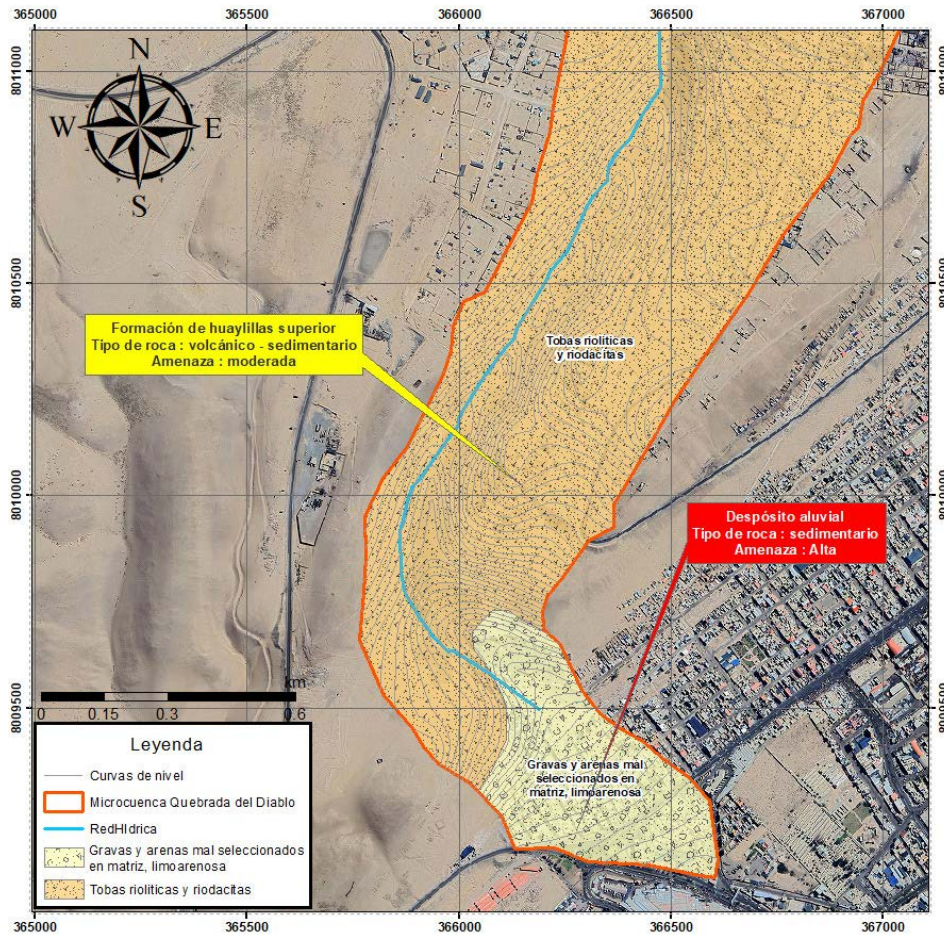


Figura 3. Mapa de amenaza sedimentaria
Fuente: Autores, 2024.

Mapa de amenaza morfodinámica

Se utilizaron como datos de entrada los mapas de geomorfología y declive para evaluar las características morfodinámicas en la zona de La Quebrada del Diablo (Figura 4). Se clasificaron en tres categorías: primero, caída de rocas; segundo, la erosión de laderas; y tercero el abanico aluvial. Se identificó la presencia de erosiones de ladera con una amenaza Baja. La zona evaluada presenta caída de rocas con una amenaza media y abanico aluvial con una amenaza alta hacia la población.

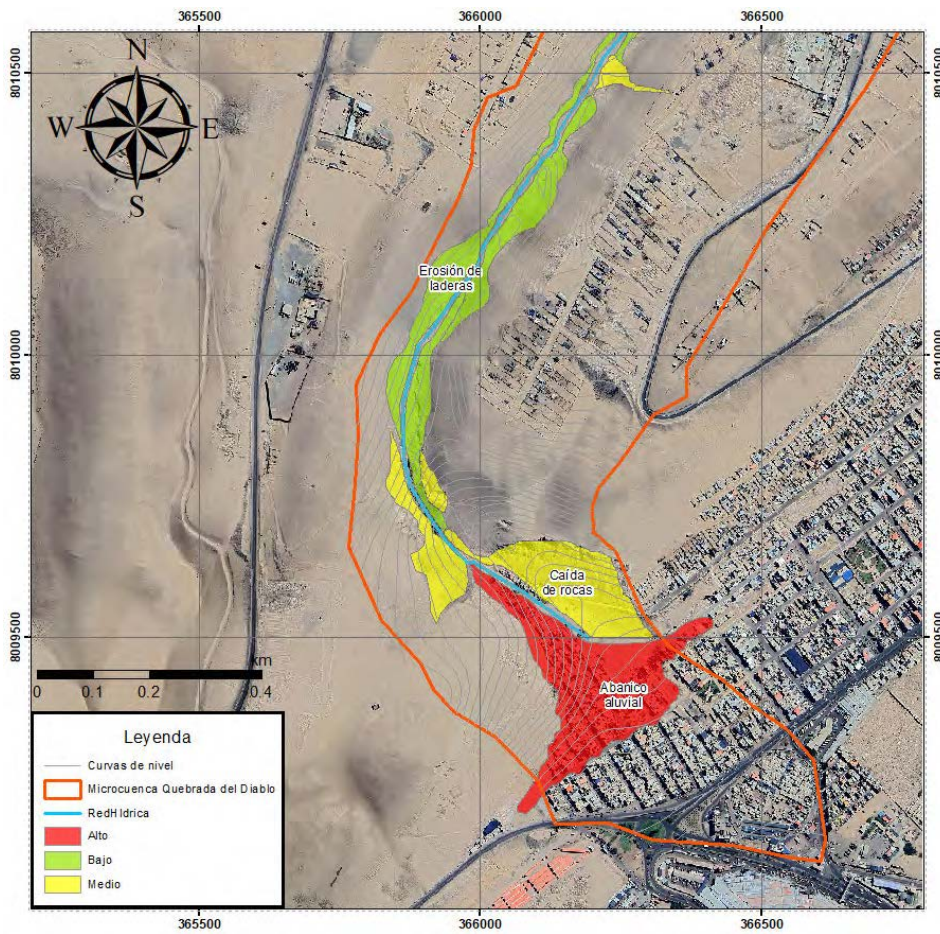


Figura 4. Mapa de amenaza morfodinámica
Fuente: Autores, 2024.

Mapa de amenaza geodinámica

En el mapa de amenaza geodinámica se observa que los deslizamientos presentan un nivel de amenaza baja (Figura 5), la zona de transporte muestra una amenaza moderada, además de erosiones. Por último, en la zona de depósito, que tiene una amenaza alta, se encuentra ubicada en la zona del AHM y la ALF.

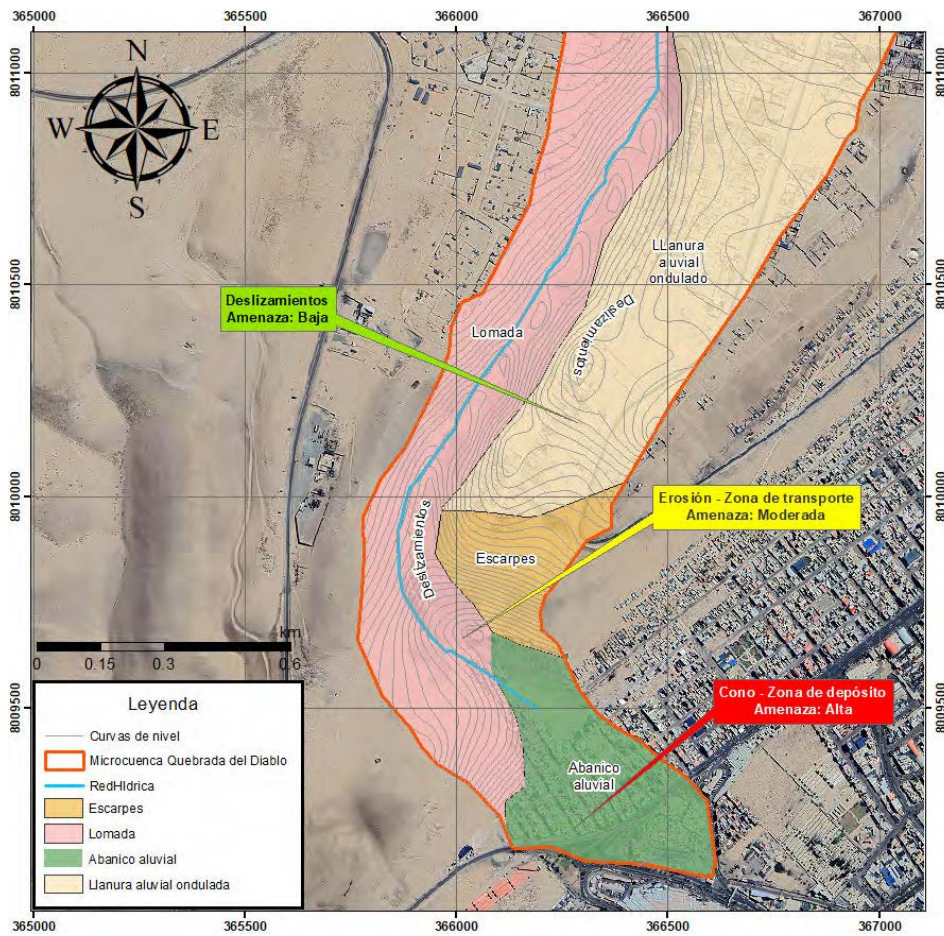


Figura 5. Mapa de amenaza geodinámica
Fuente: Autores, 2024.

Mapa de riesgos

En el mapa de riesgos se identificó que, en la zona de desembocadura, donde se ubica el AHM, presenta una alta vulnerabilidad; además en la ALF se observa una vulnerabilidad moderada (Figura 6).

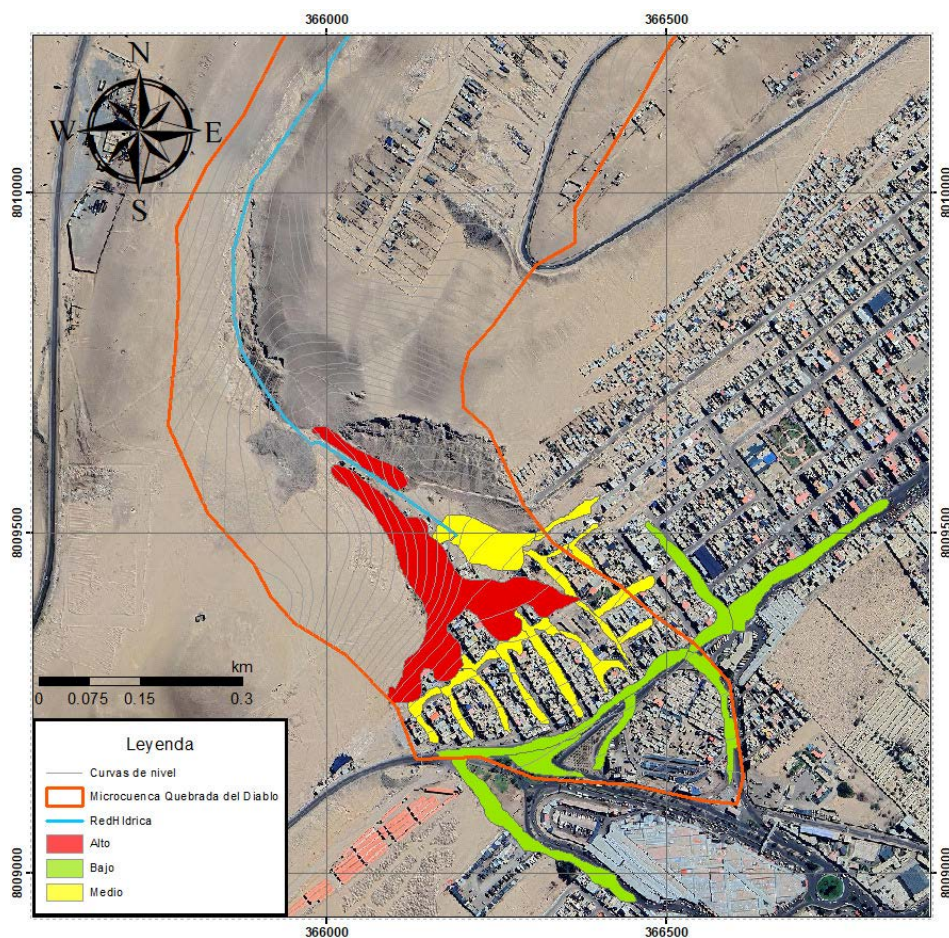


Figura 6. Mapa de riesgos de la zona de estudio
Fuente: Autores, 2024.

Evaluación de Vulnerabilidad

Existen diversos factores de vulnerabilidad que tienden a aumentar el nivel de riesgo en la zona, registrando emergencias generalmente durante periodos lluviosos, que suelen ocurrir entre los meses de diciembre y marzo. Estos riesgos se magnifican durante los periodos en los que ocurre el Fenómeno del Niño. La evaluación de la vulnerabilidad se presenta en la Tabla 2, y también se muestra visualmente en la Figura 7.

Los factores ambientales y ecológicos en el AHM han determinado que la vulnerabilidad se encuentra en un nivel alto (51 a 75 %) debido al alto grado de contaminación en la parte superior izquierda de la quebrada, causada por la existencia de una gran cantidad de residuos sólidos en proceso de degradación, lo que genera contaminación odorífera. Esto se debe a que los pobladores vierten sus residuos en esa zona. En la ALF, se estableció en un nivel medio (26 a 50 %), ya que parte de la población deposita sus residuos sólidos en contenedores para su segregación y disposición final.

El factor físico en el AHM contribuye a que la vulnerabilidad esté en un nivel muy alto (76 a 100 %) debido a que el 42,3 % de las casas están construidas con material noble, pero presentan características de suelo ligeramente fracturado y de mediana capacidad portante. Es importante mencionar que estas construcciones son antitécnicas y la mayoría de ellas son autoconstruidas. Además, la zona se encuentra en la desembocadura de la quebrada. Por otro lado, la ALF presenta un nivel alto de vulnerabilidad (51 % al 75 %), donde el 80,4 % de las viviendas están construidas con material noble y presentan una estructura sísmo resistente, aunque la mayoría de ellas han sido construidas sin una adecuada técnica constructiva y evadiendo normativas. Bajo esta realidad, los peligros y riesgos geológicos e hidrogeológicos se acrecientan.

La vulnerabilidad según el factor económico en el AHM se situó en un nivel alto (51 % al 75 %) debido a que el 64,3 % de la población no tiene acceso a todos los servicios básicos, ya que la zona se encuentra a una altitud considerable con respecto a las redes públicas de agua potable y

alcantarillado. En cambio, en la ALF, la vulnerabilidad es de nivel moderado (26 % al 50 %) dado que el 39,7 % de la población enfrenta una situación similar con respecto a estos servicios básicos. Esta problemática se agravó por la ocurrencia del huaico del año 2020 que afectó la infraestructura relacionada y que no ha podido ser recuperada hasta la actualidad.

Por otro lado, según el factor social en el AHEM, la vulnerabilidad se determinó en un nivel muy alto (76 % al 100 %) debido a que el 51,4 % de la población recibió capacitación, mientras que el 48,6 % nunca recibió ningún tipo de capacitación sobre prevención de riesgos. Por este motivo, solo el 34,7 % reconoce las zonas seguras, mientras que el 65,3 % desconoce las zonas seguras en caso de emergencias como huaicos e inundaciones. Por otro lado, en la ALF, la vulnerabilidad se considera de nivel medio (26 % al 50 %), ya que el 59,6 % recibió capacitación por parte de las autoridades en referencia a la prevención de riesgos, mientras que el 40,4 % nunca recibió ningún tipo de capacitación. Por tal razón, el 59,6 % de la población reconoce las zonas seguras, mientras que el 40,4 % no las reconoce.

Por último, la vulnerabilidad según el factor político institucional y educativo en el AHEM y en la ALF se determinó en un nivel muy alto (76 % al 100 %) y nivel Alto (51 % al 75 %) respectivamente. Se encontró que para la zona no se han desarrollado programas ni capacitaciones de prevención y atención de desastres. Por tanto, es necesario implementar planes de contingencia o planes de reubicación para la prevención de desastres originados por eventos hidrogeológicos. Es importante destacar que parte de la población de la ALF recibió capacitaciones sobre planes de evacuación, estas capacitaciones fueron orientadas por las autoridades locales, así como por instituciones privadas.

| Factores | Vulnerabilidad | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|-----|-------------------|-----|------------------------|-----|-----------|-----|
| | Medio 26 a 50 % | | Alto 51 a 75 % | | Muy alto 76 a 100 % | | Total (%) | |
| | AHEM | ALF | AHEM | ALF | AHEM | ALF | AHEM | ALF |
| Ambiental y ecológico | - | 45 | 75 | - | - | - | 75 | 45 |
| Físico | - | - | 70 | 90 | - | - | 90 | 70 |
| Económico | - | 30 | 52 | - | - | - | 52 | 30 |
| Educativo | - | - | - | 60 | 95 | - | 95 | 60 |
| Social | - | 50 | - | - | 90 | - | 90 | 50 |
| Político e Institucional | - | - | - | 70 | 95 | - | 95 | 70 |

Tabla 2. Estimación de la vulnerabilidad del Asentamiento Humano El Mirador (AHEM) y La Asociación La Florida (ALF)

Fuente: Autores, 2024.

Nota. No se encontró vulnerabilidad baja (< 25%) en ambas asociaciones de vivienda. AHEM = AHEM, ALF = Asociación La Florida.

DISCUSIÓN

La Quebrada del Diablo, debido a sus características, está sujeta a huaicos, caída de rocas y derrumbes. Ha sido calificada como una zona crítica en términos de peligro geológico. Las evaluaciones realizadas en las principales zonas de la quebrada, indican que aquellas más cercanas a su desembocadura presenta una mayor vulnerabilidad en comparación con las que están más alejadas. Sin embargo, en caso de un evento climático extremo, está expuesta a sufrir su efecto devastador, como ocurrió en febrero del 2020.

El AHEM resultó como la zona más vulnerable en todos sus aspectos, calificándose con vulnerabilidad muy alta (76 % al 100%) siendo más notable en el educativo, social, y político: en cambio, la ALF resultó ser menos vulnerable, con una calificación de vulnerabilidad alta (51 % al 75 %). En este caso, los factores físicos, educativos y políticos resultaron ser más vulnerables. Estas vulnerabilidades pueden amplificar las amenazas y aumentar la probabilidad de que ocurra un desastre, pero la materialización del riesgo depende de la población expuesta y las condiciones que son propicias en la zona.

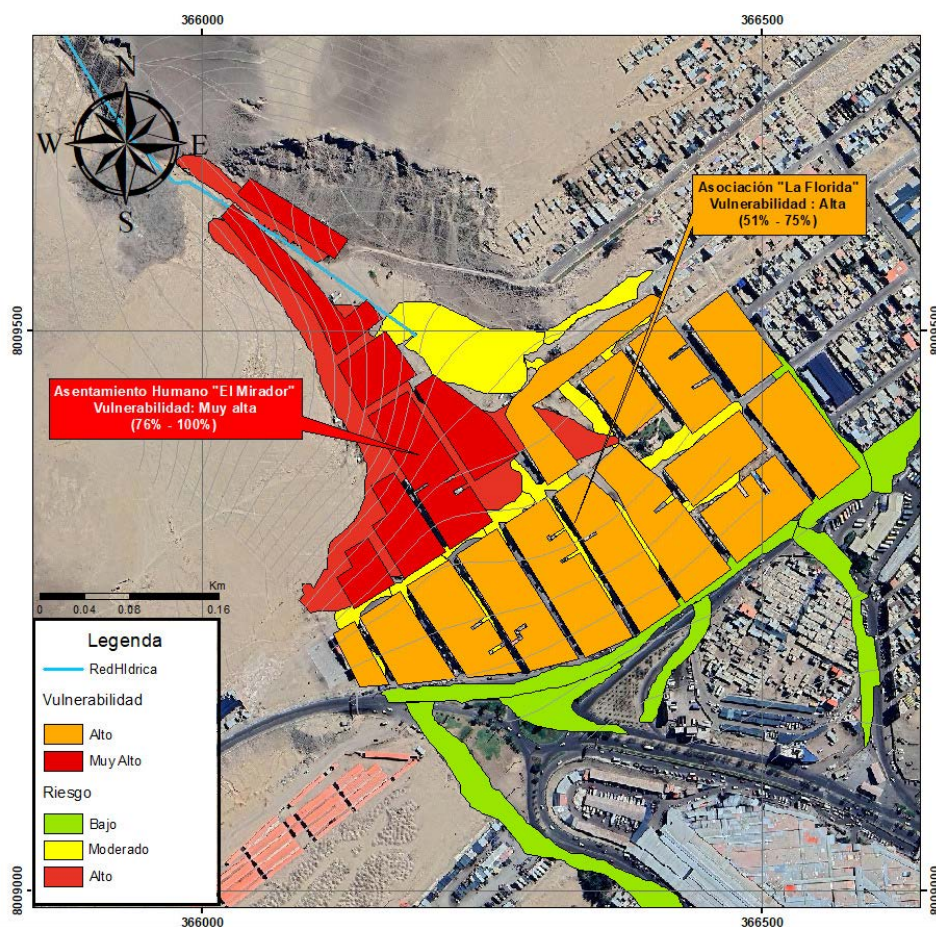


Figura 7. Mapa de vulnerabilidad en la zona de la Quebrada del Diablo
Fuente: Autores, 2024.

En relación a lo anterior, la Municipalidad Provincial de Tacna (MPT, 2019) identificó un riesgo muy alto por movimiento en masa en La Quebrada del Diablo. Sin embargo, para esta identificación se tuvieron en cuenta los lineamientos de Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2011), que indican analizar lo descrito en la Tabla 1 para el cálculo de vulnerabilidades; no obstante en ese estudio, no se incorporó en el estudio el calentamiento global como un factor de riesgo incrementado, como indican Romeo y Monti (2023): los riesgos de desastres y sus factores constituyentes se manifiestan como situaciones emergentes de la crisis ambiental global que tiene origen antrópico.

Los asentamientos humanos y asociaciones de vivienda ubicados en La Quebrada del Diablo están contruidos sobre el cauce de quebrada, lo cual no es compatible con una zona residencial. Este proceso es resultado de la pobreza, la informalidad y la escasa regulación a partir de programas de ordenamiento territorial. Por ello, al ser un área inestable, se incrementan los impactos provocados por diversos eventos, como mencionan Hernández y Vieyra (2010). En esa línea, Bedregal (2018) reafirma que la ocupación de zonas de alto riesgo es provocada por la informalidad urbana y falta de lineamientos urbanísticos. La informalidad es una problemática inherente a La Quebrada del Diablo y representa uno de los obstáculos en la gestión del riesgo de desastres, lo cual se magnifica con la escasa participación ciudadana y la falta de planes y programas de prevención y reducción de riesgo de desastres.

Las vulnerabilidades identificadas en los asentamientos humanos de La Quebrada del Diablo representan amenazas más significativas. El nivel de vulnerabilidad ambiental y ecológica se debe al alto grado de contaminación por residuos sólidos y la cercanía a antiguos depósitos de residuos. Además, estos asentamientos están ubicados sobre depósitos aluviales lo cual aumenta su vulnerabilidad debido al factor físico por la presencia de construcciones antitécnicas, en su mayoría autoconstruidas. El nivel de vulnerabilidad debido al factor económico está determinado por el poder adquisitivo reflejado en el material de construcción utilizado, siendo en su mayoría

es de material noble. Por otro lado, el nivel de vulnerabilidad por el factor social se caracteriza por la falta de preparación y capacitación en prevención de riesgos por huaico, la inexistencia de sistemas de alerta y la ausencia de brigadas de ayuda. La vulnerabilidad debido al factor educativo refleja la falta de programas educativos sobre prevención y atención de desastres.

A partir del análisis de estas las vulnerabilidades, se puede afirmar que vulnerabilidad en el AHM es muy alta, mientras que en la ALF es alta. Estos resultados son similares a los encontrados por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMET, 2016) donde identificaron peligros geológicos como flujos, caídas y derrumbes en forma de canchales de detritos y caída de rocas en ambas márgenes de la quebrada. También se identificaron escarpas irregulares y posibles flujos en caso de lluvias excepcionales, clasificando a esta zona como de peligro alto. Los mapas temáticos de amenaza sedimentaria en la geología identificaron dos tipos de roca predominantes, las tobas riolíticas y riolíticas, que representan un nivel de vulnerabilidad moderada, junto con las gravas y arenas que presentan una vulnerabilidad alta. Además, se determinó que los deslizamientos representan una vulnerabilidad baja en términos de amenaza geodinámica, mientras que la erosión expresa una vulnerabilidad moderada. En la zona de depósito, la vulnerabilidad se representa como alta.

En resumen, los análisis realizados indican que los asentamientos humanos en La quebrada del diablo presentan una vulnerabilidad alta en diferentes aspectos, lo cual implica un riesgo elevado estos resultados concuerdan con el estudio realizado por el INGEMET que también encontró una alta vulnerabilidad en la zona.

CONCLUSIÓN

Los asentamientos humanos ubicados en La Quebrada del Diablo presentan factores de vulnerabilidad alta en diversos aspectos, como el ambiental y ecológica, física, económica, social, educativa, político e institucional. Estos factores están relacionadas con la contaminación por residuos sólidos, construcciones antitécnicas, la falta de preparación y capacitación en prevención de riesgos, la ausencia de sistemas de alerta y el escaso conocimiento de la población sobre los peligros de la zona. La evaluación muestra que el Asentamiento Humano El Mirador (AHM) presenta una vulnerabilidad muy alta, mientras que La Asociación La Florida (ALF) presenta una vulnerabilidad alta. Estos resultados son consistentes con los peligros geológicos identificados en la zona, como flujos, caídas y derrumbes, así como las amenazas sedimentarias y geodinámicas. En general, se destaca la necesidad de implementar medidas de prevención y reducción de riesgos, así como la importancia de una planificación adecuada y la participación ciudadana para enfrentar los desafíos que plantea esta área de alto riesgo.

Es fundamental resaltar que la percepción del riesgo se midió a partir de una muestra no probabilística, lo que limita la generalización de los resultados más allá de este contexto particular. Además, se evidenció una marcada influencia de la construcción social del riesgo, principalmente debido a la necesidad de vivienda, lo que podría haber influido en respuestas orientadas hacia lo socialmente deseable. Asimismo, este factor podría estar relacionado a aspectos culturales, aunque este último aspecto no fue abordado en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Bedregal Flores, T. (2018). Aportes para los planes de gestión de riesgo en poblaciones emplazadas en laderas del sector el progreso en Carabayllo. Tesis de Pregrado. Lima. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13107>
- Crepani, E., Borselli, L. & Lavezzoli, L. (1996). Metodología para evaluar la vulnerabilidad ambiental del paisaje a la erosión del suelo. *Procesos hidrológicos*, 10(7), 971-986.
- Crepani, E., Borselli, L., Torri, D. & Menduni, G. (2001). Vulnerabilidad ambiental a los riesgos de erosión del suelo en una región de la Toscana. *Catena*, 45(3), 229-250. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(01\)00148-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(01)00148-3)
- Faye, C. & Sadio, CAAS. (2023). Agua y geoamenazas en la Baja Casamance: percepción del riesgo y estrategias de prevención de las poblaciones de la cuenca de Baïla Marigot (Casamance, Senegal). En: D'Amico, S., De Pascale, F. (eds), *Geohazards and Disaster Risk Reduction. Avances en la Investigación de Riesgos Naturales y Tecnológicos*, vol. 51. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24541-1_11

- Grigio, C.L. (2003). Vulnerabilidade ambiental sistêmica da cidade de Campinas-SP: subsídios para o planejamento territorial. Tesis doctoral, Universidade Estadual de Campinas. <https://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258033>
- Granados, V.M.C. (2020). Socialized geomorphology through photography traditional. Examples in the Valley of Orosi-Ujarrás, Costa Rica. *Mercator*, 19(4), 1-16. <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19009>
- Hernández, J. & Vieyra, A. (2010). *Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana: ¿El desastre nace o se hace?*. *Revista de geografía Norte Grande*, (47), 45-62. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022010000300003>
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2011). *Guía para la elaboración del Plan de Contingencia ante Emergencias (PCE) en instituciones del estado*. INDECI. <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1744/doc1744-contenido.pdf>
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2020). *Evaluación de peligros geológicos en las quebradas del diablo y Caramolle en Tacna*. IGEMMET. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/9676_informe-tecnico-noa7042-evaluacion-de-peligros-geologicos-en-las-quebradas-del-diablo-y-caramolle-region-tacna.pdf
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2016). *Zonas críticas por peligros geológicos en la región Tacna, Perú*. IGEMMET. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2028>
- Jara, G. & Ramos, P. (2021). Desarrollo de un software de historia clínica para el manejo de pacientes en una institución de medicina complementaria y alternativa. Tesis de Pregrado, UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1745/Jara-Oncebay-Ramos-Cunurana.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mora Chaparro, J.C, Hernández Borges, E.E. & Mora Mora, L.L. (2023). Mapa de riesgos de inundación en la Microcuenca Hidrográfica 24 de Junio, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(1), 116-130. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.111>
- Millán Arancibia, C.E., & Abraham Chavarri Velarde, E. (2019). Debris flow modeling for risk analysis in Los cóndores catchment, chaclacayo, Lima, Peru. 38th IAHR World Congress - Water: Connecting the World. <https://doi.org/10.3850/38WC092019-0903>
- Municipalidad Provincial de Tacna MPT. (2019). *Plan de prevención y reducción del riesgo de desastres de la provincia de Tacna 2019-2022 (Biblioteca SIGRID)*. (n.d.). Gob.pe. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/9924>
- Oliveros, F., Hernández, E., & Soto, G. (2017). Application of geotechnical criteria for the occurrence of earth flows (avalanches) on the right of way of Pipeline Transportation System of Camisea in the coast zone of Peru. ASME 2017 International Pipeline Geotechnical Conference. <https://doi.org/10.1115/IPG2017-2541>
- Ordoñez J. (2019). Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI. Dirección de Hidrología –DHI.
- Pareja Dominguez, M.A., Pascual Figueroa, H.D., & Silva Dávila, M.R. (2022). Evaluation of the effectiveness of flexible debris flow barriers for control of huaycos using satellite images and GIS, in the Basin of rímac river, Perú. In *Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol 192. (pp. 29-41). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6140-2_4
- Real Academia de la lengua Española RAE. (2023, 26 agosto). Huaico. RAE. <https://dle.rae.es/huaico>
- Renda, E. (2017) *Manual para la elaboración de mapas de riesgo*. Min. Interior. <https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf>
- Romeo, G.D., & Monti, A.J.A. (2023). Riesgos de Desastres y Complejidad Ambiental: El Derrame de Hidrocarburos 2007 en Caleta Córdova, Chubut, Argentina. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER*, 7(1), 21-32. <https://doi.org/10.55467/reder.v7i1.105>
- Ross, J.L. (1994). Indicadores geomórficos de estabilidad de taludes rocosos y su relación con los sistemas de clasificación de ingeniería. *Geomorfología*, 10(1-4), 28-37. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90034-5)
- Sandoval, V. (2017). The progression of vulnerability: A multi-scalar perspective on disasters, the case of Chaitén, Chile. PhD Dissertation. University College London, London. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1561339>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2019). *Movimiento en masa por lluvias intensas en el Perú*. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-81.pdf>
- Tagliani, P.R.A. (2003). *Vulnerabilidade Ambiental: uma metodologia aplicada ao planejamento*. Universidade Estadual de Campinas.
- Tavera, H. (2021). *Un año del huaico en Tacna: IGP recuerda que las quebradas secas pueden reactivarse*. ANDINA. <https://andina.pe/Agencia/noticia-a-un-ano-del-huaico-tacna-igp-recuerda-quebradas-secas-pueden-reactivarse-834651.aspx>
- Thouret, J.-C., Arapa, E., Charbonnier, S., Guerrero, A., Kelfoun, K., Cordoba, G., Rodriguez, D., & Santoni, O. (2022). Modeling tephra fall and sediment-water flows to assess their impacts on a vulnerable building stock in the city of Arequipa, Peru. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.865989>
- Tricart, J. (1977). *Los límites de la geomorfología*. Prensa de la Universidad de Toronto. https://docs.ufpr.br/~edugeo/GBo82/Bibliografia/Tricart_Ecodinamica.pdf